

# HYDROLOGICKÉ DNI 2026

X. konferencia  
českých a slovenských  
hydrológov a vodohospodárov

Zborník recenzovaných abstraktov



16.–18. jún 2026  
Bratislava



## **HYDROLOGICKÉ DNI 2026**

Zborník recenzovaných abstraktov

z X. konferencie českých a slovenských hydroológov a vodohospodárov

16.–18. jún 2026, Bratislava



## **HYDROLOGICAL DAYS 2026**

Book of reviewed abstracts

From the Xth Conference of Czech and Slovak Hydrologists and Water Managers

June 16–18, 2026, Bratislava

**Názov: Hydrologické dni 2026**

**Podnázov: Zborník recenzovaných abstraktov z X. konferencie českých a slovenských hydroológov a vodohospodárov**

Zostavovatelia / Editors:

RNDr. Pavla Pekárová, DrSc.

prof. Ing. Ján Szolgay, PhD.

RNDr. Pavol Miklánek, CSc.

Vydavateľ: Ústav hydrológie SAV, v. v. i., Bratislava

Rok vydania: jún 2026

Vydanie: 1. vydanie

Forma vydania: elektronický zborník (PDF)

ISBN: 978–80–89139–67–5

EAN: 9788089139675

© Ústav hydrológie SAV, v. v. i., 2026

## **Vedecký výbor**

### **Scientific committee:**

- RNDr. Pavol Miklánek, CSc. – SNV IHP UNESCO
- RNDr. Jan Daňhelka, PhD. – ČNV pro hydrologii, ČHMÚ Praha
- Ing. Veronika Bačová Mitková, PhD. – Ústav hydrológie SAV, v. v. i. Bratislava
- Ing. Miroslav Tesař, CSc. – Hydrologický ústav AV ČR, v. v. i.
- Ing. Jana Poórová, PhD. – Slovenský hydrometeorologický ústav Bratislava
- Ing. Petr Janál, Ph.D. – Český hydrometeorologický ústav Brno
- Prof. Ing. Kamila Hlavčová, PhD. – Stavebná fakulta STU v Bratislave
- doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur – České vysoké učení technické Praha
- Ing. Dušan Abaffy, PhD. – Výskumný ústav vodného hospodárstva Bratislava
- Ing. Adam Vizina, Ph.D. – Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka Praha
- doc. RNDr. Matej Vojtek, PhD. – Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre
- Mgr. Stanislav Ruman, Ph.D. – Ostravská univerzita Ostrava
- doc. Ing. Jaroslav Vido, PhD. – Technická univerzita vo Zvolene
- prof. Ing. Dušan Igaz, PhD. – Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

## **Organizačný výbor**

### **Organizing committee:**

- RNDr. Pavla Pekárová, DrSc., – ÚH SAV, v. v. i., Bratislava
- RNDr. Pavol Miklánek, CSc., – vedecký výbor HD2026
- Mgr. Ondřej Ledvinka, PhD., – ČNV pro hydrologii, ČHMÚ Praha
- Ing. Zuzana Danáčová, PhD. – SHMÚ Bratislava
- Doc. Ing. Michaela Danáčová, PhD., SvF STU v Bratislave
- Ing. Danica Lešková, PhD. – SHMÚ Bratislava
- Ing. Peter Čadek, PhD., – Vodohospodárska Výstavba, š. p., Bratislava
- Ing. Zbyněk Bajtek, PhD., – ÚH SAV, v. v. i. Bratislava
- Ing. Dana Halmová, PhD., – ÚH SAV, v. v. i. Bratislava
- Mgr. Igor Leščešen, PhD., – ÚH SAV, v. v. i. Bratislava
- Ing. Natália Gašparíková, – ÚH SAV, v. v. i. Bratislava
- Ing. Eva Barteková, – ÚH SAV, v. v. i. Bratislava
- Norbert Ružička, – ÚH SAV, v. v. i. Bratislava

## **Recenzenti / Reviewers:**

### **Sekcia 1 Hydrologické procesy, monitoring a experimentálny výskum Hydrological processes, monitoring and experimental research**

[SK] RNDr. Ladislav Holko, PhD. (ÚH SAV, v. v. i.)

[SK] Ing. Milan Gomboš (ÚH SAV, v. v. i.)

[CZ] Ing. Miroslav Tesař, CSc. (Hydrologický ústav AVČR)

[CZ] doc. Ing. Michal Dohnal, Ph.D. (ČVUT Praha)

### **Sekcia 2 Hydrologický cyklus v podmienkach globálnej zmeny Hydrological cycle under global change conditions**

[SK] prof. Ing. Martina Zeleňáková, PhD. (TU Košice)

[SK] doc. Ing. Zuzana Štefunková, PhD. (STU Bratislava)

[CZ] prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D. (ČZU Praha, Fakulta ŽP)

[CZ] Ing. Adam Vizina, Ph.D. (Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka)

### **Sekcia 3. Nové metódy a digitálne technológie v hydrológii vrátane AI New methods and digital technologies in hydrology including AI**

[SK] prof. Ing. Silvia Kohnová, PhD. (STU Bratislava, KVHK)

[SK] prof. Ing. Andrej Šoltész, PhD. (STU Bratislava, Katedra hydrotechniky)

[CZ] prof. RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D. (UK Praha PŘF)

### **Sekcia 4. Uplatnenie nových poznatkov hydrológie v súčasnej VH praxi Application of new hydrological knowledge in current water management practice**

### **Sekcia 5 Hydrológia ako súčasť environmentálneho vzdelávania Hydrology as part of environmental education**

[SK] prof. Ján Szolgay, PhD. (SvF STU)

[SK] Mgr. Peter Rončák, PhD. (ÚH SAV, v. v. i.)

[SK] Ing. Katarína Holubová, PhD. (SNV IHP UNESCO)

[CZ] Ing. Karel Drbal, Ph.D. (VÚV TGM Brno)

[SK] doc. Ing. Roman Výleta, PhD. (STU Bratislava, KVHK)

[SK] prof. Ing. Dušan Igaz, PhD. (SPU Nitra, FZKI)

[CZ] prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc. (UK Praha PŘF)

# X. Hydrologické dni 2026



pod záštitou podpredsedu vlády SR a ministra životného prostredia SR  
Tomáša Tarabu



## Organizátori



Intergovernmental  
Hydrological Programme  
National Committee

Czech National  
Committee for Hydrology

Czech National  
Committee for Hydrology



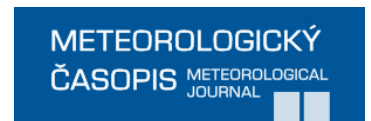
ÚSTAV HYDROLÓGIE  
SAV, v. v. i.  
INSTITUTE OF HYDROLOGY SAS



Český  
hydrometeorologický  
ústav



## Mediálni partneri



Meteorologické  
zprávy

*ahs*

VTEI.cz

*jhh*



## Hydrologické dni 2026 – Desaťročia spoločného výskumu a nové výzvy

*Hydrologické dni 2026 nadväzujú na viac než štyri desaťročia spoločného úsilia českej a slovenskej hydrologickej komunity. Tohtoročné jubileum kladie dôraz najmä na konkrétne výsledky súčasného výskumu.*

*Zborník obsahuje 57 príspevkov rozdelených na 30 prednášok a 27 posterov, ktoré pokrývajú celé spektrum tém od odtokových procesov a hydrologických extrémov až po nové digitálne technológie a interdisciplinárne prístupy. Na tvorbe týchto príspevkov sa podieľa vyše stovky autorov z univerzít, výskumných ústavov a vodohospodárskej praxe z oboch krajín. Táto pestrá zostava odráža nielen dlhodobú tradíciu spoločnej hydrologickej školy, ale aj generačnú obmenu a zapojenie mladých výskumníkov.*

*Štruktúra programu je rozdelená do štyroch sekcií, ktoré sa venujú hydrologickým procesom, hydrologickému cyklu v podmienkach globálnej zmeny, novým metódam a digitálnym technológiám vrátane AI, aplikácii nových poznatkov v praxi a hydrológii ako súčasťou environmentálneho vzdelávania. Takto koncipované tematické bloky umožňujú, aby sa výsledky základného výskumu prirodzene prepájali s potrebami vodného hospodárstva, plánovania, manažmentu povodí a adaptačných opatrení na zmenu klímy.*

*Veríme, že zborník recenzovaných abstraktov (v slovenčine alebo češtine a zároveň aj v angličtine) bude pre čitateľov nielen obrazom aktuálneho stavu poznania, ale aj praktickou pomôckou pri riešení konkrétnych problémov hydrológie a vodného hospodárstva v našom regióne. Zároveň má byť pozvaním pokračovať v tradícii otvorenej spolupráce a dialógu, ktorá je pre českú a slovenskú hydrológiu charakteristická už niekoľko generácií.*

*Osobitné poďakovanie patrí všetkým autorom, ktorí do tohto zborníka prispeli svojimi cennými poznatkami. Vďaka patrí, samozrejme, aj celému vedeckému a organizačnému výboru, Ústavu hydrológie SAV, v. v. i., a všetkým partnerom a sponzorom, bez ktorých by realizácia tejto jubilejnej konferencie nebola možná.*

*Za vedecký a organizačný výbor konferencie  
Pavol Miklánek a Pavla Pekárová*

## Hydrological Days 2026 – Decades of Joint Research and New Challenges

*Hydrological Days 2026 build on more than four decades of joint efforts by the Czech and Slovak hydrological community, and this jubilee edition places particular emphasis on the concrete results of current research. The Book of Abstracts contains 57 contributions, comprising 30 oral presentations and 27 posters, which cover the full spectrum of topics from runoff processes and hydrological extremes to new digital technologies and interdisciplinary approaches. More than one hundred authors from universities, research institutes and water management practice from both countries contributed to these papers, reflecting not only the long-standing tradition of a common hydrological school, but also generational renewal and the involvement of young researchers.*

*The programme is structured into four sections devoted to hydrological processes, the hydrological cycle under global change conditions, new methods and digital technologies including AI, the application of new knowledge in practice, and hydrology as part of environmental education. In this way, the thematic blocks enable the results of basic research to be naturally linked with the needs of water management, spatial planning, river-basin management and climate-change adaptation measures.*

*We believe that this Book of reviewed abstracts will serve readers not only as a snapshot of the current state of knowledge, but also as a practical tool for addressing specific hydrological and water management problems in our region. At the same time, it is an invitation to continue the tradition of open cooperation and dialogue that has characterised Czech and Slovak hydrology for several generations.*

*Our special thanks go to all the authors who have contributed their valuable insights to this volume. We also wish to thank the entire scientific and organizing committees, the Institute of Hydrology of the Slovak Academy of Sciences, and all partners and sponsors, without whom the organisation of this jubilee conference would not have been possible.*

*On behalf of the Scientific and Organizing Committees  
Pavol Miklánek and Pavla Pekárová*

## Obsah

Hydrologické dni 2026 – Desaťročia spoločného výskumu a nové výzvy .....	5
Hydrological Days 2026 – Decades of Joint Research and New Challenges .....	5
List of Authors .....	14
ODKIAL SME VYŠLI, KAM SME SA DOSTALI A KAM BY SME MOHLI SMEROVAŤ .....	15
Ján Szolgay <sup>1</sup> , Pavol Miklánek <sup>2</sup> , Ladislav Holko <sup>2</sup> , Jan Daňhelka <sup>3</sup> .....	15
prof. Ing. Milan Dzubák, CSc. ....	18
Ing. Otakar Malý .....	19
prof. Ing. Jaromír Němec, CSc. ....	21
RNDr. Juraj (Jiří) Pacl, CSc. ....	22
Ing. Ján Szolgay, CSc. ....	24
prof. Ing. Jan Šilar, DrSc. ....	25
VÝZVY PRE HYDROLÓGIU AKO VEDNÝ ODBOR ZAMERANÝ NA HĽADANIE RIEŠENÍ ..	30
Ján Szolgay <sup>1</sup> , Pavol Miklánek <sup>2</sup> , Jan Daňhelka <sup>3</sup> .....	30
<b>Sekcia 1 Hydrologické procesy, monitoring a experimentálny výskum .....</b>	<b>37</b>
<b>Section 1 Hydrological processes, monitoring and experimental research .....</b>	<b>37</b>
VPLYV ODUMIERANIA LESA NA HYDROLOGICKÝ CYKLUS V MALOM HORSKOM	
POVODÍ .....	38
Ladislav Holko <sup>1*</sup> , Martin Jančo <sup>1</sup> , Michal Danko <sup>1</sup> , Patrik Sleziač <sup>1</sup> .....	38
INFLUENCE OF FOREST DIEBACK ON THE HYDROLOGICAL CYCLE IN A SMALL	
MOUNTAIN CATCHMENT .....	39
Ladislav Holko <sup>1*</sup> , Martin Jančo <sup>1</sup> , Michal Danko <sup>1</sup> , Patrik Sleziač <sup>1</sup> .....	39
KVANTIFIKÁCIA VPLYVU UŽÍVANIA VÔD NA HYDROLOGICKÝ REŽIM POVRCHOVÝCH	
VÔD .....	40
Jana Poórová <sup>1</sup> , Ľubica Lovášová <sup>2</sup> , Katarína Kotríková <sup>2*</sup> , Zuzana Paľušová <sup>3</sup> .....	40
QUANTIFYING THE EFFECTS OF WATER USE AND ABSTRACTIONS ON THE	
HYDROLOGICAL REGIME OF SURFACE WATER .....	41
Jana Poórová <sup>1</sup> , Ľubica Lovášová <sup>2</sup> , Katarína Kotríková <sup>2*</sup> , Zuzana Paľušová <sup>3</sup> .....	41
MONITORING SUCHA POVRCHOVÝCH VÔD V KALENDÁRNOM ROKU 2025.....	42
Soňa Liová <sup>1</sup> , Anna Liová <sup>1</sup> , Gabriel Benian <sup>1</sup> , Katarína Kotríková <sup>2</sup> , Katarína Slivková <sup>3</sup> , Beáta	
Síčová <sup>4</sup> .....	42
SURFACE WATER DROUGHT MONITORING IN 2025 .....	43
Soňa Liová <sup>1</sup> , Anna Liová <sup>1</sup> , Gabriel Benian <sup>1</sup> , Katarína Kotríková <sup>2*</sup> , Katarína Slivková <sup>3</sup> , Beáta	
Síčová <sup>4</sup> .....	43
ROLE JAKOSTI VODY PŘI STANOVOVÁNÍ MINIMÁLNÍCH ZŮSTATKOVÝCH PRŮTOKŮ .....	44
Libuše Barešová <sup>1*</sup> , Magdalena Nesládková <sup>2</sup> , Kamila Sirotková <sup>1</sup> , Vít Kodeš <sup>1</sup> .....	44
THE ROLE OF WATER QUALITY IN DETERMINING MINIMUM RESIDUAL FLOWS .....	45
Libuše Barešová <sup>1*</sup> , Magdalena Nesládková <sup>2</sup> , Kamila Sirotková <sup>1</sup> , Vít Kodeš <sup>1</sup> .....	45
HODNOTENIE ÚČINNOSTI A DLHODOBEJ DYNAMIKY ZANÁŠANIA PROTIERÓZNYCH	
PRIEKOP – ŠTÚDIA SOBOTIŠTE .....	46
Michaela Danáčová <sup>1*</sup> , Roman Výleta <sup>1</sup> , Kamila Hlavčová <sup>1</sup> , Marián Marčíš <sup>2</sup> , Matúš Tomaščík <sup>1</sup> .....	46
ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS AND LONG-TERM SEDIMENTATION DYNAMICS OF	
ANTI-EROSION DITCHES – CASE STUDY SOBOTIŠTE .....	47
Michaela Danáčová <sup>1*</sup> , Roman Výleta <sup>1</sup> , Kamila Hlavčová <sup>1</sup> , Marián Marčíš <sup>2</sup> , Matúš Tomaščík <sup>1</sup> .....	47

VELKÉ POVODNE NA DUNAJI V ROKU 1897.....	48
Marián Melo <sup>1*</sup> , Marcel Garaj <sup>2</sup> , Pavla Pekárová <sup>3</sup> , Martin Gera <sup>1</sup> , Ingrid Damborská <sup>1</sup> , Štefan Hrivňák <sup>4</sup> .....	48
HIGH FLOODS ON THE DANUBE IN 1897.....	49
Marián Melo <sup>1*</sup> , Marcel Garaj <sup>2</sup> , Pavla Pekárová <sup>3</sup> , Martin Gera <sup>1</sup> , Ingrid Damborská <sup>1</sup> , Štefan Hrivňák <sup>4</sup> .....	49
PAPÍROVÉ DOKUMENTY HYDROLOGICKÉ SLUŽBY ČESKÉHO HYDROMETEOROLOGICKÉHO ÚSTAVU ANEB CO DOSUD ZŮSTÁVÁ MIMO DIGITÁLNÍ SVĚT.....	50
Hana Kourková <sup>1*</sup> , Marie Mátlová <sup>2</sup> , Kateřina Vacková <sup>1</sup> .....	50
PAPER DOCUMENTS OF THE HYDROLOGICAL SERVICE OF THE CZECH HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE, OR WHAT STILL REMAINS OUTSIDE THE DIGITAL WORLD.....	51
Hana Kourková <sup>1*</sup> , Marie Mátlová <sup>2</sup> , Kateřina Vacková <sup>1</sup> .....	51
ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV A JEHO HYDROLOGICKÝ VÝZKUM KRASOVÝCH ÚZEMÍ.....	52
Stanislav Lejska <sup>1*</sup> , Barbora Špinarová <sup>1</sup> .....	52
CZECH HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE AND ITS HYDROLOGICAL RESEARCH OF KARST AREAS.....	53
Stanislav Lejska <sup>1*</sup> , Barbora Špinarová <sup>1</sup> .....	53
VPLYV KONTROLOVANEJ HLADINY PODZEMNEJ VODY NA PROCESY VODNEJ BILANCIE V LYZIMETRI.....	54
Andrej Talli <sup>1</sup> , Branislav Kandra <sup>1</sup> , Dana Pavelková <sup>1*</sup> , Milan Gomboš <sup>1</sup> .....	54
INFLUENCE OF CONTROLLED GROUNDWATER LEVEL ON WATER BALANCE PROCESSES IN A LYSIMETER.....	55
Andrej Talli <sup>1</sup> , Branislav Kandra <sup>1</sup> , Dana Pavelková <sup>1*</sup> , Milan Gomboš <sup>1</sup> .....	55
VYPLAVOVANIE VYBRANÝCH LÁTOK Z DNOVÝCH SEDIMENTOV PO PRIDANÍ RIAS.....	56
Tatiana Kaletová <sup>1*</sup> , Ľuboš Jurík <sup>1</sup> , Andrej Válek <sup>1,2</sup> , Anna Báreková <sup>1</sup> .....	56
LEACHING OF SELECTED SUBSTANCES FROM BOTTOM SEDIMENTS FOLLOWING THE ADDITION OF ALGAE.....	57
Tatiana Kaletová <sup>1*</sup> , Ľuboš Jurík <sup>1</sup> , Andrej Válek <sup>1,2</sup> , Anna Báreková <sup>1</sup> .....	57
PESTICÍDY VO VODÁCH SLOVENSKA.....	58
Andrea Májovská <sup>*</sup> , Ivan Bartík, Jana Döményová, Anna Molnárová, Andrea Ľuptáková, Jaroslava Urbancová, Zuzana Paľušová.....	58
PESTICIDES IN WATERS OF SLOVAKIA.....	59
Andrea Májovská <sup>*</sup> , Ivan Bartík, Jana Döményová, Anna Molnárová, Andrea Ľuptáková, Jaroslava Urbancová, Zuzana Paľušová.....	59
KVALITA POVRCHOVEJ VODY S OHĽADOM NA ELEKTRICKÚ VODIVOSŤ, CELKOVÉ MNOŽSTVO ROZPUSTENÝCH LÁTOK A pH NA PODUNAJSKEJ NÍŽINE.....	60
Viera Kováčová <sup>1*</sup> , Radoslav Schügerl <sup>1</sup> .....	60
QUALITY OF SURFACE WATER WITH REGARD TO ELECTRICAL CONDUCTIVITY, TOTAL DISSOLVED SOLIDS AND pH IN THE DANUBE LOWLAND.....	61
Viera Kováčová <sup>1*</sup> , Radoslav Schügerl <sup>1</sup> .....	61
VARIABILITA ODTOKŮ DLE METODY SCS CN V ZÁVISLOSTI NA POUŽITÝCH PODKLADECH.....	62
Radovan Tyl <sup>1*</sup> .....	62

RUNOFF VARIABILITY ACCORDING TO THE SCS CN METHOD DEPENDING ON THE DATA SOURCES USED .....	63
Radovan Tyl <sup>1*</sup> .....	63
<b>Sekcia 2 Hydrologický cyklus v podmienkach globálnej zmeny .....</b>	<b>65</b>
<b>Section 2 Hydrological cycle under global change conditions .....</b>	<b>65</b>
BIAS-KORIGOVANÉ CMIP6 1 KM PROJEKČIE PRE SLOVENSKO A HYDROLOGICKÉ INDEXY RIZIKA DO 2100 .....	66
Jozef Pecho <sup>1*</sup> , Viera Rattayová <sup>1</sup> , Milan Onderka <sup>1,2</sup> .....	66
BIAS-CORRECTED 1 KM CMIP6 PROJECTIONS FOR SLOVAKIA AND HYDROCLIMATIC RISK INDICES TOWARDS 2100 .....	67
Jozef Pecho <sup>1*</sup> , Viera Rattayová <sup>1</sup> , Milan Onderka <sup>1,2</sup> .....	67
NÁVRHOVÉ HODNOTY ZRÁŽOK NA SLOVENSKU: OD HISTORICKÝCH METÓD K ZOHľadNENIU KLÍMY .....	68
Milan Onderka <sup>1,2*</sup> , Silvia Kohnová <sup>1</sup> , Roman Výleta <sup>1</sup> .....	68
DESIGN RAINFALL IN SLOVAKIA: EVOLUTION OF METHODS AND CLIMATE CHANGE CHALLENGES .....	69
Milan Onderka <sup>1,2*</sup> , Silvia Kohnová <sup>1</sup> , Roman Výleta <sup>1</sup> .....	69
NÍZKE PRIETOKY, ZÁKLADNÝ ODTOK A BUDÚCA SPOĽAHLIVOSŤ PRÍTOKU DO VODÁRENSKEJ NÁDRŽE MÁLINEC .....	70
Pavla Pekárová <sup>1*</sup> , Ján Pekár <sup>2</sup> , Zbyněk Bajtek <sup>1</sup> , Igor Leščešen <sup>1</sup> , Veronika Bačová Mitková <sup>1</sup> .....	70
LOW FLOWS, BASEFLOW AND PROJECTED INFLOW RELIABILITY FOR THE MÁLINEC WATER SUPPLY RESERVOIR .....	71
Pavla Pekárová <sup>1*</sup> , Ján Pekár <sup>2</sup> , Zbyněk Bajtek <sup>1</sup> , Igor Leščešen <sup>1</sup> , Veronika Bačová Mitková <sup>1</sup> .....	71
HODNOCENÍ POKROKU PŘI PLNĚNÍ PLÁNŮ PRO ZVLÁDÁNÍ RIZIK.....	72
Pavla Štěpánková*, Karel Drbal, Radek Bachan .....	72
ASSESSMENT OF PROGRESS IN THE IMPLEMENTATION OF RISK MANAGEMENT PLANS .	73
Pavla Štěpánková*, Karel Drbal, Radek Bachan .....	73
VODOHOSPODÁRSKA BILANCIA NÁDRŽE HORNÉ OREŠANY V MENIACICH SA KLIMATICKÝH PODMIENKACH.....	74
Roman Výleta <sup>1*</sup> , Peter Valent <sup>1,2</sup> , Milan Čistý <sup>1</sup> , Michaela Danáčová <sup>1</sup> , Kamila Hlavčová <sup>1</sup> , Silvia Kohnová <sup>1</sup> , Ján Szolgay <sup>1</sup> .....	74
WATER MANAGEMENT BALANCE OF THE HORNÉ OREŠANY RESERVOIR UNDER CHANGING CLIMATIC CONDITIONS .....	75
Roman Výleta <sup>1*</sup> , Peter Valent <sup>1,2</sup> , Milan Čistý <sup>1</sup> , Michaela Danáčová <sup>1</sup> , Kamila Hlavčová <sup>1</sup> , Silvia Kohnová <sup>1</sup> , Ján Szolgay <sup>1</sup> .....	75
SHLUKOVÁNÍ POVODÍ DATASETU CAMELS-CZ NA BÁZI ENTROPIE ODVOZENÉ Z VLNKOVÉ KOHERENCE (PRŮTOK VS. AMO, AO, NAO A SOI) .....	76
Ondřej Ledvinka <sup>1,2*</sup> .....	76
CLUSTERING CATCHMENTS OF THE CAMELS-CZ DATASET ON THE BASIS OF ENTROPY DERIVED FROM WAVELET COHERENCE (DISCHARGE VS. AMO, AO, NAO AND SOI).....	77
Ondřej Ledvinka <sup>1,2*</sup> .....	77
URBANIZOVANÁ ÚZEMÍ V KONTEXTU ZMĚNY KLIMATU: SRÁŽKOVÉ EXTRÉMY A MOŽNOSTI ADAPTACE.....	78
Adam Vizina <sup>1*</sup> , Roman Kožín <sup>1</sup> , Filip Strnad <sup>2</sup> , Martin Hanel <sup>2</sup> , Petr Kavka <sup>3</sup> , Adam Beran <sup>1</sup> , Petr Pavlík <sup>1</sup> .....	78
URBANIZED AREAS IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE: PRECIPITATION EXTREMES AND ADAPTATION OPTIONS .....	79

Adam Vizina <sup>1*</sup> , Roman Kožín <sup>1</sup> , Filip Strnad <sup>2</sup> , Martin Hanel <sup>2</sup> , Petr Kavka <sup>3</sup> , Adam Beran <sup>1</sup> , Petr Pavlík <sup>1</sup> .....	79
VARIÁCIE A TRENDY PRIETOKOV V POVODÍ RIEKY VEDEA (RUMUNSKO): POHĽAD NA HYDROLOGICKÉ SUCHO .....	80
Mihnea-Ștefan Costache <sup>1</sup> , Martina Zeleňáková <sup>2*</sup> , Liliana Zaharia <sup>3</sup> , Hany F. Abd-Elhamid <sup>4,5</sup> , Gabriela Adina Moroșanu-Mitoșeriu <sup>5,6</sup> .....	80
VARIATIONS AND TRENDS IN THE STREAMFLOW OF THE VEDEA RIVER BASIN (ROMANIA): INSIGHTS INTO HYDROLOGICAL DROUGHT .....	81
Mihnea-Ștefan Costache <sup>1</sup> , Martina Zeleňáková <sup>2*</sup> , Liliana Zaharia <sup>3</sup> , Hany F. Abd-Elhamid <sup>4,5</sup> , Gabriela Adina Moroșanu-Mitoșeriu <sup>7,6</sup> .....	81
DYNAMIKA KVALITY A TEPLoty VODY V RIEKE HRON ZA MENIACICH SA ENVIRONMENTÁLNYCH PODMIENOK: TRENDOVÁ ANALÝZA A MODELOVANIE .....	82
Veronika Bačová Mitková <sup>1*</sup> , Pavla Pekárová <sup>1</sup> , Dana Halmová <sup>1</sup> .....	82
SURFACE WATER QUALITY AND WATER TEMPERATURE DYNAMICS UNDER CHANGING ENVIRONMENTAL CONDITIONS IN THE HRON RIVER: TREND ANALYSIS AND MODELLING .....	83
Veronika Bačová Mitková <sup>1*</sup> , Pavla Pekárová <sup>1</sup> , Dana Halmová <sup>1</sup> .....	83
STANOVOVANIE NÁVRHOVÝCH HYDROLOGICKÝCH CHARAKTERISTÍK V PODMIENKACH KLIMATICKEJ ZMENY .....	84
Katarína Jeneiová <sup>1*</sup> , Katarína Kotríková <sup>1</sup> , Zuzana Danáčová <sup>1</sup> , Jana Poórová <sup>1</sup> .....	84
ESTABLISHMENT OF DESIGN HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS UNDER CLIMATE CHANGE .....	85
Katarína Jeneiová <sup>1*</sup> , Katarína Kotríková <sup>1</sup> , Zuzana Danáčová <sup>1</sup> , Jana Poórová <sup>1</sup> .....	85
DYNAMIKA PODZEMNÝCH VOD V DLOUHODOBÉM HORIZONTU V OBLASTI HYDROPEDOLOGICKÉHO PROFILU LADNÁ .....	86
Hana Hornová <sup>1*</sup> , Alice Musilová <sup>1</sup> , Anna Lamačová <sup>2</sup> .....	86
LONG TERM GROUNDWATER DYNAMICS IN THE AREA OF THE LADNÁ HYDROPEDOLOGICAL PROFILE .....	87
Hana Hornová <sup>1*</sup> , Alice Musilová <sup>1</sup> , Anna Lamačová <sup>2</sup> .....	87
VPLYV SUCHA NA VYSYCHANIE PRAMEŇOV .....	88
Lucia Hagara Pivarčiová <sup>1*</sup> , Valéria Slivová <sup>2</sup> .....	88
THE IMPACT OF DROUGHT ON THE DRYING UP OF SPRINGS .....	89
Lucia Hagara Pivarčiová <sup>1*</sup> , Valéria Slivová <sup>2</sup> .....	89
VPLYV OTEPLEOVANIA KLÍMY NA ZMENY HYDROLOGICKEJ BILANCIE V MALOM ZALESNENOM POVODÍ VYDRICE V OBDOBÍ 1961–2020 .....	90
Pavol Miklánek <sup>1*</sup> , Pavla Pekárová <sup>1</sup> , Ivan Mészáros <sup>1</sup> .....	90
IMPACT OF CLIMATE WARMING ON CHANGES IN THE HYDROLOGICAL BALANCE IN THE SMALL VYDRICA CATCHMENT DURING 1961–2020 .....	91
Pavol Miklánek <sup>1*</sup> , Pavla Pekárová <sup>1</sup> , Ivan Mészáros <sup>1</sup> .....	91
<b>Sekcia 3 Nové metódy a digitálne technológie v hydrológii vrátane AI .....</b>	<b>93</b>
<b>Section 3 New methods and digital technologies in hydrology including AI .....</b>	<b>93</b>
INTEGRÁCIA LIDAROVÝCH A TERÉNNÝCH ÚDAJOV PRE SPRESNENIE GEOMETRICKÝCH VSTUPOV V HYDRAULICKOM A HABITATOVOM MODELOVANÍ .....	94
Zuzana Štefunková <sup>1*</sup> , Peter Ivan <sup>2</sup> .....	94
INTEGRATION OF LiDAR AND FIELD DATA FOR REFINING GEOMETRIC INPUTS IN HYDRAULIC AND HABITAT MODELING .....	95
Zuzana Štefunková <sup>1*</sup> , Peter Ivan <sup>2</sup> .....	95

VZÁJOMNÝ VZŤAH TRANSPORTU PRVKOV PRI SEDIMENTÁCII V MALEJ VODNEJ NÁDRŽI BLATNÉ.....	96
Andrej Válek <sup>1,2*</sup> , Tatiana Kaletová <sup>2</sup> , Ľuboš Jurík <sup>2</sup> , Marta Lentartowicz <sup>2</sup> .....	96
THE INTERRELATIONSHIP OF ELEMENT TRANSPORT DURING SEDIMENTATION IN THE BLATNÉ SMALL WATER RESERVOIR.....	97
Andrej Válek <sup>1,2*</sup> , Tatiana Kaletová <sup>2</sup> , Ľuboš Jurík <sup>2</sup> , Marta Lentartowicz <sup>2</sup> .....	97
EUROPEAN FLOOD AWARENESS SYSTEM - VÝVOJ, NOVINKY A VÝZVY.....	98
Martin Halaj <sup>1*</sup> , Beata Randusová <sup>2</sup> , Marcel Zvolenský <sup>3</sup> .....	98
EUROPEAN FLOOD AWARENESS SYSTEM - DEVELOPMENTS, NEWS AND CHALLENGES .	99
Martin Halaj <sup>1*</sup> , Beata Randusová <sup>2</sup> , Marcel Zvolenský <sup>3</sup> .....	99
POVODIE DUNAJA Z POHĽADU DRUŽICOVÝCH MISÍ GRACE a GRACE-FO .....	100
Juraj Janák <sup>1*</sup> , Zuzana Danáčová <sup>2</sup> , Pavol Letko <sup>1</sup> , Lukáš Tátoš <sup>3</sup> .....	100
DANUBE RIVER BASIN AS IT IS SEEN FROM GRACE AND GRACE-FO SATELLITE MISSIONS.....	101
Juraj Janák <sup>1*</sup> , Zuzana Danáčová <sup>2</sup> , Pavol Letko <sup>1</sup> , Lukáš Tátoš <sup>3</sup> .....	101
MOŽNOSTI RIEŠENIA PROTIPOVODŇOVEJ OCHRANY INTRAVILÁNU OBCÍ POD MALÝMI KARPATMI.....	102
Andrej Šoltész <sup>1*</sup> , Martin Orfánus <sup>1</sup> , Dana Baroková <sup>1</sup> .....	102
POSSIBILITIES OF FLOOD PROTECTION SOLUTION IN THE URBAN AREAS OF MUNICIPALITIES UNDER THE LITTLE CARPATHIAN MOUNTAINS.....	103
Andrej Šoltész <sup>1*</sup> , Martin Orfánus <sup>1</sup> , Dana Baroková <sup>1</sup> .....	103
VYUŽITIE MODELOV STROJOVÉHO UČENIA PRI ODHADE EVAPOTRANSPIRÁCIE A ICH EFEKTÍVNOSŤ V ZÁVLAHOVOM REŽIME .....	104
Milan Čistý <sup>1</sup> .....	104
THE USE OF MACHINE LEARNING MODELS IN ESTIMATING EVAPOTRANSPIRATION AND THEIR EFFECTIVENESS IN IRRIGATION .....	105
Milan Čistý <sup>1</sup> .....	105
ON-DEMAND EXTREMES DIGITAL TWIN A JEHO POTENCIÁL PRE PREDPOVEDANIE POVODNÍ – SKÚSENOSTI Z PROJEKTU DESTINATION EARTH.....	106
Käteřina Hrušková <sup>*</sup> , Hana Hlaváčiková, Zinaw Shenga.....	106
ON-DEMAND EXTREMES DIGITAL TWIN AND ITS POTENTIAL FOR FLOOD FORECASTING – LESSONS LEARNED FROM THE DESTINATION EARTH PROJECT .....	107
Käteřina Hrušková <sup>*</sup> , Hana Hlaváčiková, Zinaw Shenga.....	107
SYSTEMATICKÉ POROVNANIE ARCHITEKTÚR HLBOKÉHO UČENIA S VLNKOVÝM PREDSPRACOVANÍM A BEZ NEHO PRE PREDPOVEĎ PRIETOKOV DUNAJA V BRATISLAVE NA VIACERÝCH HORIZONTOCH.....	108
Igor Leščešen <sup>1*</sup> , Zbyněk Bajtek <sup>1</sup> .....	108
SYSTEMATIC COMPARISON OF DEEP LEARNING ARCHITECTURES WITH AND WITHOUT WAVELET PREPROCESSING FOR MULTI-HORIZON STREAMFLOW PREDICTION ON THE DANUBE AT BRATISLAVA .....	109
Igor Leščešen <sup>1*</sup> , Zbyněk Bajtek <sup>1</sup> .....	109
VPLYV PROCESOV VODNEJ ERÓZIE PÔDY NA FUNKCIU KANALIZAČNEJ SIETE A ODVODŇOVACÍCH KANÁLOV .....	110
Natália Gašparíková <sup>1,2*</sup> .....	110
IMPACT OF SOIL WATER EROSION PROCESSES ON THE FUNCTION OF SEWER NETWORKS AND DRAINAGE CHANNELS IN THE FOOTHILL AREAS OF BRATISLAVA .	111
Natália Gašparíková <sup>1,2*</sup> .....	111

INTEGRÁCIA SEGMENTÁCIE KRAJINNÉHO POKRYVU POMOCOU DEEP LEARNINGU DO HYDRODYNAMICKÝCH MODELOV .....	112
Marián Dobranský <sup>1*</sup> , Martina Zeleňáková <sup>2</sup> .....	112
INTEGRATION OF DEEP-LEARNING-BASED LAND COVER SEGMENTATION INTO HYDRODYNAMIC MODELS .....	113
Marián Dobranský <sup>1*</sup> , Martina Zeleňáková <sup>2</sup> .....	113
SMEROM K CEZHRANIČNEJ SYNERGII: HARMONIZÁCIA EKOLOGICKÉHO STATUSU A RETENČNÉHO POTENCIÁLU NÁDRŽÍ V POVODÍ DUNAJA.....	114
Zbyněk Bajtek <sup>1*</sup> , Peter Rončák <sup>1</sup> .....	114
TOWARDS CROSS-BORDER SYNERGY: HARMONISATION OF ECOLOGICAL STATUS AND RETENTION POTENTIAL OF RESERVOIRS IN THE DANUBE RIVER BASIN.....	115
Zbyněk Bajtek <sup>1</sup> , Peter Rončák <sup>1</sup> .....	115
MĚŘENÍ PRŮTOKŮ POMOCÍ DRONŮ – LSPIV .....	116
Karel Kněžínek <sup>1*</sup> , Libor Ducháček <sup>1</sup> .....	116
DISCHARGE MEASUREMENT USING DRONES – LSPIV .....	117
Karel Kněžínek <sup>1*</sup> , Libor Ducháček <sup>1</sup> .....	117
<b>Sekcia 4 Uplatnenie nových poznatkov hydrológie v súčasnej VH praxi.....</b>	<b>119</b>
<b>Section 4 Application of new hydrological knowledge in current water management practice....</b>	<b>119</b>
HYDROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY V PRAXI - NEISTOTY VÝPOČTU ZMIEŠAVACIEHO POMERU Z POHLADU HYDROLÓGIE POVRCHOVÝCH VÔD.....	120
Katarína Jeneiová <sup>1*</sup> , Katarína Melová <sup>1</sup> , Zuzana Danáčová <sup>1</sup> , Jana Poórová <sup>1</sup> .....	120
HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS IN PRACTICE – UNCERTAINTIES IN THE CALCULATION OF THE DILUTION RATIO FROM THE PERSPECTIVE OF SURFACE WATER HYDROLOGY .....	121
Katarína Jeneiová <sup>1*</sup> , Katarína Melová <sup>1</sup> , Zuzana Danáčová <sup>1</sup> , Jana Poórová <sup>1</sup> .....	121
AKTUALIZACE N-LETÝCH PRŮTOKŮ NA ZÁKLADĚ POZOROVANÝCH DAT DO ROKU 2025.....	122
Miloň Boháč <sup>1</sup> , Vojtěch Svoboda <sup>1*</sup> .....	122
UPDATE OF T-YEAR PEAK FLOWS BASED ON OBSERVED DATA UP TO 2025 .....	123
Miloň Boháč <sup>1</sup> , Vojtěch Svoboda <sup>1*</sup> .....	123
ODHAD EXTRÉMNYCH (N >> 100 ROKOV) PRIETOKOV POMOCOU SYNTETICKÝCH METEOROLOGICKÝCH RADOV A KONTINUÁLNEHO ZRÁŽKOVO-ODTOKOVÉHO MODELOVANIA.....	124
Peter Valent <sup>1,2*</sup> , Adam Brziak <sup>1</sup> , Silvia Kohnová <sup>1</sup> .....	124
ESTIMATION OF EXTREME (N >> 100 YEARS) DISCHARGES USING SYNTHETIC METEOROLOGICAL SERIES AND CONTINUOUS RAINFALL-RUNOFF MODELLING.....	125
Peter Valent <sup>1,2*</sup> , Adam Brziak <sup>1</sup> , Silvia Kohnová <sup>1</sup> .....	125
IDENTIFIKACE URBANIZOVANÝCH ÚZEMÍ OHROŽENÝCH PŘÍVALOVÝMI POVODNĚMI V ČESKÉ REPUBLICE .....	126
Martin Caletka <sup>1*</sup> , Karel Drbal <sup>1</sup> , Pavla Štěpánková <sup>1</sup> .....	126
IDENTIFICATION OF URBAN AREAS SUSCEPTIBLE TO FLASH FLOODS IN THE CZECH REPUBLIC .....	127
Martin Caletka <sup>1*</sup> , Karel Drbal <sup>1</sup> , Pavla Štěpánková <sup>1</sup> .....	127
ODVOZENÍ ZÁKLADNÍCH HYDROLOGICKÝCH ÚDAJŮ (M-DENNÍCH PRŮTOKŮ) ZA REFERENČNÍ OBDOBÍ 1991–2020.....	128
Ladislav Budík <sup>1</sup> , Pavel Kukla <sup>2*</sup> , Jiří Mudra <sup>3</sup> .....	128

DERIVATION OF BASELINE HYDROLOGICAL DATA (M-DAY DISCHARGES) FOR THE 1991–2020 REFERENCE PERIOD .....	129
Ladislav Budík <sup>1</sup> , Pavel Kukla <sup>2*</sup> , Jiří Mudra <sup>3</sup> .....	129
PRÍPRAVA ŠTÚDIE USKUTOČNITEĽNOSTI PVE MÁLINEC-LÁTKY .....	130
Andrej Kasana <sup>1</sup> .....	130
PREPARATION OF THE FEASIBILITY STUDY FOR THE MÁLINEC–LÁTKY PUMPED STORAGE HYDROPOWER PLANT .....	131
Andrej Kasana <sup>1</sup> .....	131
VLIV INUNDAČNÍCH ÚZEMÍ VE SRÁŽKODTOKOVÉM MODELOVÁNÍ V OPERATIVNÍ PRAXI .....	132
Alena Kamínková <sup>1*</sup> , Šárka Zemanová <sup>2</sup> , Lucie Březková <sup>3</sup> .....	132
THE IMPACT OF FLOODPLAINS IN RAINFALL-RUNOFF MODELLING IN PRACTICAL APPLICATIONS .....	133
Alena Kamínková <sup>1*</sup> , Šárka Zemanová <sup>2</sup> , Lucie Březková <sup>3</sup> .....	133
ANALÝZA VLIVU VODNÍCH NÁDRŽÍ V POVODÍ SVITAVY NA PRŮCHOD POVODNÍ REGIONÁLNÍHO TYPU .....	134
Lucie Březková <sup>*</sup> , Jan Tomšík, Dominik Viskot .....	134
ANALYSIS OF THE IMPACT OF WATER RESERVOIRS IN THE SVITAVA RIVER BASIN ON REGIONAL FLOOD PROPAGATION .....	135
Lucie Březková <sup>*</sup> , Jan Tomšík, Dominik Viskot .....	135
STANOVENIE KONTROLNÝCH POVODŇOVÝCH VLŇ POMOCOU PROCESNE ORIENTOVANÉHO VIACROZMERNÉHO PRAVDEPODOBNOSTNÉHO RÁMCA PRE HODNOTENIE BEZPEČNOSTI VODNEJ NÁDRŽE LIPTOVSKÁ MARA, SLOVENSKO .....	136
Roman Výleta <sup>1*</sup> , Anna Liová <sup>2</sup> , Peter Valent <sup>1,3</sup> , Tomáš Bacigál <sup>4</sup> , Michaela Danáčová <sup>1</sup> , Kamila Hlavčová <sup>1</sup> , Zuzana Danáčová <sup>2</sup> , Silvia Kohnová <sup>1</sup> , Ján Szolgay <sup>1</sup> .....	136
DETERMINATION OF CONTROL FLOOD HYDROGRAPHS USING A PROCESS-ORIENTED MULTIVARIATE PROBABILISTIC FRAMEWORK FOR SAFETY ASSESSMENT OF THE LIPTOVSKÁ MARA WATER RESERVOIR, SLOVAKIA .....	137
Roman Výleta <sup>1*</sup> , Anna Liová <sup>2</sup> , Peter Valent <sup>1,3</sup> , Tomáš Bacigál <sup>4</sup> , Michaela Danáčová <sup>1</sup> , Kamila Hlavčová <sup>1</sup> , Zuzana Danáčová <sup>2</sup> , Silvia Kohnová <sup>1</sup> , Ján Szolgay <sup>1</sup> .....	137
TRANSFORMÁCIA POVODŇOVEJ VLNY V UPRAVENÝCH RIEČNYCH KORYTÁCH: MODELOVÁ ŠTÚDIA ŠTYROCH RIEK Z ČESKEJ REPUBLIKY .....	138
Stanislav Ruman <sup>1*</sup> , Jiří Jakubínský <sup>2</sup> , Martin Pavel <sup>3</sup> , Jiří Schneider <sup>4</sup> .....	138
FLOOD WAVE TRANSFORMATION IN MODIFIED RIVER CHANNELS: A COMPARATIVE MODELLING STUDY OF FOUR RIVERS FROM CZECH REPUBLIC .....	139
Stanislav Ruman <sup>1*</sup> , Jiří Jakubínský <sup>2</sup> , Martin Pavel <sup>3</sup> , Jiří Schneider <sup>4</sup> .....	139
VYHODNOTENIE MEDZINÁRODNEJ POVODNE V SEPTEMBRI 2024 .....	140
Tomáš Borároč <sup>1*</sup> , Daniel Košťál <sup>1</sup> , Vladimír Majerský <sup>1</sup> , Martin Havlík <sup>1</sup> .....	140
ASSESSMENT OF THE TRANSBOUNDARY FLOOD EVENT IN SEPTEMBER 2024 .....	141
Tomáš Borároč <sup>1*</sup> , Daniel Košťál <sup>1</sup> , Vladimír Majerský <sup>1</sup> , Martin Havlík <sup>1</sup> .....	141
VYUŽÍVÁNÍ HYDROLOGICKÝCH VÝSTUPŮ VE VODOHOSPODÁŘSKÉ PRAXI PŘI PROVOZU A NÁVRHU VODNÍCH NÁDRŽÍ .....	142
Tomáš Kendík <sup>1*</sup> , Pavel Fošumpaur <sup>2</sup> , Karel Březina <sup>1</sup> .....	142
USE OF HYDROLOGICAL OUTPUTS IN WATER MANAGEMENT PRACTICE IN THE OPERATION AND DESIGN OF WATER RESERVOIRS .....	143
Tomáš Kendík <sup>1*</sup> , Pavel Fošumpaur <sup>2</sup> , Karel Březina <sup>1</sup> .....	143

SEZÓNNE ROZDIELY HYDROLOGICKÝCH EXTRÉMOV: REGIONALIZÁCIA NA ZÁKLADE JEDNOTNÉHO FREKVENČNÉHO PRÍSTUPU PRE POVODIA SLOVENSKÝCH RIEK .....	144
Veronika Bačová Mitková <sup>1*</sup> , Pavla Pekárová <sup>1</sup> , Dana Halmová <sup>1</sup> .....	144
SEASONAL DIFFERENCES IN HYDROLOGICAL EXTREMES: REGIONALIZATION WITHIN A UNIFIED FREQUENCY APPROACH FOR SLOVAK RIVER BASINS .....	145
Veronika Bačová Mitková <sup>1*</sup> , Pavla Pekárová <sup>1</sup> , Dana Halmová <sup>1</sup> .....	145
PRIESTOROVÁ VARIABILITA OBSAHU TEKUTEJ VODY V SNEHOVEJ POKRÝVKE NA LOKALITE ČERVENEC.....	146
Ema Pavlíková <sup>1*</sup> , Michal Danko <sup>2</sup> , Martin Jančo <sup>2</sup> .....	146
SPATIAL VARIABILITY OF LIQUID WATER CONTENT IN SNOW AT THE ČERVENEC RESEARCH SITE .....	147
Ema Pavlíková <sup>1*</sup> , Michal Danko <sup>2</sup> , Martin Jančo <sup>2</sup> .....	147
CYKlickÉ ZMENY MINIMÁLNYCH ŠPECIFICKÝCH ODTOKOV V HORSKÝCH POVODIACH HORNÉHO HRONA A VÁHU .....	148
Dana Halmová <sup>1*</sup> , Veronika Bačová Mitková <sup>1</sup> , Katarína Jeneiová <sup>2</sup> .....	148
CYCLIC CHANGES OF MINIMUM SPECIFIC RUNOFFS IN THE MOUNTAINOUS CATCHMENTS OF THE UPPER HRON AND VÁH RIVERS .....	149
Dana Halmová <sup>1*</sup> , Veronika Bačová Mitková <sup>1</sup> , Katarína Jeneiová <sup>2</sup> .....	149
HODNOCENÍ EKOSYSTÉMOVÝCH SLUŽEB V RÁMCI PŘÍRODĚ BLÍZKÝCH OPATŘENÍ PRO ZADRŽENÍ VODY V KRAJINĚ .....	150
David Honek <sup>1*</sup> , Kateřina Sedláčková <sup>1</sup> .....	150
EVALUATION OF ECOSYSTEM SERVICES IN THE FRAMEWORK OF NATURE-BASED MEASURES FOR WATER RETENTION IN THE LANDSCAPE .....	151
David Honek <sup>1*</sup> , Kateřina Sedláčková <sup>1</sup> .....	151
JE TEPLTNÁ STRATIFIKÁCIA OVPLYVNĚVANÁ PARAMETRAMI VODNÉHO ÚTVARU? .....	152
Yveta Velísková <sup>1*</sup> , Márta Koczka Bara <sup>1</sup> , Marek Sokáč <sup>1</sup> .....	152
IS TEMPERATURE STRATIFICATION INFLUENCED BY THE PARAMETERS OF THE WATER BODY? .....	153
Yveta Velísková <sup>1*</sup> , Márta Koczka Bara <sup>1</sup> , Marek Sokáč <sup>1</sup> .....	153
IDENTIFIKÁCIA ZDROJOV ZNEČISTENIA V SIETI KANÁLOV .....	154
Marek Sokáč <sup>1*</sup> , Yveta Velísková <sup>1</sup> .....	154
IDENTIFICATION OF POLLUTION SOURCES IN OPEN-CHANNEL NETWORKS.....	155
Marek Sokáč <sup>1*</sup> , Yveta Velísková <sup>1</sup> .....	155

## List of Authors

Abd-Elhamid Hany F.	Jakubínský Jiří	Pavel Martin
Bachan Radek	Janák Juraj	Pavelková Dana
Bacigál Tomáš	Jančo Martin	Pavlík Petr
Bačová Mitková Veronika	Jeneiová Katarína	Pavlíková Ema
Bajtek Zbyněk	Jurík Ľuboš	Pecho Jozef
Báreková Anna	Kaletová Tatiana	Pekár Ján
Barešová Libuše	Kamínková Alena	Pekárová Pavla
Baroková Dana	Kandra Branislav	Poórová Jana
Bartík Ivan	Kasana Andrej	Randusová Beata
Benian Gabriel	Kavka Petr	Rattayová Viera
Beran Adam	Kendík Tomáš	Rončák Peter
Boháč Miloň	Kněžínek Karel	Ruman Stanislav
Borároš Tomáš	Koczka Bara Márta	Schneider Jiří
Březina Karel	Kodeš Vít	Schügerl Radoslav
Březková Lucie	Kohnová Silvia	Sedláčková Kateřina
Brziak Adam	Košťál Daniel	Shenga Zinaw
Budík Ladislav	Kotříková Katarína	Síčová Beáta
Caletka Martin	Kourková Hana	Sirotková Kamila
Čistý Milan	Kováčová Viera	Sleziak Patrik
Costache Mihnea-Ștefan	Kožín Roman	Slivková Katarína
Damborská Ingrid	Kukla Pavel	Slivová Valéria
Danáčová Michaela	Lamačová Anna	Sokáč Marek
Danáčová Zuzana	Ledvinka Ondřej	Šoltész Andrej
Daňhelka Jan	Lejska Stanislav	Špinarová Barbora
Danko Michal	Lentartowicz Marta	Štefunková Zuzana
Dobranský Marián	Leščešen Igor	Štěpánková Pavla
Döményová Jana	Letko Pavol	Strnad Filip
Drbal Karel	Liová Anna	Svoboda Vojtěch
Ducháček Libor	Liová Soňa	Szolgay Ján
Fošumpaur Pavel	Lovásová Ľubica	Tall Andrej
Garaj Marcel	Luptáková Andrea	Tátos Lukáš
Gašparíková Natália	Majerský Vladimír	Tomaščík Matúš
Gera Martin	Májovská Andrea	Tomšík Jan
Gomboš Milan	Marčíš Marián	Tyl Radovan
Hagara Pivarčiová Lucia	Mátlová Marie	Urbancová Jaroslava
Halaj Martin	Melo Marián	Vacková Kateřina
Halmová Dana	Melová Katarína	Válek Andrej
Hanel Martin	Mészáros Ivan	Valent Peter
Havlík Martin	Miklánek Pavol	Velísková Yveta
Hlaváčiková Hana	Molnárová Anna	Viskot Dominik
Hlavčová Kamila	Moroșanu-Mitoșeriu G. Adina	Vizina Adam
Holko Ladislav	Mudra Jiří	Výleta Roman
Honek David	Musilová Alice	Zaharia Liliana
Hornová Hana	Nesládková Magdalena	Zeleňáková Martina
Hrivňák Štefan	Onderka Milan	Zemanová Šárka
Hrušková Kateřina	Orfánus Martin	Zvolenský Marcel
Ivan Peter	Paľušová Zuzana	

## ODKIAĽ SME VYŠLI, KAM SME SA DOSTALI A KAM BY SME MOHLI SMEROVAŤ

**Ján Szolgay<sup>1</sup>, Pavol Miklánek<sup>2</sup>, Ladislav Holko<sup>2</sup>, Jan Daňhelka<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Národný zástupca Medzinárodnej asociácie hydrologických vied (IAHS); Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05, Slovenská republika

<sup>2</sup>Slovenský výbor pre Medzivládny hydrologický program UNESCO;

Ústav hydrológie SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

<sup>3</sup>Český národní výbor pro hydrologii; Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha, Česká republika

Rozvoj hydrológie v našom geografickom priestore tradične vznikala z praktických potrieb. V jej začiatkoch to nebola vedecká disciplína v dnešnom zmysle slova, ale služba spoločnosti pre nakladanie s povodňami, suchom, plavbou, mlyni, melioráciami, zásobovaním vodou, splaveninami, ľadovými javmi a neskôr aj s výstavbou priehrad, vodných diel a urbanizáciou krajiny. Postupne sa zo služby vyvinula vedecká disciplína s vlastnými metódami, inštitúciami, učebnicami, výskumnými školami a medzinárodným uznaním.

Tento vývoj nebol priamy ani samozrejмый. Bol poznačený zmenami štátov, hraníc, režimov, administratívnych štruktúr a vedeckých paradigiem. Napriek tomu si hydrológia u nás zachovala kontinuitu služby spoločnosti. Jej nositeľmi boli ľudia, ktorí dokázali prenášať poznanie medzi generáciami, medzi službou a výskumom, medzi školou a praxou, medzi domácim prostredím a medzinárodnou komunitou. Niektorí budovali inštitúcie, iní merali v teréne, ďalší vytvárali metodiky, písali učebnice, vychovávali študentov, organizovali odbornú komunitu alebo otvárali cestu do sveta. Preto nie je možné písať dejiny hydrológie iba ako dejiny úradov, zákonov, ústavov, objavov a publikácií. Skutočný vývoj odboru tvorili konkrétni ľudia. Ich práca dala číslam z vodočetných lát vedecký význam, meraniam v profiloch spoločenský zmysel a hydrologickým výpočtom zodpovednosť voči krajine a jej obyvateľom.

Niektorých z významných československých a slovenských hydrológov si preto v nasledujúcich medailónoch pripomíname symbolicky aj v zastúpení mnohých ďalších. Spája ich významné životné jubileum, ale najmä skutočnosť, že svojím dielom pomohli vytvoriť most medzi hydrografiou minulosti a modernou hydrológiou dneška. Nejde nám tu o prísnu historickú faktografiu, len voľne opisujeme rámce vývoja hydrológie cez príspevky význačných osobností, ktorých sté výročie narodenia si takto zároveň pripomíname. Využívajúc aj umelú inteligenciu, sme vychádzali z našej vlastnej pamäte zo spoločnej práce a rozhovorov s nimi, ich súputníkmi, publikovaných blahoprianí a nekrológov, ktoré uvádzame pre úplnosť pod týmto úvodníkom.

Pred vznikom ČSR sa v hydrológii vytvárali dve tradície, ktoré sa po vzniku Československa spojili: česká, s výrazným centrom v Prahe, a uhorská s centrom v Budapešti, z ktorej Slovensko prebralo časť pozorovacích sietí, údajov a služobných skúseností. V českých krajinách sa často za takto poňatej organizovanej hydrologickej služby považuje rok 1875, keď bola v Prahe zriadená Hydrografická komisia pre Kráľovstvo české. Práve toto pracovisko sa stalo jedným z prvých systematických hydrografických útvarov v strednej Európe. Pre územie dnešného Slovenska však treba sledovať aj druhú líniu, uhorskú. V roku 1886 vznikol Kráľovský hydrografický ústav v Budapešti, resp. uhorský hydrografický útvar, ktorý centralizoval hydrografické pozorovania, spracovanie údajov a povodňovú službu v uhorskej časti monarchie.

Vznik Československej republiky v roku 1918 priniesol aj zásadný zlom. V roku 1919 bol v Prahe založený Štátny ústav hydrologický, ktorý sa stal jednou z prvých vedeckých a technických inštitúcií spoločného štátu. Na Slovensku sa samostatnejšie organizačné jadro hydrologickej služby formovalo v medzivojnovom období. V roku 1923 bolo zriadené Hydrografické oddelenie Vládneho referátu verejných prác pri Ministerstve pre správu Slovenska. Neskôr sa hydrografická agenda objavila aj v štruktúre Krajského úradu v Bratislave. Toto obdobie bolo významné tým, že hydrológia prestávala byť iba evidenciou vodných stavov a postupne sa menila na službu štátu. Jej úlohy zahŕňali hlásnu a predpovednú službu, hydrometrické merania, budovanie a udržiavanie pozorovacích sietí, zrážkomernú a vodočetnú službu, odborné posudky, vodný kataster a spracovanie pozorovaní do publikácií. Povoynové desaťročia znamenali pre československú hydrológiu kvalitatívny skok. Kým staršia hydrografia sa opierala najmä o pozorovanie a popis, hydrológia päťdesiatych

a šesťdesiatych rokov začala systematicky rozvíjať výpočtové metódy, hydrologickú regionalizáciu, bilancie, návrhové charakteristiky, teóriu odtoku, povodňové analýzy, vodohospodárske plánovanie a experimentálny výskum.

Do tohto povojnového obdobia patrí aj jeden z najväčších systémových výkonov československého vodného hospodárstva: Štátny vodohospodársky plán republiky Československej. Bol spracovávaný v rokoch 1949–1953, v tlačenej podobe vychádzal v rokoch 1954–1956 a vláda ho schválila uznesením č. 75/1954 z 8. januára 1954. Neskôr sa podľa zákona č. 11/1955 Zb. o vodnom hospodárstve stal smerodajným plánovacím podkladom pre vodohospodárske opatrenia jednotlivých odvetví národného hospodárstva aj pre územné plánovanie.

Jeho význam pre hydrologiu bol zásadný. Nešlo iba o administratívny alebo investičný dokument. Štátny vodohospodársky plán si vyžadoval rozsiahlu syntézu poznatkov o vodných zdrojoch, odtoku, potrebách vody, ochrane pred povodňami, možnostiach akumulácie, regionálnych rozdieloch a perspektívach využívania vôd. Hydrologia tým získala nové postavenie: stala sa podkladovou disciplínou veľkého národného hospodárskeho plánovania. Údaje z pozorovacích sietí, výpočty prietokov, bilancie, odhady extrémov a regionálne charakteristiky už neslúžili len na opis vodného režimu, ale vstupovali do rozhodovania o rozvoji priemyslu, poľnohospodárstva, energetiky, miest, dopravných ciest a ochrany pred povodňami. Vytváralo sa viacero navzájom prepojených centier: hydrologická služba, aplikovaný vodohospodársky výskum, akademická hydrologia a výskum, vysoké školy (spočiatku najmä stavebné inžinierstvo a vodohospodárske odbory). Hydrologia sa stala súčasťou formovania generácií projektantov, výskumníkov, správcov tokov, pracovníkov hydrologickej služby a odborníkov pre vodné hospodárstvo.

Na Štátny vodohospodársky plán nadviazal Smerný vodohospodársky plán podrobnejšie rozpracovaný po jednotlivých povodiach; každoročne sa aktualizoval Vestníkom a každých päť rokov Zborníkom SVP. Smerný vodohospodársky plán znamenal posun od povojnového budovateľského plánovania k trvalejšej koncepcijnej činnosti. Do popredia sa dostávali nielen nové vodné diela a odbery vody, ale aj ochrana zdrojov pitnej vody, bilancia potrieb a zdrojov, územná diferenciácia vodohospodárskych problémov, kvalita vôd, povodia ako plánovacie jednotky a potreba pravidelnej aktualizácie poznania. Pre hydrologiu to znamenalo ďalšie posilnenie jej aplikačného významu. Hydrologické údaje, režimové charakteristiky a odhadové metódy sa stali nevyhnutnou súčasťou plánovania rozvoja krajiny.

Špecifickou črtou československej hydrologie bolo jej úzke prepojenie s potrebami krajiny. Vznikala pri riešení reálnych úloh: ochrany pred povodňami, návrhu nádrží, hydrologických podkladov pre priehradu a úpravy tokov, meliorácií, zásobovania vodou, splavnosti riek, erózie, transportu sedimentov, kvality vôd a neskôr aj ochrany vodných ekosystémov. Osobitné miesto v tomto vývoji má súborná publikácia Hydrologické pomery Československej socialistickej republiky z roku 1970. Význam tejto publikácie nebol iba encyklopedický. Predstavovala syntézu hydrologických poznatkov o území celého Československa a zároveň poskytovala jednotný metodický a dátový základ pre projektovanie, plánovanie, vedeckú prácu a výučbu. Zasadila hydrologické pomery do celorepublikového rámca a zároveň umožnila porovnávať regionálne rozdiely v odtoku, zrážkach, bilancii, režime tokov a vodnosti povodí. Takéto diela mali pre odbor mimoriadny význam: zhromažďovali poznanie jednej generácie a poskytovali základ, z ktorého mohli vychádzať ďalšie generácie hydroológov.

V druhej polovici 20. storočia sa československá hydrologia čoraz viac internacionalizovala. Medzivládny hydrologický program UNESCO vytvoril rámec, v ktorom sa domáce pracoviská zapájali do svetovej výmeny poznatkov, terminológie, metód a výskumných priorít. Tento rozmer bol dôležitý nielen administratívne, ale aj mentálne: československá hydrologia sa začala vnímať ako súčasť svetovej hydrologickej komunity.

Ďalší veľký zlom priniesol vstup do európskeho právneho a environmentálneho priestoru, najmä Rámcová smernica Európskej únie o vode 2000/60/ES. Tá zaviedla povinnosť plánovať a hodnotiť vody podľa správnych území povodí, používať plány manažmentu povodí a programy opatrení, chrániť a obnovovať vodné útvary, dosiahnuť dobrý ekologický a chemický stav a predchádzať zhoršovaniu stavu vôd. Zmenila jazyk aj logiku vodného hospodárstva. Do centra sa viac dostal stav vodného útvaru, vzťah kvantity a kvality, ekologická funkcia toku, hydromorfologické zmeny, tlakové analýzy, monitoring, programy opatrení a povodie ako základná jednotka riadenia.

Ak sa pozrieme na celé obdobie od 19. storočia po dnešok, vidíme cestu od jednoduchého pozorovania k integrovanému poznaniu vodného cyklu. Vyšli sme z hydrografických komisií, referátov a oddelení, ktorých hlavnou úlohou bolo merať a zhromažďovať údaje. Prešli sme cez obdobie budovania štátnych ústavov,

povodňovej a predpovednej služby, výskumných ústavov, akademických pracovísk a vysokých škôl. Štátny vodohospodársky plán ukázal, že hydrológia je nevyhnutná pre národohospodárske plánovanie. Smerný vodohospodársky plán ju začlenil do trvalej koncepcnej práce v povodiach. Publikácia Hydrologické pomery ČSSR zhrnula poznanie jednej veľkej odbornej generácie a poskytla pevný dátový a metodický základ. Rámcová smernica EÚ o vode potom otvorila ďalšiu etapu, v ktorej sa hydrológia stala súčasťou integrovanej ochrany vôd, ekologického hodnotenia, manažmentu povodí a adaptačných politík.

Vývoj odboru však nebol iba inštitucionálny. Menil sa aj obsah hydrologického myslenia. Od klasickej hydrografie, ktorej jadrom bolo meranie vodných stavov a prietokov, sa prešlo k hydrologickému režimu, bilancii, pravdepodobnostným metódam, hydrologickému modelovaniu, extrémnym javom, regionalizácii, odtokovým procesom, transportu sedimentov, kvalite vôd, hydromorfológii a v posledných desaťročiach aj k problematike klimatickej zmeny, krajinných zmien, neistôt a integrovanej správy vodných zdrojov. Dnešná hydrológia už nie je iba službou merania a výpočtu. Je to disciplína, ktorá spája fyziku prírodných procesov, štatistiku, modelovanie, geografické informačné systémy, diaľkový prieskum Zeme, ekologické súvislosti a rozhodovanie vo verejnom záujme.

Hydrológia dneška sa však už dnes nemôže definovať len ako veda o pohybe vody v prostredí. V dvadsiatom prvom storočí sa musí stať vedou o zmenách, rizikách, odolnosti a spoločenských voľbách sprostredkovaných vodou. Jej hlavnou úlohou je prepojiť globálne hydrologické zmeny – zmenu klímy, zmenu využívania pôdy, vyčerpávanie podzemných vôd, zintenzívnenie extrémov, stres ekosystémov a socioekonomickú transformáciu – s miestnymi rozhodnutiami o zásobovaní vodou, povodniach, suchách, poľnohospodárstve, mestách, infraštruktúre, ekosystémoch a riadení rizík. Budúca úloha hydrológie preto nespočíva len vo vysvetľovaní hydrologických procesov, ale aj v pomoci spoločnosti pri rozhodovaní o tom, čo je bezpečné, čo je udržateľné, čo je spravodlivé a čo je prevádzkovo možné v podmienkach neistoty. Hydrológia v našom regióne sa v dvadsiatom prvom storočí musí stať otvorenou, komparatívnou a na riešenia orientovanou vedou o suchozemskom vodnom systéme. Musí prepojiť globálne hydrologické zmeny s miestnymi rozhodnutiami, dlhodobé pozorovania s naliehavými opatreniami, umelú inteligenciu s fyzikálnym pochopením a vedeckú excelentnosť so spoločenskou zodpovednosťou. Musí budovať regionálne a globálne vedomostné štruktúry, podporovať politiku a operačnú prax, investovať do vzdelávania a vážne sa zaoberať spravodlivosťou a dôverou verejnosti. Jej budúca hodnota sa bude merať nielen tým, ako dobre vysvetľuje vodu, ale aj tým, ako zodpovedne pomáha spoločnostiam žiť s vodou v podmienkach zmien.

Tento vývoj budú mať v rukách nové generácie hydrológov. Ako by mohli pre seba interpretovať odkazy osobností, ktorých si tu pripomíname? Z minulosti by si mohli vziať tri silné stránky. Po prvé, kultúru monitoringu: dôveru v merania, prístroje, archívy, a dlhodobé záznamy. Po druhé, integračnú tradíciu hydrológie: schopnosť prepojiť zrážky, odtok, podzemnú vodu, sneh, pôdu, vegetáciu, rieky a ľudské potreby. Po tretie, súhrn hodnôt, zásad a ideálov, ktoré boli pre nich typické pri poskytovaní služieb hydrológie pre spoločnosť. Tieto tradície by sa nemali stať nostalgiou; mali by sa stať empirickým základom budovania otvorenej, komparatívnej a na budúcnosť orientovanej hydrológie. Lebo hydrológovia budú mať naďalej verejnú zodpovednosť za to, aby boli vedomosti o vode vedecky presné, prakticky využiteľné a spoločensky zodpovedné.

Generačne by mali zostať interpretmi zmien, hlásnikmi dlhodobých zákonitostí, prekladateľmi medzi globálnou hydrologickou zmenou a jej miestnymi prejavmi a hlavne čestnými sprostredkovateľmi neistôt s tým spojených. Ich úlohou bude pomáhať spoločnosti pochopiť, ktoré zmeny a riziká súvisiace s dostupnosťou vody v budúcnosti sú pravdepodobné a ktoré mitigačné zásahy sú spoľahlivé.

Ich nová ambícia v budovaní vedomostí musí byť širšia než doteraz. Hydrológovia by sa mali snažiť budovať štruktúrovanú regionálnu a globálnu vedu, ktorá zostane užitočná v miestnej praxi. Mali by pomáhať vytvárať otvorené siete observatórií, prenosné modely, transparentné rámce neistoty a spoločne vytvárané poznatky s odborníkmi z praxe a komunitami. Musí tiež obhajovať vzdelávanie v hydrológii ako spoločenskú investíciu, pretože adaptácia na zmenu klímy, zabezpečenie vodných zdrojov, ochrana ekosystémov a riadenie rizík vyžadujú odborníkov, ktorí chápu procesy aj dôsledky.

K tomu potrebné zručnosti sú preto hybridné. Budúci hydrológovia potrebujú pochopenie procesov, terénnu kompetenciu, štatistiku, strojové a hlboké učenie, prax otvorenej vedy, komunikáciu, politickú gramotnosť, etiku a schopnosť spolupracovať s rôznymi disciplínami. Predovšetkým však potrebujú zdravý úsudok: schopnosť rozpoznať, kedy sú údaje dostatočné, kedy sú modely dôveryhodné, kedy je neistota dôležitá a kedy sa hydrologická veda musí jasne vyjadriť v záujme verejného blaha.

## SPOMÍNAME: STOROČNICE VÝZNAMNÝCH OSOBNOSTÍ ČESKOSLOVENSKEJ HYDROLÓGIE

**prof Ing. Milan Dzubák, CSc.**

15. apríl 1926, Praha – 13. september 1996, Bratislava



Prof. Ing. Milan Dzubák, CSc. patrí k osobnostiam, ktoré rozhodujúcim spôsobom formovali modernú československú a slovenskú hydrológiu druhej polovice 20. storočia. V jeho profesionálnom profile sa prirodzene spojili vlastnosti vedca, metodológa, vysokoškolského učiteľa, organizátora výskumu a múdreho poradcu vodohospodárskej praxe. Pre generácie hydrológov ostal predstaviteľom odbornej poctivosti, presného myslenia a širokej kultúry technického i prírodovedného vzdelania. Jeho meno sa spája najmä s rozvojom pravdepodobnostného hodnotenia hydrologických extrémov, aplikáciou matematicko-štatistických metód, analýzou intenzívnych dažďov a povodňových prietokov, ale aj s úsilím prepájať vedecké poznanie s potrebami vodného hospodárstva.

Narodil sa 15. apríla 1926 v Istebnom na Orave v učiteľskej rodine. Po úmrtí otca sa rodina presťahovala do Košíc; stredoškolské štúdium absolvoval postupne v Košiciach, Banskej Štiavnici a Prešove, kde v roku 1945 maturoval. V tom istom roku sa zapísal na štúdium inžinierskeho staviteľstva na Slovenskej vysokej škole technickej v Bratislave. Štúdium ukončil v roku 1951 a nastúpil ako asistent na Katedru melioračno-zdravotnú Fakulty inžinierskeho staviteľstva SVŠT. Roku 1959 prešiel na Ústav hydrológie a hydrauliky Slovenskej akadémie vied. Kandidátsku dizertačnú prácu obhájil v roku 1964. Na ústave pôsobil ako vedecký pracovník, neskôr samostatný a vedúci vedecký pracovník, zástupca riaditeľa a v rokoch 1974 – 1980 ako riaditeľ ústavu. V roku 1981 bol vymenovaný za profesora pre odbor hydrológie a vodné hospodárstvo a začal pôsobiť na Stavebnej fakulte SVŠT, dnešnej STU v Bratislave, kde zostal aktívny až do konca života.

Jeho odborný rast bol spojený s akademikom Andrejom Bellom a s akademikom Otom Dubom, ktorí zásadne ovplyvnili jeho vedecké dozrievanie. Oto Dub ho neskôr hodnotil ako jedného z najlepších metodológov hydrológie svojej doby: ako vedca schopného genetického rozboru hydrologických javov, ich matematicko-štatistického spracovania, zovšeobecnenia a prevodu do použiteľných postupov pre vodohospodársku prax. Táto charakteristika výstižne vystihuje podstatu Dzubákovho diela. Teóriu nevnímal ako abstraktnú konštrukciu, ale ako nástroj lepšieho porozumenia javom v povodí a ako základ zodpovedného rozhodovania pri návrhu a prevádzke vodohospodárskych stavieb.

Ťažiskom jeho vedeckej práce bola hydrológia extrémov. Venoval sa intenzívnym dažďom, povodňovému režimu tokov a dažďovým povodňami, pravdepodobnostnému hodnoteniu maximálnych prietokov a nepriamym metódam ich výpočtu. Vychádzal z genézy hydrologických procesov, analyzoval štatistické vlastnosti zrážok a odtoku a výsledky syntetizoval do metodických postupov na určovanie návrhových hodnôt maximálnych prietokov. Uplatňoval regionálnu analýzu a rozvíjal používanie teórie pravdepodobnosti a náhodných procesov v hydrológii. Významné boli jeho práce o maximálnych denných zrážkových úhrnoch, o redukcii denných zrážkových úhrnov na kratšie trvania, o extrapolácii krátkych radov pozorovaní a o využití zrážkových údajov pri odhade povodňových charakteristík. Popri povodňach sa venoval hydrometrii, tvorbe a koncentrácii odtoku, minimálnym prietokom, hydrologickému suchu, hydroekologickým limitom, stabilite návrhových veličín a bol priekopníkom hodnotenia dôsledkov klimatickej zmeny na vodné zdroje.

K jeho najvýznamnejším prácam patria kapitoly Metódy zpracování hydrologických pozorování a měření a Extrémy povrchového odtoku v syntetickom diele Hydrológie (SNTL, Praha, 1969), ktoré spoluvytvárali metodický základ československej inžinierskej hydrológie. Významné sú aj práce o pravdepodobnostnom hodnotení extrémnych členov hydrologických radov, o zákone rozdelenia maximálnych denných zrážkových úhrnov, o návrhových hodnotách kulminačných prietokov a ich zmenách, ako aj štúdie venované extrémnym odtokovým pomerom v povodí Kysuce a stabilite hydrologických návrhových veličín. Ako autor alebo spoluautor sa podieľal na učebných textoch Vodohospodárske stavby, Úvod do štúdia vodohospodárskeho inžinierstva, Vodné hospodárstvo a Hydrológia. Medzinárodný rozmer jeho práce potvrdzujú príspevky v publikáciách a podujatiach Medzinárodnej asociácie hydrologických vied IAHS a Medzinárodného

hydrologického programu UNESCO, expertízne pôsobenie v rámci Svetovej meteorologickej organizácie pri projektoch pre Strednú Guineu a pri optimalizácii hydrologickej siete Cypru, ako aj spolupráca v rámci akadémií vied krajín strednej a východnej Európy.

Rovnako dôležitá bola jeho pedagogická činnosť. Prednášal na Stavebnej fakulte SVŠT, na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského a krátko aj na Vysokej škole poľnohospodárskej v Nitre. Viedol predmety hydrológia a vodné hospodárstvo a pripravoval výberové kurzy, v ktorých dokázal spájať teoretickú náročnosť s jasným výkladom. Vychoval početné generácie inžinierov vodohospodárov, prírodovedcov hydrológov a vedeckých pracovníkov; ako školiteľ aspirantov priviedol k vedeckej samostatnosti viacerých významných odborníkov pôsobiach na vysokých školách, vo výskume, v hydrologickej službe i v zahraničí. Jeho žiaci a kolegovia si ho pamätali ako učiteľa, ktorý kládol vysoké nároky, no zároveň neúnavne ochotne vysvetľoval, povzbudzoval a pomáhal.

Rozsiahla bola aj jeho vedecko-organizačná práca. Pôsobil v domácich a medzinárodných odborných orgánoch a v rôznych komisiách pre vodné hospodárstvo a hydrológiu, medzi nimi v orgánoch Medzinárodného hydrologického programu UNESCO, v komisiách SAV a ČSAV, v koordinácii štátneho plánu základného výskumu a v komisiách pre obhajoby vedeckých hodností. Bol koordinátorom významných výskumných smerov a kurátorom hydrometeorologických projektov v rámci mnohostrannej spolupráce akadémií vied strednej a východnej Európy. Za svoju prácu získal viaceré významné ocenenia: čestnú medailu SAV Aurela Stodolu, zlatú medailu SAV Dionýza Štúra, zlatú medailu SVŠT, zlatú medailu Prírodovedeckej fakulty UK, medailu Akadémie vied ZSSR za zásluhy o rozvoj geofyzikálnych vied, rezortné vyznamenanie Budovateľ vodného hospodárstva a štátne vyznamenanie Za vynikajúcu prácu.

Dzubákov prínos mal osobitnú hodnotu tým, že spájal vedeckú hĺbku s inžinierskou použiteľnosťou. Jeho práce vstupovali do metodík, expertíz a projektovej praxe; ovplyvňovali posudzovanie povodňového nebezpečenstva, dimenzovanie vodohospodárskych stavieb, koncepčné úvahy o vodných zdrojoch i rozvoj hydrologických pozorovacích sietí. Ako riaditeľ Ústavu hydrológie a hydrauliky SAV podporoval prepojenie akademického výskumu s rezortnou hydrologickou službou a s vodohospodárskou praxou. Bol vyhľadávaným konzultantom pracovníkov SHMÚ, ČHMÚ, VÚVH, projektových organizácií i vysokých škôl. Jeho stanoviská boli cenené pre vecnosť, logickú presnosť a schopnosť vystihnúť podstatu problému bez straty širších súvislostí.

O Milanovi Dzubákovi nemožno hovoriť iba prostredníctvom funkcií, titulov a publikácií. V pamäti súčasníkov ostal ako človek srdečný, otvorený, vtipný a družný, s encyklopedickým rozhľadom, športovým duchom a prirodzenou autoritou. Okolo seba vytváral prostredie dôvery, kolegiality a odbornej zodpovednosti. Bol prísny na argumenty, ale láskavý k ľuďom; náročný na kvalitu, no vždy ochotný podeliť sa o skúsenosť. Jeho pracovitosť, presnosť a zápal pre vodu sa spájali s ľudskou prívetivosťou, ktorá z neho robila nielen rešpektovaného vedca a profesora, ale aj radcu a priateľa. Jeho dielo zostalo súčasťou odbornej pamäti slovenskej hydrológie. Predstavuje odkaz, že dobrá hydrológia je súčasne veda o prírodných procesoch, inžinierska zodpovednosť voči spoločnosti a kultúra presného, čestného odborného myslenia.

### **Ing. Otakar Malý**

11. máj 1926, Nitra – 02. marec 2016, Bratislava



Ing. Otakar Malý (1926 – 2016) patrí k osobnostiam, ktoré sa spájajú celým obdobím formovania modernej hydrologickej služby na Slovensku. Narodil sa 11. mája 1926 v Nitre, od detstva však žil v Bratislave, ktorá sa stala jeho trvalým životným aj pracovným zázemím. Vysokoškolské štúdium začal roku 1945 na Slovenskej vysokej škole technickej v odbore konštruktívne, dopravné a vodné hospodárstvo. Ešte pred ukončením štúdia, v januári 1952, nastúpil do Výskumného ústavu hydrologického, do oddelenia povrchových vôd vedeného akademikom Otom Dubom. V tomto prostredí, kde sa hydrologická služba ešte len inštitucionálne a odborne stabilizovala, patril po RNDr. Jurajovi Paclovi, CSc., medzi prvých vysokoškolsky vzdelaných pracovníkov.

Po skončení dvojročnej vojenskej služby v Dukle Praha sa v roku 1954 vrátil na pracovisko, kde bol pripravovaný na vedenie oddelenia podzemných vôd a absolvoval odborný zácvik v Brne a Prahe u viacerých špecialistov. Získané poznatky preniesol do praxe na Slovensku: po prevzatí

oddelenia podzemných vôd zavádzal nové pracovné postupy a metódy, najmä zásadne prebudoval pozorovaciu sieť podzemných vôd. Staršie zarážané trubky sa nahrádzali vrtmi a rozširujúci sa monitoring začal poskytovať údaje vhodné na systematické spracovanie v prvých ročenkách podzemných vôd. Od roku 1969 pôsobil Ing. Malý ako námestník pre hydrológiu. Práve v tejto funkcii sa najvýraznejšie prejavili jeho organizačné schopnosti, cit pre praktickú hydrológiu a schopnosť zavádzať technické inovácie do služby.

Podporoval budovanie a modernizáciu monitorovacích sietí, moderné prístrojové vybavenie hydrologických pracovísk, hromadné spracovanie údajov pomocou výpočtovej techniky a zapájanie pracovníkov SHMÚ do aplikačných výskumných úloh doma i v zahraničí. K inováciám spájaným s jeho menom patrilo aj snímkovanie snehovej pokrývky a stanovovanie jej vodnej hodnoty, dôležité pre operatívne aj bilančné hydrologické hodnotenia.

Mimoriadne dôležitý bol jeho podiel na založení Hydrofondu. Spolu s RNDr. Jánom Šubom navrhol vytvoriť hydrologický pendant ku Geofondu a v spolupráci s odborníkmi z Prahy a Brna pripravoval dokumenty potrebné na jeho realizáciu. Tento krok mal širší význam než len administratívne usporiadanie údajov. Išlo o snahu urobiť z hydrologických dát systematicky evidovaný, overovaný a dlhodobo využiteľný odborný fond. V oblasti podzemných vôd tak vtedajší Hydrometeorologický ústav získal nástroj, ktorý ho podľa dobových hodnotení zaraďoval medzi progresívne európske ústavy.

Osobitnú kapitolu tvorí jeho príspevok k metodike riadenia hydrologickej služby. Oto Malý inicioval metodické porady jednotlivých hydrologických odborov, ktoré umožnili zjednocovať postupy meraní, vyhodnocovania a spracovania údajov. Z týchto stretnutí vyrastali smernice na celoštátnej úrovni, výmena skúseností medzi pracoviskami a neformálne odborné väzby, ktoré zvyšovali kvalitu každodennej služby. S jeho menom sa spája aj podpora diaľkového prenosu údajov z vodomerných staníc a úsilie o technickú modernizáciu ústavu vrátane rozvoja pracovísk na Kolibe. V tomto zmysle bol Oto Malý nielen odborníkom na jednu časť hydrologického cyklu, ale aj tvorcom infraštruktúry, bez ktorej by sa moderná hydrologická služba nemohla rozvíjať.

Jeho odborný profil dokresľujú aj publikácie a správy, v ktorých vystupoval ako autor, spoluautor alebo člen autorského a editorského kolektívu. Venoval sa metodickým prácam o evidencii vodných zdrojov podzemných vôd, meraní výdatností prameňov a otázkam perspektív experimentálnej hydrológie. Významná je jeho účasť v kolektíve diela Hydrologické pomery Československej socialistickej republiky, Díl III, vydaného Hydrometeorologickým ústavom v roku 1970. Toto dielo patrilo k základným syntetizujúcim prácam československej hydrológie a Malého účasť svedčí o jeho podiele na širšom metodickom a dokumentačnom budovaní odboru. Jeho práce ukazujú, že Malý uvažoval o hydrológii v širokom kontexte terénneho výskumu, reprezentatívnych a experimentálnych povodí, prístrojovej techniky, spracovania údajov, diaľkového prieskumu Zeme a medzinárodnej spolupráce. Inšpiroval sa tradíciou československých experimentálnych povodí a reagoval na impulzy Medzinárodnej hydrologickej dekády UNESCO. Zdôrazňoval potrebu kvalitných dlhodobých hydrologických dát, sledovania vývoja meracích metód, informačných systémov a prepojenia základného výskumu s praktickými úlohami vodného hospodárstva.

Popri profesionálnom pôsobení výrazne formovala jeho osobnosť voda aj v športe. Už ako pätnásťročný sa venoval plávaniu a veľmi skoro sa stal úspešným trénerom mládeže. V roku 1952 viedol československých plavcov na olympijských hrách v Helsinkách a po návrate krátko pôsobil ako tréner plaveckého oddielu Dukla Praha. Namiesto športovej kariéry si však zvolil návrat k hydrológii. Bol spoluzakladateľom Yacht Clubu Slovan Bratislava, a členom výboru Československého zväzu jachtingu zväčša ako predseda trénerskej rady. Pôsobil aj v kolégiu Fair play Slovenského olympijského výboru.

Za odbornú prácu získal zlaté medaily ČHMÚ a SHMÚ, ako aj rezortné a štátne ocenenia Budovateľ vodného hospodárstva a Za vynikajúcu prácu. V športe bol ocenený Zlatým odznakom ČSTV a SZTK, titulom zaslúžilý tréner, Striebornými olympijskými kruhmi, cenou Fair play a ďalšími uznaniami. V roku 2002 dostal od Medzinárodného olympijského výboru bronzovú sošku za dobrovoľnícku prácu v telovýchove.

Spomienkové texty ho vykresľujú ako človeka energického, priateľského, prajného a veľkorysého, najmä voči mladým ambicióznym pracovníkom, ktorým vytváral priestor a podporu. Patril k tým osobnostiam, ktoré formovali hydrológiu nielen vlastnými publikáciami, ale predovšetkým tým, že vytvorili podmienky, aby sa československá a neskôr slovenská hydrologická služba mohla stať modernou, metodicky spoľahlivou a odborne rešpektovanou súčasťou európskej. Jeho životná práca spočívala v tichom, ale rozhodujúcom budovaní základov: sietí, metodík, údajových fondov, prístrojového vybavenia, výpočtového spracovania a kolegiálnych väzieb. Hydrológia na Slovensku po ňom prevzala pevné základy pre svoj dnešný rozvoj.

## prof. Ing. Jaromír Němec, CSc.

3. november 1926, Praha – 3. október 2010, Ženeva



Prof. Ing. Jaromír Němec, CSc., v medzinárodnom prostredí známy najmä ako Jerry Němec, patril k najvýraznejším československým hydroológom druhej polovice 20. storočia. Jeho meno sa spája s obdobím, v ktorom sa hydrologia menila z prevažne podpornej národnej technickej disciplíny na samostatný odbor medzinárodnej spolupráce vychádzajúci z národných hydrologických služieb a stáva sa neopomenuteľnou súčasťou riadenia vodného hospodárstva. V československom prostredí vyrástol z tradície regionálnej inžinierskej hydrologie, no svojím pôsobením vo Svetovej meteorologickej organizácii sa zaradil medzi osobnosti, ktoré formovali globálnu hydrologiu.

V roku 1952 vznikla Vysoká škola zemědělská (VŠZ) a na jej agronomickej fakulte odbor meliorácií. Vypracoval sa na profesora hydrologie a stal sa jedným z prvých vedúcich Katedry základov vodného hospodárstva, pracoviska zameraného na vodné zdroje a hydrologické laboratórium. Prednášal hydrologiu, protipovodňovú ochranu a problematiku vodných zdrojov v Československu aj v zahraničí. Pôsobil v Bagdade, Havane, Delfte, Padove a Lausanne. Táto etapa života ho predstavuje ako pedagóga, ktorý dokázal spájať univerzitnú výučbu, výskum a poradenstvo pri reálnych vodohospodárskych projektoch. Venoval sa najmä vzťahom medzi zrážkami a odtokom, malým povodiam, povodniam, zásobnej funkcii nádrží a využívaniu hydrologických údajov vo vodohospodárskej praxi.

Rozhodujúci obrat v jeho kariére nastal roku 1965, keď odišiel do Ženevy do sekretariátu Svetovej meteorologickej organizácie. Najprv sa stal vedúcim divízie hydrometeorológie a od roku 1968 prvým riaditeľom na úseku hydrologie a vodných zdrojov. Na tejto pozícii pôsobil do roku 1987. Nebola to iba administratívna funkcia. V tom čase, keď bola hydrologia v meteorologickom prostredí WMO vnímaná ako cudzorodý prvok hľadajúci si miesto, prof. Němec presadil jej operatívny, spoločenský a technický význam. Právom sa preto označuje za jedného z otcov operatívnej hydrologie vo WMO.

Jeho svetový prínos spočíval najmä v tom, že hydrologiu chápal ako službu spoločnosti. Nešlo mu iba o vedeckú disciplínu, ale aj o integrovaný systém pozorovaní, metodík, technickej spolupráce, prognóz a výstrah, ktorý má pomáhať pri minimalizácii rizík, ochrane životov a rozvoji vodných zdrojov. V rámci WMO prispel k tomu, aby sa národné hydrologické služby stali prirodzenou súčasťou medzinárodnej spolupráce. Podporoval projekty v rozvojových krajinách, najmä v oblasti Viktóriinho jazera, Strednej Ameriky a povodia Nílu.

Osobitné miesto medzi jeho iniciatívami mal program HOMS – Hydrological Operational Multipurpose System, teda systém prenosu hydrologických metód, modelov a technológií medzi členskými štátmi WMO. Tento program vyjadroval Němcovu predstavu, že hydrologia má byť použiteľná, zdieľateľná a operatívne účinná. Za jeho organizačnú energiu a schopnosť presadiť hydrologiu v systéme OSN mu svetová komunita priznala veľký rešpekt. Po odchode z WMO pôsobil v rokoch 1987 – 1989 vo FAO OSN v Ríme ako vedúci služby vodných zdrojov. V roku 1988 získal spolu so Sorinom Dumitrescom, riaditeľom Divízie vied o vode UNESCO Medzinárodnú cenu za hydrologiu, udeľovanú Medzinárodnou asociáciou hydrologických vied IAHS. Pri udelení ceny sa zdôraznilo, že za udomácnením operatívnej hydrologie vo WMO a ustanovením programu HOMS stál profesor Němec ako hybná sila. Aj neskôr zostal medzinárodne aktívny ako technický poradca, univerzitný prednášateľ a konzultant v Európe a v Spojených štátoch.

Do československej hydrologie sa Jaromír Němec zapísal aj ako autor a spoluautor významných učebníc a syntetických prác. K najdôležitejším patria Základy hydrologie pro zemědělce a lesníky, Hydrologie s Otom Dubom a kolektívom, Inženýrská hydrologie a medzinárodne šírená kniha Engineering Hydrology z roku 1972. Jeho neskoršia monografia Hydrological Forecasting: Design and Operation of Hydrological Forecasting Systems z roku 1986 zhrnula skúsenosti s navrhovaním a prevádzkou hydrologických predpovedných systémov. K významným odborným prácam patria aj štúdie o klimatickej variabilite, citlivosti vodohospodárskych systémov na zmenu klímy, globálnej vodnej bilancii, využití kozmických technológií v hydrologii a modelovaní veľkých povodí. Tieto práce ukazujú šírku jeho záberu: od klasickej inžinierskej hydrologie cez predpovede a modelovanie až po otázky klimatickej zmeny a globálnych vodných zdrojov.

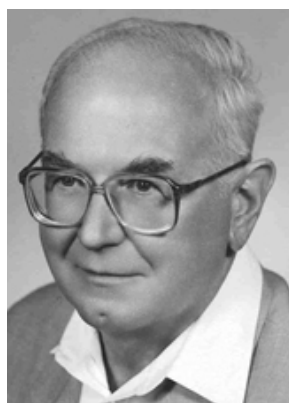
Osobnostne bol Nĕmec výrazný, energický a nezameniteľný. Spomienkové texty ho opisujú ako človeka, na ktorého sa nezabúdalo: priamočiareho, niekedy búrlivého, s veľkou pracovnou energiou a silným hlasom, ale zároveň s mimoriadnou schopnosťou nadchnúť ľudí pre hydrológiu. Nebol diplomat v uhladenom zmysle slova; bol skôr človek, ktorý išiel do konfliktu, ak cítil, že ide o vecnú podstatu odboru. Práve tým dokázal rozhybať inštitúcie, ktoré by inak postupovali pomaly a opatrne. Jeho spolupracovníci na roky v oddelení hydrológie a vodných zdrojov WMO spomínali ako na náročné, ale mimoriadne tvorivé obdobie.

V českom a československom kontexte predstavuje Jaromír Nĕmec výnimočný príklad odborníka, ktorý prekročil hranice národnej školy a stal sa svetovou osobnosťou. Z Prahy priniesol do Ženevy stredo európsku technickú dôslednosť, jazykovú a kultúrnu otvorenosť a schopnosť spájať vedu, prax a medzinárodnú službu. Jeho meno sa vo WMO, UNESCO a IAHS dodnes spája s českou hydrológiou a s obdobím, keď sa operačná hydrológia stala uznávanou súčasťou medzinárodného systému.

Odkaz Jaromíra Nĕmca spočíva v presvedčení, že hydrológia má byť vedecky kvalitná, technicky užitočná a spoločensky zodpovedná. Patril k tým, ktorí dokázali premeniť odborné poznanie na inštitúcie, programy, predpovedné systémy a medzinárodnú spoluprácu. Preto jeho dielo nepatrí iba dejinám československej a českej hydrológie. Je súčasťou dejín svetovej hydrológie a pripomienkou, že voda ako predmet výskumu si vyžaduje nielen vedu, ale aj odvahu, organizačnú energiu a službu verejnemu záujmu.

### **RNDr. Juraj (Jiří) Pacl, CSc.**

13. november 1926, Horažďovice – 25. jún 2011, Červená Řečice



RNDr. Juraj (Jiří) Pacl, CSc. patrí medzi osobnosti našej hydrológie, ktorých životopis presahuje hranice jednej inštitúcie, jednej krajiny i jednej úzkej odbornej špecializácie. Narodil sa 13. novembra 1926 v Horažďoviciach v južných Čechách, no už od mladosti bol spätý so Slovenskom. V Bratislave získal gymnaziálne aj vysokoškolské vzdelanie a na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského sa formoval ako geograf a hydrograf. Na odporúčanie prof. Michala Lukniša nastúpil v roku 1948 do Štátneho hydrologického ústavu v Bratislave, kde pôsobil pod vedením Ota Duba. Tým sa jeho odborná dráha od začiatku spojila s generáciou, ktorá po druhej svetovej vojne budovala modernú slovenskú hydrológiu.

Prvé Paclove práce boli úzko viazané na praktické potreby vodného hospodárstva. Do tohto obdobia spadá úspešná obhajoba doktorskej dizertačnej práce „Váh – hydrologická štúdia“. Táto spolu s jeho diplomovou prácou boli použité pri vypracovaní Štátneho vodohospodárskeho plánu a odmenené Poverením techniky. Do tejto doby spadajú aj vedecké práce J. Pacla z oblasti ľadového režimu Dunaja a jeho prítokov po vybudovaní vodných diel. Venoval sa aj ľadovému režimu slovenských tokov. Jeho významným činom bolo priame hydrometrické zameranie kulminačného prietoku Dunaja v Bratislave počas povodne v roku 1954, uvádzaného hodnotou približne 10 400 m<sup>3</sup>/s, ktoré malo význam aj v medzinárodných rokovaniach o priebehu povodne na dunajskom rakúsko-československo-maďarskom úseku. Kandidátsku prácu o režime ľadov na slovenských tokoch obhájil v roku 1964 v Brne.

V máji 1959 odchádza jubilant z HMÚ na nové pracovisko – Výskumnú stanicu Tatranského národného parku – TANAP. Od roku 1954 bol členom Poradného zboru TANAP-u a v rokoch 1959-1965 pôsobil ako hydrológ Výskumnej stanice TANAP-u. Vysoké Tatry sa preňho nestali iba pracoviskom, ale krajinou celoživotného vzťahu. Pracoval na vodnej bilancii Tatier a ich čiastkových povodí, spracúval základné údaje významných tokov a plies, venoval sa hydrologickej bilancii Štrbského plesa, vodnej bilancii a limnológii tatranských jazier, katastru lavín, overovaniu protilavínových opatrení a v spolupráci s Katedrou geodézie Stavebnej fakulty SVŠT fotogrametrickému mapovaniu tatranských plies. Jeho systematické merania hladiny Štrbského plesa z rokov 1952–1961 zostali jedinečným zdrojom poznania. Bol v podstate jediným hydrológom, ktorý sa vtedy zaoberal.

Pacl bol zároveň výraznou osobnosťou ochrany prírody. Nešlo u neho o doplnkový záujem, ale o prirodzený dôsledok hydrologického myslenia, v ktorom voda, sneh, pôda, vegetácia, lavíny, turistické zásahy a vodohospodárske potreby tvoria jeden krajinný systém. Patril k odborníkom, ktorí v TANAP-e a neskôr aj v prostredí Slovenského zväzu ochrancov prírody a krajiny dokázali spájať expertízu s občianskou

zodpovednosťou. V debatách o rozvoji Tatier a Roháčov vystupoval proti necitlivému masovému turizmu a technokratickému plánovaniu nie ideologicky, ale vecne: argumentmi o únosnosti územia, rizikách povodní a lavín, potrebe výskumných zón a rešpektovaní prírodných limitov národného parku.

Rovnako dôležitá bola jeho práca po návrate do Bratislavy v roku 1965. Na Ústave hydrologie a hydrauliky SAV pracoval až do svojho odchodu do dôchodku v roku 1987. Tam sa stal vedeckým tajomníkom Československého výboru pre hydrologiu, ktorému predsedal akademik Oto Dub. Práve tu sa naplno prejavila jeho schopnosť spájať odbornosť, organizačný talent a jazykovú i ľudskú komunikačnú zdatnosť. Mal významný podiel na zabezpečovaní prvých fáz Medzinárodného hydrologického programu UNESCO v Československu, zúčastňoval sa rokovaní jeho medzivládnych orgánov v Paríži a pomáhal zapájať české a slovenské výskumné i pedagogické pracoviská do svetového hydrologického diania. V podmienkach rozdeleného sveta to bola nenápadná, ale mimoriadne dôležitá forma vedeckej diplomacie: prinášala literatúru, kontakty, informácie, metodické impulzy a pocit spolupatričnosti s medzinárodnou hydrologickou komunitou. Pačov príspevok k internacionalizácii hydrologie nebol iba administratívny. Pôsobil na hydrologických postgraduálnych kurzoch UNESCO na VŠZ v Prahe a prednášal na vyššom postgraduálnom kurze pre profesоров a špecialistov-hydroológov na Lomonosovovej univerzite v Moskve. Bol dva semestre hosťujúcim docentom Technickej univerzity vo Viedni.

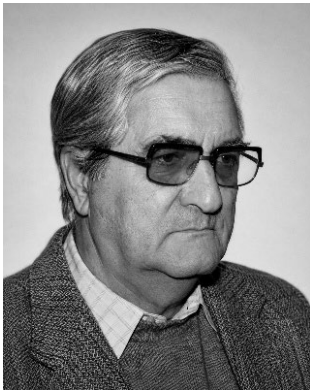
V jeho pôsobení sa spájal terénny výskumník, ktorý rozumel meraniu v ťažkých horských podmienkach, s človekom schopným prekladať miestne skúsenosti z experimentálnych povodí do zrozumiteľného jazyka hydrologických bilancií a vodohospodárskeho plánovania. Jeho vedecký záber zostal široký aj v týchto rokoch. V štúdiu o minulosti a možnostiach hydrologického výskumu v malých povodiach na Slovensku zhrnul význam Medzinárodnej hydrologickej dekády a nadväzujúceho programu UNESCO pre rozvoj experimentálnych a reprezentatívnych povodí. Zdôraznil potrebu využiť dlhodobé rady zo slovenských malých povodí a chápať ich ako základ hydrologickej analógie, poznania tvorby odtoku a praktického rozhodovania v krajine. Tento pohľad je typický pre Pacla: nestrácal zo zreteľa archívne údaje, konkrétny terén ani praktickú využiteľnosť vedeckého poznania. Jeho odkaz presahuje regionálny rámec: patril k tým odborníkom, ktorí československú hydrologiu udržiavali v kontakte so svetom a súčasne svetu sprostredkovali vedomosti hydrologie karpatskej a stredoeurópskej krajiny.

Osobnostne bol Pacl typom hydrológa, ktorý viac veril skúsenosti získanej v teréne než pohodliu kancelárie. Bol horolezcom, vodákom, speleológom, turistom, autorom odborných i populárno-náučných textov, prekladateľom a dlhoročným členom redakčnej rady časopisu Krásy Slovenska. S manželkou Libušou, významnou znalkyňou tatranskej flóry, zdieľal hlboký vzťah k horám a ochrane prírody. Spomienkové texty ho charakterizujú ako pracovitú, priateľskú a veľkorysú osobnosť, ochotnú deliť sa o trpezlivo nadobudnuté poznatky.

V dejinách slovenskej hydrologie zostáva ako československá a zároveň stredoeurópska osobnosť: vedec formovaný geografickou školou, praxou hydrologickej služby a tatranským terénom; organizátor medzinárodnej spolupráce; ochranca prírody a človek, ktorý vedel spájať prísnosť merania s kultúrou krajiny. Jeho odkaz spočíva nielen v publikáciách a meraniach, ale aj v príklade hydrologie ako služby spoločnosti, krajine a medzinárodnému porozumeniu.

## Ing. Ján Szolgay, CSc.

18. jún 1926, Bratislava – 18. október 2005, Bratislava



Ing. Ján Szolgay, CSc., patrí k výrazným predstaviteľom generácie, ktorá po druhej svetovej vojne budovala československé vodné hospodárstvo ako moderný technický, výskumný a spoločensky zodpovedný odbor. Svoj profesionálny život spojil predovšetkým s Výskumným ústavom vodného hospodárstva v Bratislave, kde pôsobil od roku 1951 a kde sa stal jednou z určujúcich osobností hydrologického, hydraulického a morfológického výskumu riek a vodných nádrží na Slovensku. Vo VÚVH zastával funkciu vedúceho oddelenia morfológie tokov a neskôr aj vedúceho hydrologického odboru. Jeho odborná dráha tak nebola iba dráhou výskumného pracovníka, ale aj organizátora výskumu, tvorcu pracoviska a človeka, ktorý pomáhal určovať smerovanie celého odboru.

Jeho záber bol pritom veľmi široký. Venoval sa koncepčným otázkam hydrologického výskumu na Slovensku, riešeniu štátnych úloh, výskumu pre vodné diela, ochrane termálnych prameňov v Piešťanoch, sedimentácii v nádržiach, povodňovej ochrane i sanácii povodňových škôd na Žitnom ostrove. Zapájal sa do činnosti odborných rád a výborov, pôsobil v rámci československých hydrologických štruktúr a medzinárodných hydrologických programov. Bol odborníkom, ktorého bolo možné prizvať k teoretickej koncepcii, technickému posúdeniu aj k naliehavej havarijnej úlohe. Ako expert sa zúčastňoval rokovaní československo-maďarských a československo-rakúskych komisií pre hraničné vody. Jeho odborná práca preto prirodzene prekračovala národný rámec a patrila do širšieho dunajského priestoru.

Narodil sa 18. júna 1926 v Bratislave. V rodnom meste absolvoval základnú školu, reálne gymnázium a neskôr Stavebnú fakultu Slovenskej vysokej školy technickej, ktorú ukončil v roku 1950. Už počas štúdia, a aj krátko po ňom, pôsobil ako odborný asistent prof. Kratochvíla na katedre zameranej na zakladanie stavieb a využitie vodnej energie. Táto ranná odborná skúsenosť ho formovala ako inžiniera, ktorý rozumel technickej stavbe, ale zároveň vnímal, že každé vodné dielo je súčasťou širšieho prírodného a spoločenského systému.

Po krátkej vojenskej službe pracoval vo Vodoprojekte pri príprave výstavby vodných diel. Od roku 1951 pôsobil vo Výskumnom ústave vodného hospodárstva, v roku 1963 obhájil kandidátsku dizertáciu na ČVUT v Brne. Ťažiskom jeho práce boli hydrologicko-hydraulicko-morfológické problémy v prírodnom prostredí. Osobitne významná bola jeho práca v oblasti plavenín a splavenín. Sedimenty nevnímal ako okrajový technický problém, ale ako jeden z kľúčov k pochopeniu života rieky, riekou chápal ako dynamický systém, ktorý má pamäť, energiu, vlastné rytmy a dlhodobý vývoj.

K trvalým výsledkom jeho práce patria hydromorfológické atlasy slovenských tokov. Pod jeho vedením alebo s jeho autorským podielom boli systematicky spracované rieky Nitra a Hron. Nešlo iba o opis riečnych úsekov, ale o pokus zachytiť vývoj toku v čase, dokumentovať morfológické zmeny a vytvoriť podklad pre rozhodovanie vo vodnom hospodárstve. Podobne významná bola aj línia erózo-sedimentačného výskumu slovenských nádrží, ktorá upozorňovala na praktické dôsledky zanášania akumuláčnych priestorov. Tieto práce ukazujú Szolgaya ako odborníka, ktorý spájal meranie, terénnu skúsenosť, analýzu procesov a potreby praxe. V tejto súvislosti je nevyhnutné zdôrazniť skutočnosť, že ním iniciovaný systematický výskum režimu plavenín a splavenín v slovenských vodných tokoch hodnotia aj v zahraničí ako priekopnícku a unikátnu vedeckú aktivitu v celosvetovom meradle.

Mimoriadne miesto v jeho kariére mal Dunaj. Pre slovenské vodné hospodárstvo bol Dunaj veľkou hraničnou riekou, dopravnou cestou, zdrojom vody, osou Žitného ostrova, priestorom povodňového rizika a zároveň predmetom medzinárodných rokovaní. Szolgay sa venoval úprave Dunaja pre splavnosť, ochrane pred veľkými vodami, režimu plavenín a splavenín, ľadovým javom, vodohospodársko-ekologickým otázkam pozdĺž rieky a neskôr aj problémom súvisiacim so sústavou vodných diel Gabčíkovo – Nagymaros.

Dôležitou súčasťou jeho práce bola pedagogická a školiaca činnosť. Vo VÚVH pôsobil ako školiteľ aspirantov, na SVŠT externe prednášal predmet Kvantitatívna hydromorfológia a podieľal sa aj na skúšobných komisiách a odbornej príprave mladších pracovníkov. Publikoval odborné práce, podieľal sa na učebniciach, technických sprievodcoch, monografií o Dunaji, správach VÚVH a vysokoškolských skriptách. Jeho texty a výskumné správy mali praktický cieľ: sprostredkovať poznanie tak, aby mohlo slúžiť ďalšiemu meraniu, projektovaniu, rozhodovaniu a ochrane územia.

Osobnostne vystupuje Ján Szolgay ako človek pracovitý, vecný, odborne náročný a zároveň bytostne orientovaný na službu praxi. Sám svoj pracovný prístup charakterizoval slovami, že sa usiloval robiť práce systémovo, komplexne a interdisciplinárne. Táto veta výstižne zhrňa jeho odborný profil. Neuspokojoval sa s jednoduchým výpočtom ani s izolovaným technickým riešením. Hľadal súvislosti medzi prietokom, sedimentom, korytom, vodným dielom, povodňou, krajinou a človekom.

Za svoju prácu získal viaceré odborné uznania vrátane ocenení za riešenie úloh súvisiacich s Dunajom a za štátnu úlohu Nitra. Uznanie mu vyjadrili odborné hydrologické orgány, Slovenská vysoká škola technická, partnerské vodohospodárske inštitúcie i rezort vodného hospodárstva. Tieto ocenenia však vystihujú len časť jeho odkazu. Ešte dôležitejšie je, že pomohol vytvoriť výskumnú líniu, na ktorú nadväzovali ďalší odborníci – medzi nimi spolupracovníci ako Blažej Náther, Alžbeta Stančíková, a jeho doktorandi Katarína Holubová či Martin Mišík.

Pri storočnici jeho narodenia si preto nepamätáme iba jedného významného výskumníka. Pripomíname si aj tradíciu slovenskej vodohospodárskej odbornosti, ktorá stála na terénnom meraní, dlhodobom pozorovaní, technickej presnosti a úcte k rieke ako k živému systému. Ing. Ján Szolgay, CSc., zostáva v dejinách VÚVH a vodného hospodárstva ako osobnosť, ktorá vedela rieky čítať v ich pohybe, tvare, sedimentoch, rizikách aj možnostiach. Jeho odkaz je aktuálny aj dnes, keď znovu hľadáme rovnováhu medzi využívaním riek, ochranou pred povodňami, ekologickou stabilitou a rešpektom k prirodzeným procesom vodnej krajiny. V čase, keď sa tento pojem ešte bežne nepoužíval, riešil otázky, ktoré sú dnes v centre moderného integrovaného manažmentu riek: synergicky vnímať vývoj riečného koryta, stabilitu brehov, transport sedimentov, splavnosť, povodňovú ochranu, vplyv vodných diel, ľadový režim, vzťah medzi prúdením vody a tvarom toku, ale aj environmentálne dôsledky zásahov do riečnych systémov.

### **prof. Ing. Jan Šilar, DrSc.**

9. september 1926, Ústí nad Labem – 15. január 2007, Praha



Prof. Ing. Jan Šilar, DrSc., patrí k najvýznamnejším osobnostiam československej hydrogeológie a hydrológie podzemných vôd druhej polovice 20. storočia. Jeho odborný život spájal technické vodohospodárske vzdelanie, prírodovedný pohľad na podzemné vody, vysokoškolskú vedu a pedagogiku, a medzinárodnú expertíznu činnosť. V dejinách odboru hydrogeológie zostáva zapísaný ako dlhoročný pedagóg Prírodovedeckej fakulty Univerzity Karlovej v Prahe, pokračovateľ školy prof. Otu Hynieho, a ako priekopník izotopových metód, najmä radiouhlíkového datovania podzemných vôd.

V roku 1951 ukončil štúdium na ČVUT ako stavebný inžinier vodohospodárskeho smeru. Už táto východisková kombinácia stavebného inžinierstva a vodného hospodárstva predurčila jeho celoživotný záujem o hraničné územie medzi technickými stavbami, geologickým prostredím a režimom podzemných vôd. V roku 1952 nastúpil na novozaloženú Katedru hydrogeológie a inžinierskej geológie Prírodovedeckej fakulty UK ako asistent prof. Hynieho. S týmto pracoviskom zostal spojený takmer päťdesiatpäť rokov, teda prakticky celý svoj profesionálny život. Kandidátsku prácu obhájil roku 1962 na tému agresívnych minerálnych vôd pri priehrade Nosice na Váhu; docentom bol menovaný v roku 1965. Roku 1991 bol menovaný profesorom hydrogeológie; po Otovi Hyniem sa stal historicky druhým profesorom hydrogeológie na Univerzite Karlovej.

Už Šilarova skorá odborná dráha mala výrazný medzinárodný rozmer. V rokoch 1957 – 1960 pôsobil ako zahraničný expert pri projektovaní 56 priehradných nádrží v južnej Číne. Práve skúsenosť s vodnými stavbami v krasových oblastiach významne ovplyvnila jeho ďalšiu orientáciu. Krasová hydrológia podzemných vôd a hydrogeológia, hydrogeologické podmienky zakladania priehrad a vodných stavieb a vzťah medzi vedou, inžinierskym dielom a horninovým prostredím sa stali jednou z trvalých línií jeho práce.

Významnú časť jeho vedeckého profilu tvorila regionálna hydrogeológia, minerálne a liečivé vody a hydrogeológia vodných stavieb. Osobitne cenné bolo jeho chápanie hydrogeológie ako disciplíny, ktorá nemôže zostať iba pri opise prameňov alebo kolektorov. Podzemnú vodu vnímal ako súčasť hydrologického cyklu a dynamickú zložku prírodného prostredia, ktorá je spätá s geologickou stavbou, obehom vody v krajine,

chemickými procesmi, technickými zásahmi a ochranou vodných zdrojov. Týmto prístupom významne ovplyvnil generácie študentov aj praktických hydrogeológov.

Mimoriadny význam má jeho priekopnícka úloha v izotopovej hydrologii. Od polovice 60. rokov sa začal systematicky venovať využivaniu rádionuklidov a radiouhlíkovému datovaniu v hydrogeológii, kvartérnej geológii a príbuzných odboroch. Po pobyte v Spojených štátoch na Washington State University a vo vodohospodárskom výskumnom stredisku v Pullmane v rokoch 1968 – 1969 rozvinul na Prírodovedeckej fakulte UK laboratórne a metodické zázemie pre tieto nové postupy. V 70. rokoch založil na fakulte medzinárodne registrované radiouhlíkové datovacie laboratórium. V československom prostredí išlo o moderný a vedecky odvážny krok: určenie aktivity uhlíka  $^{14}\text{C}$  umožnilo odhadovať dobu zdržania podzemných vôd, rozlišovať mladé a staršie zložky v kolobehu vody a presnejšie interpretovať pôvod a vývoj podzemných vôd.

Šilar nebol regionálnym bádateľom. Jeho práca mala zreteľný medzinárodný presah. Od 70. do 90. rokov pôsobil ako odborník v rámci Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu, Medzinárodnej asociácie hydrogeológov a programov Medzinárodného hydrologického programu UNESCO. Zúčastnil sa expertíz v mnohých krajinách sveta a aj vo vyššom veku sa dokázal zapojiť do moderného medzinárodného výskumu vrátane rámcových programov Európskej komisie. Tým prispel k tomu, že československá a česká hydrogeológia bola vnímaná ako odbor schopný prinášať metodické aj praktické riešenia na medzinárodnej úrovni.

Mimoriadny bol aj jeho pedagogický prínos. Počas viac ako polstoročia prednášal kľúčové predmety: všeobecnú hydrogeológiu, hydrauliku podzemných vôd, hydrologiu, hydrogeológiu v inžinierskom staviteľstve a izotopovú hydrologiu. Vychoval stovky študentov, viedol diplomové a doktorské práce a pôsobil aj na Univerzite Jana Evangelistu Purkyně v Ústí nad Labem. Jeho pedagogika nebola iba odovzdávaním hotových poznatkov. Bola školou pozorovania, presnosti, zodpovednosti a terénnej skúsenosti. Nezabudnuteľnou súčasťou jeho učiteľského pôsobenia boli odborné exkurzie, v ktorých vedel spojiť geologické detaily, hydrologickú interpretáciu a praktické dôsledky pre ochranu vôd alebo staviteľstvo.

Publikačný odkaz Jana Šilara je rozsiahly. K jeho významným dielam patria najmä učebné a syntetické práce z hydrogeológie, práce o regionálnej a krasovej hydrogeológii, štúdie o minerálnych a liečivých vodách, práce k hydrogeologickým otázkam vodných stavieb a publikácie venované radiouhlíkovým a izotopovým metódam. Za celoživotný prínos odboru získal v roku 1999 Cenu Oty Hynie, ktorú mu udelil Český komitét Medzinárodnej asociácie hydrogeológov a Česká asociácia hydrogeológov.

Osobnostne bol Jan Šilar v spomienkach vykresľovaný ako náročný, presný a zásadový pedagóg, ale zároveň ako priateľský, empatický a hlboko ľudský človek. Bol prísny na študentov a spolupracovníkov, predovšetkým však na seba samého. Jeho odborná autorita nevychádzala z formálneho postavenia, ale z vedomostí, skúseností, pracovnej poctivosti a morálneho kreditu. V očiach svojich žiakov zostal „pánom profesorom“ v najlepšom zmysle slova – učiteľom, ktorý formoval odbornosť aj charakter. Spomienkové texty zdôrazňujú, že išlo o osobnosť s nespochybniteľným odborným i morálnym kreditom.

V dejinách československej a českej hydrogeológie predstavuje prof. Jan Šilar spojovací článok medzi inžinierskou vodohospodárskou školou, prírodovednou hydrogeológiou a modernými izotopovými metódami. Jeho odkaz je v tom, že hydrogeológiu chápal ako vedu i službu: ako disciplínu potrebnú pre poznanie krajiny, bezpečnosť vodných stavieb, ochranu liečivých a pitných vôd, riešenie environmentálnych problémov a výchovu ďalších generácií odborníkov. Zanechal po sebe nielen vedecké práce, učebnice a laboratórium, ale predovšetkým školu myslenia, v ktorej sa technická presnosť spájala s prírodovednou predstavivosťou a ľudskou zodpovednosťou.

Použitá literatúra:

- Balek, Jaroslav, and Otakar Malý. 1985. "Stav a perspektívy experimentálnej hydrologie." *Vodohospodársky časopis* 33, no. 4: 490-494.
- Český svaz jachtingu. n.d. "Historie." Accessed May 27, 2026. <https://www.sailing.cz/historie>.
- Daňková, Hana, and Otakar Malý. 1964. *Metodika evidence vodních zdrojů podzemních vod*. Praha: Hydrometeorologický ústav.
- Datel, J. V. 2007. "Vzpomínka na profesora Jana Šilara." *Zpravodaj Unie geologických asociací*, no. 3: 84-86. ISSN 1802-162X.
- Demarée, Gaston R. 2014. "Jaromír Němec (Prague, 3 novembre 1926 - Genève, 3 octobre 2010)." *Bulletin des Séances / Mededelingen der Zittingen, Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer* 60: 83-86.
- Dub, Oto. 1977. "Posudok o vedeckej činnosti Ing. Milana Dzubáka, CSc., riaditeľa Ústavu hydrologie a hydrauliky SAV, k návrhu na preradenie do kvalifikačného stupňa vedúci vedecký pracovník." Bratislava, August 5, 1977. Rukopisný alebo strojopisný posudok.
- Duffek, Kornel. 2009/2010. "50 rokov jachtingu v Piešťanoch." *Revue Piešťany*, winter 2009/2010.
- Dzubák, Milan. 1989. *Životopis*. Interný archívny podklad.
- Dzubák, Milan. 1991. "Autobiografické údaje; charakteristika garanta postgraduálneho štúdia na Stavebnej fakulte SVŠT; bibliografia prác; príloha k návrhu na menovanie za člena komisie VEGA." Bratislava, January 25, 1991. Interný archívny podklad.
- Đurčo, Michal. 2024. "Vedci/nahlas: Ochránari a súboj o podobu Západných Tatier - Roháčov v normalizačnom Československu." In *Disident, expert nebo aktivista? Čtyři studie k environmentálnímu aktivismu v Československu před rokem 1989*, by Doubravka Olšáková, Petra Loučová, Júlia Čížová, and Michal Đurčo, 179-216. Praha: Ústav pro soudobé dějiny AV ČR.
- Fediuk, Ferry. 2007. "Krátká glosa o aktívnych českých geológoch vo veku 75+ rokov." *Zpravodaj České geologické společnosti*, no. 4: 19-20.
- Horský, L., M. Čermák, H. Daňková, J. Hladný, B. Hlubocký, V. Kříž, V. Kulháněk, O. Malý, V. Richter, R. Sochorec, M. Sommer, and G. Zatkalík, eds. 1970. *Hydrologické poměry Československé socialistické republiky. Díl III*. Praha: Hydrometeorologický ústav.
- HydroWiki. 2016. "Nemec, J." *History of Hydrology Wiki*. Accessed May 27, 2026. [https://www.history-of-hydrology.net/mediawiki/index.php?title=Nemec%2C\\_J](https://www.history-of-hydrology.net/mediawiki/index.php?title=Nemec%2C_J).
- International Association of Hydrological Sciences. 1989. "The 1988 International Hydrology Prize Awarded to S. Dumitrescu and J. Nemec." *Hydrological Sciences Journal / Journal des Sciences Hydrologiques* 34, no. 1 (February).
- International Association of Hydrological Sciences. n.d. "International Hydrology Prize." Bibliographic details in the supplied source list were incomplete.
- Khandl, Ladislav. 2007. "RNDr. Juraj Pacl, CSc. 80-ročný." *Krásky Slovenska* 84, no. 1-2: 64.
- Klemeš, Vít. 1989. "Hydrology Prize to Dumitrescu and Nemec." *Eos, Transactions American Geophysical Union* 70, no. 3: 34. <https://doi.org/10.1029/89EO00013>.
- Kocian, Ludovít. 2011. "Obdivovateľ a znalec prírody Juraj Pacl (1926-2011)." *Tatry* 50, no. 6: 14-15.
- Krásný, J. 1999. "Nositel Ceny Oty Hynie pro rok 1999 - Prof. Ing. Jan Šilar, DrSc." In *Sborník ze Vzpomínkového semináře ke 100. výročí narození prof. Oty Hynie, zakladatele české hydrogeologie a prvního profesora hydrogeologie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy*, edited by J. Krásný and J. Datel. Praha: Ústav HG, IG a UG PřF UK, Český komitét IAH a ČAH.
- Král, Pavol. 2021. "Ako je to s hladinou Štrbského plesa?" *Tatry*, no. 1: 3-5.
- Majerčáková, Oľga. 2006a. "Jubilant Ing. Otakar Malý." *Meteorologický časopis* 9, no. 3-4: 185-186.
- Majerčáková, Oľga. 2006b. "Profesor Ing. Milan Dzubák, CSc.: K nedožitým osemdesiatinám významného slovenského hydrológa a pedagóga." *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 54, no. 2: 231.
- Majerčáková, Oľga. 2006c. "Spomienka na profesora Ing. Milana Dzubáka, CSc." Text zo slávnostného kolokvia pri príležitosti nedožitých osemdesiatin prof. Milana Dzubáka. Slovenský hydrometeorologický ústav.
- Majerčáková, Oľga. 2011a. "Jubilant Ing. Otakar Malý." *Meteorologický časopis* 14, no. 1: 39.
- Majerčáková, Oľga. 2011b. "Za RNDr. Jurajom Paclom, CSc." *Meteorologický časopis* 14.
- Majerčáková, Oľga. 2016a. "Za Ing. Otakarom Malým." *Meteorologický časopis* 19, no. 1: 55-56.
- Majerčáková, Oľga. 2016b. "Za Ing. Otakarom Malým." *Vodohospodársky spravodajca*, no. 5-6: 34.

- Malý, O., and L. Pobeha. 1958. *Výročná správa oddelenia podzemných vôd a prameňov za rok 1957*. Manuscript, archív SHMÚ Bratislava.
- Malý, Otakar, and Miroslav Sommer. 1966. "Měření vydatnosti pramenů = Measuring of Spring Yields = Izmerenija děbita istočnikov." *Vodní hospodářství* 16, no. 10: 409-412.
- Mäsiar, Ernest. 1977. "Posudok vedeckej činnosti Ing. Milana Dzubáka, CSc., k návrhu na zaradenie do kvalifikačného stupňa I - vedúci vedecký pracovník." Bratislava, August 1977. Rukopisný alebo strojopisný posudok.
- Mäsiar, Ernest. 1986a. "Jubilejný článok k šesťdesiatinám prof. Ing. Milana Dzubáka, CSc." *Vodohospodársky časopis*. Rukopisný alebo strojopisný podklad.
- Mäsiar, Ernest. 1986b. "Prof. Ing. Milan Dzubák, CSc. šesťdesiatnikom." *Vodohospodársky časopis* 34, no. 4: 455-456.
- Molnár, Ľudovít. 1996. "Milan Dzubák." *Nekrológ. Journal of Hydrology and Hydromechanics* 44, no. 5: 360.
- Novák, Viliam. 1996. "Profesor Dzubák sedemdesiatročný." *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 44, nos. 2-3: 184.
- Novák, Viliam. 2006. "RNDr. Juraj Pacl, CSc. jubiluje." *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 54, no. 4: 373.
- Pacl, Jiří. 2006. "Minulosť a možnosti hydrologického výskumu v malých povodiach na Slovensku." *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 54, no. 2: 83-95.
- Pech, Pavel, Petr Máca, and Jiří Pavlásek. 2010. "Výzkum a činnost katedry vodního hospodářství a environmentálního modelování FŽP ČZU v Praze." *VTEI - Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* 52, special issue 1: 1-2.
- Slovenský hydrometeorologický ústav. 2014. "Oslavy 60. výročia SHMÚ." *Aktuality SHMÚ*, May 30, 2014. <https://www.shmu.sk/sk/?id=540&page=2049>.
- Slovenský olympijský výbor. 2011. "Na 41. VZ SOV odovzdali množstvo nových vyznamenaní Slovenského olympijského výboru." April 16, 2011. <https://www.olympic.sk/clanok/na-41-vz-sov-odovzdali-mnozstvo-novych-vyznamenani-slovenskeho-olympijskeho-vyboru>.
- Svoboda, Aleš. 2001. "Jubilantovi Jurajovi Paclovi." *Vodohospodársky časopis* 49, no. 5: 350-352.
- Svoboda, Aleš. 2011. "In Memory of Juraj Pacl." *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 59, no. 4: 285.
- Šútor, Július. 2003. "Voda - zdroj života, ale aj jeho ohrozenia: Dva pohľady na vodu, ktoré motivujú vedecko-výskumnú činnosť Ústavu hydrológie SAV počas päťdesiatich rokov." In *50 rokov ÚH SAV*, 5-13. Bratislava: Ústav hydrológie SAV.
- Szolgay, Ján. 2026. "Profesor Milan Dzubák by oslávil storočnicu." *Spektrum: Magazín Slovenskej technickej univerzity v Bratislave* 2025/2026, no. 5-6: 50-51.
- Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova. n.d. "Historie a osobnosti: Jan Šilar." Accessed May 27, 2026. <https://natur.cuni.cz/geologie/ustavy-a-pracoviste/ustav-hydrogeologie-inzenyrske-geologie-a-uzite-geofyziky/o-ustavu/historie-a-osobnosti>.

## **FROM OUR ORIGINS TO FUTURE DIRECTIONS: SIGNIFICANT FIGURES AND MILESTONES IN HYDROLOGY IN CZECHOSLOVAKIA, CZECHIA AND SLOVAKIA**

The paper was written to commemorate the centenary of the birth of several outstanding personalities of Czechoslovak, Czech and Slovak hydrology. It not only recalls the individual careers, but reflects their contributions to the synergy between service, research and education, and outlines what kind of hydrology may be needed in the coming decades to conserve this heritage. The central message is that the history of hydrology in this region cannot be written only as a sequence of offices, laws, institutions, plans and publications. It was created by people who transformed measurements into knowledge, data series into responsibility, and calculations into service.

The paper first sketches the development from organised hydrography to contemporary hydrology. Before the establishment of Czechoslovakia, two directions coexisted: the Czech administratively centred in Prague and the Austro-Hungarian centred in Budapest. After 1918, the State Hydrological Institute in Prague and hydrological structures in Slovakia gave the discipline a clearer basis. Hydrology moved from recording water stages and discharges towards water balances, probability methods, flood analyses, regionalisation, modelling and experimental research. The State Water Management Plans (long-term water management planning frameworks), the UNESCO International Hydrological Programme and the EU Water Framework Directive are presented as milestones through which hydrology became part of national planning, river-basin management, environmental protection and international cooperation.

Against this background, the paper offers short commemorative portraits of six personalities. Milan Dzubák is recalled as a scientist, methodologist and teacher whose work on extremes, rainfall, probability analysis and design floods helped to shape engineering hydrology. Otakar Malý represents the building of the modern hydrological service through groundwater monitoring, data funds, technical modernisation and methodological coordination. Jaromír (Jerry) Němec illustrates internationalisation: through his work in the World Meteorological Organization, he helped establish operational hydrology and the transfer of hydrological methods as a global service to society. Juraj Pacl connects hydrological service, mountain field research, the Tatras, nature protection and UNESCO hydrological programmes. Ján Szolgay stands for quantitative river morphology, sediment transport, the Danube, reservoirs and the understanding of rivers as dynamic natural and technical systems. Jan Šilar links water engineering, hydrogeology, university education and isotope methods.

The portraits are not exhaustive biographies. They are lenses through which broader developments become visible: monitoring culture, scientific methods, integration with engineering practice, international cooperation, groundwater and sediment processes, and the widening of hydrology towards ecology, environmental responsibility and societal decision-making.

The paper therefore combines remembrance with a programme for the future. It argues that contemporary hydrology can no longer be defined only as the science of water movement in the environment. In the twenty-first century it must also be a science of change, risk, resilience and public choices mediated by water. The final reflection is addressed to new generations of hydrologists. They inherit respect for long-term observations, field competence, methodological discipline, institutional service and public responsibility. Yet they must work in a world shaped by climate change, land-use change, extremes, groundwater depletion, ecosystem stress, uncertainty and new digital technologies, including artificial intelligence. Future hydrology should be open, comparative, solution-oriented and internationally connected, but still useful for local practice and service to society. Its task will be to link global change with local decisions, long records with urgent action, artificial intelligence with physical understanding, and scientific excellence with ethical responsibility. The value of hydrology will be measured not only by how well it explains water, but also by how responsibly it helps societies live with water under changing conditions.

## VÝZVY PRE HYDROLÓGIU AKO VEDNÝ ODBOR ZAMERANÝ NA HĽADANIE RIEŠENÍ

Ján Szolgay<sup>1</sup>, Pavol Miklánek<sup>2</sup>, Jan Daňhelka<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Národný zástupca Medzinárodnej asociácie hydrologických vied (IAHS); Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05, Slovenská republika

<sup>2</sup>Slovenský výbor pre Medzivládny hydrologický program UNESCO; Ústav hydrologie SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

<sup>3</sup>Český národní výbor pro hydrologii; Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha, Česká republika

Hydrologické dni tradične hodnotili stav hydrologie v našom regióne a mali aj snahu naznačiť smery, ktorým by sa jej vývoj mohol alebo priamo aj mal uberať. Organizátori týchto Hydrologických dní si zvolili iný formát pre túto tradíciu. Členovia oboch výborov sa v nedávnej minulosti podieľali na tvorbe programových dokumentov medzinárodných medzivládnych a mimovládnych organizácií a boli si preto vedomí zložitosti, ba priam nemožnosti obsiahnuť výzvy vyplývajúce z nich v kondenzovanej podobe jednej prednášky na konferencii. Využívajúc vymoženosti doby si najprv podiskutovali o nich aj s umelou inteligenciou a ponúkajú zarámčovanie vybraných dôležitých programových dokumentov ako súhrn **vízií v oblasti vodných vied na základe najnovších medzinárodných dokumentov o vízii a stratégii**.

Vedy o vode v súčasnosti čelia rozhodujúcej transformácii: musia naďalej vychádzať z dôkladného pozorovania, pochopenia procesov a modelovania, zároveň sa však musia stať viditeľnejšou vedou ponúkajúcou riešenia pre spoločnosti, ktoré čelia zmene klímy, degradácii ekosystémov, demografickému tlaku, nerovnému prístupu k vode a čoraz častejším hydrologickým extrémom. Nedávne medzinárodné dokumenty o vízii sa zhodujú v spoločnom poslanstve: bezpečnosť vodných zdrojov už nemožno považovať za sektorový technický problém, ale za kľúčovú podmienku udržateľného rozvoja, mieru, prosperity, odolnosti, ľudských práv a environmentálnej integrity.

Deviata fáza Medzivládneho hydrologického programu UNESCO definuje túto výzvu ako potrebu „**vedy pre svet s bezpečnou vodou v meniacom sa prostredí**“, ktorá kombinuje vedecký výskum, vzdelávanie, údaje, spoluprácu a riadenie v dlhodobom programe na roky 2022–2029 (UNESCO 2022; UNESCO 2023). Desaťročné „**Veda pre riešenia**“ organizácie IAHS ide ešte ďalej a vyzýva hydrologiu, aby zapájala miestnych ľudí do jedného globálneho sveta, pričom spája globálne hydrologické zmeny s praktickými poznatkami v povodiach, komunitách, inštitúciách a rozhodovacích systémoch (Arheimer et al. 2024). Podobne aj hydrologická vízia WMO zdôrazňuje operačný rozmer tejto transformácie: do roku 2030 by mala byť globálna komunita schopná riešiť hydrologické extrémny, dostupnosť vody, kvalitu vody a potravinovú bezpečnosť prostredníctvom lepšej vedy, infraštruktúry, budovania kapacít a hydrologických služieb (WMO 2023).

Súhrnná správa UN-Water o SDG 6 a celosystémová stratégia OSN pre vodu a sanitáciu zdôrazňujú naliehavosť tým, že poukazujú na potrebu urýchlenia nielen v oblasti tvorby poznatkov, ale aj v oblasti koordinovanej implementácie, financovania, správy, prístupu založeného na právach a národných distribučných systémoch (UN-Water 2023; UN-Water 2024). Zároveň Svetová správa OSN o rozvoji vodného hospodárstva o vode pre prosperitu a mier dokazuje, že voda môže byť zdrojom spolupráce, regionálnej integrácie a stability, ale aj faktorom zraniteľnosti, ak je zle spravovaná (Program UNESCO pre hodnotenie vodných zdrojov 2024). Globálna komisia pre ekonomiku vody pridáva planetárnu perspektívu tým, že argumentuje, že hydrologický cyklus sa musí hodnotiť a spravovať ako globálne spoločné dobro, ktoré spája modrú a zelenú vodu s klímou, biodiverzitou, potravinovými systémami, ekonomikami a spravodlivosťou (Global Commission on the Economics of Water 2024). Strategický program výskumu a inovácií Water4All prekladá tento široký program do priorít výskumu a inovácií v oblasti vodnej bezpečnosti, ekosystémov, obehového hospodárstva, infraštruktúry, správy, zdravia a medzinárodnej spolupráce (Water4All 2022).

V týchto dokumentoch sa otvorená hydrologia a otvorená veda javí ako základné princípy: transparentné údaje, otvorené modely, otvorené publikovanie, otvorená infraštruktúra, otvorené vzdelávanie a účasť nie sú okrajovými ideálmi, ale predpokladmi pre dôveryhodnú, inkluzívnu a reprodukovateľnú vodnú vedu (Dogulu,

Verbist a Mertens, 2024). V súhrne tieto dokumenty definujú ambíciu vízie vodných vied 21. storočia: integrovať základné hydrologické poznatky, monitorovanie, digitálne inovácie, prevádzkové služby, riadenie, vzdelávanie a zapojenie verejnosti do koherentnej disciplíny „veda pre riešenia“, ktorá je schopná pomáhať

spoločnostiam prijímať spravodlivé, robustné a perspektívne rozhodnutia v oblasti vody v podmienkach neistoty.

Je teda zrejmé, že hydrológia v dvadsiatom prvom storočí sa musí stať viac než len vedou o pohybe, ukladaní a premene vody. Musí sa stať vedou o zmenách súvisiacich s vodou, rizikách, odolnosti a spoločenských voľbách. Jej budúcou úlohou je prepojiť globálne hydrologické zmeny s miestnym rozhodovaním, operačnou praxou, vzdelávaním a verejnou zodpovednosťou. To si vyžaduje disciplínu, ktorá zostane vedecky prísna, ale bude zároveň otvorená, komparatívna, technologicky pokročilá, spoločensky relevantná a viditeľne užitočná pre spoločnosť (Arheimer et al., 2024; Kreibich et al., 2025; Fowler, Coxon a White, 2025). Je rovnako zrejmé, že poskytnúť ucelenú víziu je tiež mimo možnosti úvodného článku ku konferencii. Preto sme sa rozhodli, vyhľadať dve desiatky časopiseckých článkov diskutujúcich výzvy pre hydrológiu a opäť využívajúc destilačné schopnosti LLM modelov utriať ich vízie do piatich okruhov našej konferencie. Chceme tým poskytnúť iba úvodný rámec pre diskusie a nenárokujeme si pritom, samozrejme, úplnosť pokrytia problematiky. Nasledujúca vízia organizuje teda výzvy pre hydrológiu do piatich vzájomne prepojených tém a príslušnými odkazmi na literatúru (ktorej dostupnosť sme si overovali).

## **1. Hydrologické procesy, monitorovanie a experimentálny výskum: budúcnosť hydrológie musí zostať hlboko pozorovateľská a experimentálna, pričom jej pozorovania musia byť pre rozhodovanie otvorenejšie, komparatívnejšie, dlhodobejšie a relevantnejšie.**

- Hydrológia musí brániť a obnovovať svoje empirické základy. V ére globálnych modelov, satelitných údajov, strojového učenia a digitálnych dvojčiat nesmie táto disciplína stratiť svoju závislosť od terénnych pozorovaní, experimentálnych povodí, pochopenia procesov a dlhodobého monitorovania. Budúcnosť hydrológie nespočíva len v modeloch; závisí od poznania toho, čo sa skutočne deje v povodiach, vodonosných vrstvách, pôdach, riekach, snehových pokrývkach, mokradiach, nádržiach a ekosystémoch.
- Kľúčovou výzvou je považovať hydrologické observatóriá, (t.j. výskumné povodia, plochy a iné oblasti s vysokou koncentráciou pozorovaní, zamerané na získavanie hydrologicky relevantných poznatkov v teréne) za strategickú vedeckú infraštruktúru, nie za voliteľné akademické zariadenia. Dlhodobé pozorovania sú nevyhnutné, pretože mnohé dôležité hydrologické zmeny sú pomalé, kumulatívne a viditeľné až po desiatkach rokov, napr.: vyčerpávanie podzemnej vody, pamäť pôdnej vlhkosti, zmeny snehového režimu, spätná väzba vegetácie, zmeny sedimentov, trendy v kvalite vody a koevolúcia povodí. Budúce hydrologické observatóriá by preto mali byť prepojené do sietí, otvorené, interdisciplinárne a výslovne prepojené s potrebami rozhodovania (Nasta et al., 2025; Gao et al., 2024; Savenije, 2024).
- Hydrologické observatóriá by sa mali stať živými laboratóriami pre vedu, vzdelávanie a prax. Mali by poskytovať referenčné údaje na zisťovanie vplyvov klímy a využívania pôdy na hydrologický cyklus, testovanie modelov, vzdelávanie študentov, zapájanie zainteresovaných strán a podporu miestnej adaptácie. Ich hodnota porastie, keď budú prepojené do regionálnych a globálnych sietí, ktoré umožnia porovnávanie rôznych podnebí, fyziogeografických regiónov, spôsobov využívania pôdy a socioekonomických podmienok (Nasta et al., 2025; Gleason et al., 2025).
- Povodie zostáva kľúčovou organizačnou jednotkou, nemá sa však vnímať iba ako odvodňovacia oblasť. Je to prepojený systém klímy, geológie, pôdy, vegetácie, ľudí, infraštruktúry a pamäti. Budúca hydrológia musí vnímať povodia ako vyvíjajúce sa systémy, ktorých správanie vyplýva z interakcií medzi vodou, energiou, ekosystémami a spoločnosťou (Savenije, 2024; Gao et al., 2024; Kreibich et al., 2025).
- Výskum hydrologických procesov sa musí stať komparatívnejším. Štúdie zamerané na jedno povodie sú naďalej cenné, ale sú nedostatočné v prípade, ak spoločnosť čelí regionálnym a globálnym výzvam v oblasti vody. Hydrológia potrebuje štruktúrované porovnania, harmonizované súbory údajov, zdieľané protokoly a referenčné povodia, aby mohla odlíšiť miestnu špecifickosť od všeobecných princípov (Nasta et al., 2025; Kratzert et al., 2024; Gleason et al., 2025).

## **2. Hydrologický cyklus v kontexte globálnych zmien: hydroológia musí vysvetľovať a riadiť kolobeh vody v meniacich sa systémoch Zeme a zároveň prekladať globálne zmeny do miestne využiteľných poznatkov pre adaptáciu, znižovanie rizík a udržateľnosť.**

- Hydrologický cyklus je v súčasnosti zakotvený v rýchlych globálnych zmenách. Zmena klímy, zmena využívania pôdy, urbanizácia, vyčerpávanie podzemných vôd, degradácia ekosystémov, demografické zmeny, dopyt po potravinách a energii a meniace sa vzorce rizík transformujú vodné systémy vo všetkých mierkach. Hydroológia sa preto musí stať vedou o zmene, nielen vedou o stacionárnych režimoch.
- Kľúčovou intelektuálnou výzvou je prepojiť globálne hydrologické zmeny s miestnymi rozhodovacími informáciami. Klimatické signály, globálny nedostatok vody, meniace sa extrémne a spätné väzby zemského systému nadobúdajú spoločenský význam len vtedy, ak sa pretransformujú na rozhodnutia týkajúce sa vodných nádrží, miest, protipovodňovej ochrany, plánovania prípravy na suchu, zavlažovania ekosystémov, rozdeľovania vody a riadenia mimoriadnych situácií. Hydroológia musí vyvinúť metódy, ktoré prepoja globálne a regionálne zmeny s miestnymi projektovými hodnotami, prevádzkovými pravidlami, varovnými systémami, investičnými rozhodnutiami a cestami adaptácie (Fowler, Coxon a White, 2025; Hall a Murgatroyd, 2025).
- Desaťročné IAHS Panta Rhei ukázalo, že hydroológia musí pochopiť nielen to, ako sa menia vodné systémy, ale aj to, ako ich mení ľudská spoločnosť. Budúca hydroológia musí preto zahŕňať spätné väzby medzi človekom a vodou, správu vecí verejných, zraniteľnosť, správanie, infraštruktúru, obhospodarovanie pôdy a inštitucionálne rozhodnutia ako súčasť hydrologického problému (Kreibich et al., 2025).
- To znamená, že hydroológia musí byť regionálna a globálna zároveň. Potrebuje globálne syntézy, perspektívy zemského systému, hydrologiu s veľkými vzorkami a infraštruktúry otvorených dát, ale potrebuje aj regionálnu interpretáciu, miestne znalosti a špecifiká povodí. Budúcnosť spočíva vo vnorenej hydroológii: v porozumení miestnym procesom a miestnym rozhodnutiam zakotveným v regionálnej a globálnej komparatívnej vede (Gleason et al., 2025; Nasta et al., 2025; Arheimer et al., 2024).
- Extrémne udalosti treba tiež chápať ako systémové udalosti, nie iba ako štatistické výnimky. Povodne, suchá a vodné krízy vznikajú v dôsledku vzájomného pôsobenia meteorologických, hydrologických, infraštruktúrnych, ekologických a sociálnych procesov. Budúca hydroológia musí preto prepojiť nestacionárnu štatistiku, pochopenie procesov, včasné varovanie, komunikáciu o rizikách a plánovanie adaptácie (Hall a Murgatroyd, 2025; Alvarez-Garreton et al., 2024; Bloschl, 2022; Vogel, 2023 prednáška).
- Podzemná voda je obzvlášť dôležitým príkladom skrytého problému globálnych zmien. Neudržateľné využívanie podzemnej vody sa často vyvíja pomaly a stáva sa politicky viditeľným až vtedy, keď je kríza už pokročilá. Hydroológia musí zlepšiť monitorovanie, komunikáciu a riadenie podzemnej vody skôr, ako nastanú situácie typu „Day Zero“ (Alvarez-Garreton et al., 2024).
- Koreňová zóna a suchozemské ekosystémy sa tiež musia dostať bližšie do centra hydrologického uvažovania. Hydrologický cyklus nie je len fyzikálny systém; je to aj biologický a ekologický systém. Vegetácia, pôdy, korene a fungovanie ekosystémov výrazne ovplyvňujú zadržiavanie vody, evapotranspiráciu, tvorbu odtoku a klimatické spätné väzby (Gao et al., 2024; Savenije, 2024).

## **3. Nové metódy a informačné technológie v hydroológii, vrátane umelej inteligencie: nové technológie by mali urobiť hydrologiu integrovanejšou, transparentnejšou, porovnateľnejšou a užitočnejšou, musia však naďalej vychádzať z hydrologického chápania a otvorenej vedeckej praxe.**

- Strojové učenie, hlboké učenie, pozorovanie Zeme, cloud computing, digitálne platformy a otvorené dáta hlboko menia hydrologiu. Tieto technológie vytvárajú nové príležitosti pre predpovede, rozpoznávanie vzorov, asimiláciu dát, hydrologiu veľkých vzoriek a podporu rozhodovania v reálnom čase. Zároveň však nútia hydrologiu, aby si ujasnila, akou vedou sa chce stať.
- Strojové učenie mení hydrologiu, ale nenahrádza hydrologické myslenie. Algoritmy dokážu detegovať vzory a zlepšovať predpovede, ale bez hydrologického uvažovania hrozí, že sa stanú len

výkonnými nástrojmi na prispôsobovanie kriviek. Budúcou výzvou je skombinovať strojové učenie s pochopením procesov, fyzikálnymi obmedzeniami, analýzou neistoty, interpretovateľnosťou a operačnou relevantnosťou (Nearing et al., 2021; Kratzert et al., 2024).

- AI by mala pomôcť zjednotiť hydrológiu, nie ju ďalej fragmentovať. Slabá budúcnosť by využívala AI len na vytváranie izolovaných prediktívnych nástrojov. Silnejšia budúcnosť by využívala AI na pomoc pri rozvoji koherentnej vedy o terestrickej hydrosfére, spájajúcej povrchovú vodu, podzemnú vodu, sneh, vlhkosť pôdy, vegetáciu, ľudské využívanie vody, nádrže, atmosféru a ekosystémy do integrovaného chápania vodného systému (Painter a Destouni, 2026; Gleason et al., 2025).
- Hydrológia pracujúca s veľkými dátovými súbormi je obzvlášť dôležitá. Táto disciplína sa musí posunúť od izolovanej kalibrácie jednotlivých povodí smerom k prenosným modelom, zdieľaným dátovým súborom a komparatívnej analýze naprieč mnohými povodiami. To neznamená ignorovať lokálne procesy. Znamená to naučiť sa, kedy je hydrologické správanie lokálne, kedy regionálne a kedy všeobecne platné (Kratzert et al., 2024; Gleason et al., 2025).
- Otvorená hydrológia je základnou podmienkou pre dôveryhodnú digitálnu hydrológiu. Dáta, kód, predpoklady modelov, pracovné postupy a zaobchádzanie s neistotou musia byť transparentné a opätovne použiteľné. Otvorená veda nie je len technickým štandardom; je to verejná zodpovednosť, keď hydrologické informácie ovplyvňujú bezpečnosť, investície, pridelovanie vody a environmentálnu spravodlivosť (Hall et al., 2022; Schymanski a Schymanski, 2023; Dogulu, Verbist a Mertens, 2024).
- Budúcnosť hydrológie si preto vyžaduje hydrologické uvažovanie podporované umelou inteligenciou, nie hydrológiu nahradenú umelou inteligenciou. Najsilnejšia budúcnosť kombinuje algoritmy s teóriou, dôkazmi z terénu, odbornými znalosťami, povedomím o neistote a spoločenskou relevanciou. Umelá inteligencia by mala pomôcť hydrológii klásť lepšie otázky, testovať širšie hypotézy, porovnávať viac systémov a komunikovať neistotu úprimnejšie (Nearing et al., 2021; Painter a Destouni, 2026).

#### **4. Uplatnenie nových poznatkov v hydrológii v súčasnej praxi vodného hospodárstva: hydrológia musí premeniť nové poznatky na zodpovedné hospodárenie s vodou, pričom si musí zachovať vedeckú nezávislosť, transparentnosť, uvedomenie si neistoty a verejnú zodpovednosť ako svoje základné hodnoty.**

- Hydrológia sa musí stať užitočnejšou, bez toho aby stratila na vedeckosti. Požiadavka spoločenskej relevantnosti by nemala zredukovať hydrológiu na poradenstvo alebo rutinné inžinierstvo. Skôr by sa mala zamerať na vedecké otázky: Ktoré procesy sú dôležité pre rozhodovanie? Ktoré neistoty sú kritické pre rozhodovanie? Ktoré mierky sú prevádzkovo relevantné? Ktoré poznatky môžu skutočne zmeniť prax? (Hall et al., 2025; Orr et al., 2025).
- Budúcou úlohou hydrológie je pomáhať spoločnostiam rozhodovať o tom, čo je bezpečné, udržateľné, spravodlivé a prevádzkovo možné v podmienkach neistoty. To znamená podporovať rozhodnutia týkajúce sa povodní, sucha, zásobovania vodou, využívania podzemnej vody, vodných nádrží, zavlažovania, obhospodarovania pôdy, ekosystémov, mestských vodných systémov, plavby, vodnej energie a adaptácie na zmenu klímy (Arheimer et al., 2024; Hall a Murgatroyd, 2025).
- Hydrológia musí posilniť svoju pozíciu na pomedzí vedeckej inovácie, politiky a praktickej činnosti. Mala by poskytovať dôkazy relevantné pre rozhodovanie, použiteľné odhady neistoty, varovné informácie, cesty adaptácie a dlhodobé perspektívy rizík. Jej výstupy by mali slúžiť ako podklad pre normy, nariadenia, plánovanie infraštruktúry, riadenie mimoriadnych situácií, obnovu životného prostredia a pridelovanie vody (Fowler, Coxon a White, 2025; Hall et al., 2025; Orr et al., 2025).
- To si vyžaduje intenzívnejšiu interdisciplinárnu spoluprácu. Mnohé užitočné hydrologické riešenia si vyžadujú spoluprácu s vodohospodármi, komunitami, miestnymi orgánmi, plánovateľmi, poľnohospodármi, agentúrami civilnej ochrany, dodávateľmi verejných služieb, mimovládnyimi organizáciami a tvorcami politik. Spoločná tvorba neoslabuje hydrológiu; zlepšuje jej relevantnosť, legitimitu a implementáciu (Castelli et al., 2025; Orr et al., 2025).
- Hydrológia musí brať vážne aj otázku spravodlivosti. Riziká a prínosy vody nie sú rozdelené rovnomerne. Povodne, suchá, vyčerpávanie podzemných vôd, ceny vody, prístup k zavlažovaniu,

mestská kanalizácia, financovanie adaptácie a obnova životného prostredia – to všetko má sociálne dôsledky. Budúca hydrológia sa preto musí zaoberať zraniteľnosťou, nerovnosťou, účasťou a spravodlivosťou, nielen prietokmi, zásobami a pravdepodobnosťami (Castelli et al., 2025; D'Odorico, prednáška z roku 2025; Lall, prednáška z roku 2022).

- Táto disciplína by sa mala hodnotiť aj na základe spoločenského vplyvu, nielen na základe akademickej produkcie. Vedecká excelentnosť zostáva kľúčová, ale hydrológia by mala uznať aj príspevky k politike, varovným systémom, normám, plánovaniu, adaptácii, vzdelávaniu, verejnému pochopeniu a znižovaniu rizík (Hall et al., 2025; Tyler et al., 2023).
- Zároveň musí hydrológia brániť pomalé poznatky v rýchlo sa meniacom svete kríz. Spoločnosť si vodu často všíma len počas katastrof, ale spoľahlivé hospodárenie s vodou závisí od desaťročí monitorovania, budovania teórie, testovania modelov, inštitucionálnej pamäti a vzdelávania. Dlhodobé hydrologické poznatky sú formou verejnej infraštruktúry (Nasta et al., 2025; Hall et al., 2022).

## **5. Vzdelávanie v oblasti hydrológie a hydrológia ako súčasť environmentálneho vzdelávania: vzdelávanie v oblasti hydrológie musí pripraviť novú generáciu vedecky zdatných, technologicky gramotných, spoločensky zodpovedných a spolupracujúcich hydrológov, pričom musí urobiť z hydrológie viditeľnú súčasť environmentálnej gramotnosti spoločnosti.**

- Budúcnosť hydrológie závisí od vzdelávania. Ak spoločnosť očakáva, že hydrológovia budú riešiť výzvy v oblasti klimatických rizík, vodnej bezpečnosti a udržateľnosti, musí zodpovedajúcim spôsobom podporovať hydrologické vzdelávanie. Táto disciplína potrebuje silnejšie spoločenské uznanie, lepšiu vzdelávaciu infraštruktúru a viditeľnejšie kariérne cesty pre mladých hydrológov (van Hateren et al., 2023; Tyler et al., 2023).
- Vzdelávanie v oblasti hydrológie sa musí rozšíriť. Budúci hydrológovia potrebujú terénne zručnosti, procesnú hydrológiu, štatistiku, modelovanie, umelú inteligenciu, analýzu neistoty, myslenie v rámci zemského systému, komunikáciu, etiku, politickú gramotnosť a prax otvorenej vedy. Musí byť vyškolená nielen na výpočet prietokov, ale aj na pochopenie systémov, vysvetľovanie rizík, komunikáciu neistôt a spoluprácu s rozhodovateľmi (Fowler, Coxon a White, 2025; Hall et al., 2022; Nearing et al., 2021).
- Budúca generácia hydrológov sa musí stať „prekračovateľmi hraníc“. Mali by byť schopní komunikovať s inžiniermi, ekológmi, plánovačmi, sociálnymi vedcami, dátovými vedcami, manažérmi pre mimoriadne situácie, poľnohospodármi, dodávateľmi verejných služieb, tvorcami politík a komunitami. Ich profesijná identita by mala spájať vedeckú hĺbku so schopnosťou spolupracovať (van Hateren et al., 2023; Orr et al., 2025; Castelli et al., 2025).
- Hydrológia by mala byť tiež uznaná ako ústredná súčasť environmentálnej výchovy. Voda spája klímu, ekosystémy, potraviny, energiu, zdravie, mestá, krajinu, nebezpečenstvá a spravodlivosť. Výučba hydrológie preto pomáha spoločnosti pochopiť environmentálne zmeny konkrétnym a miestne zmysluplným spôsobom. Rieky, povodne, suchá, podzemná voda, vlhkosť pôdy a kvalita vody nie sú abstraktnými vedeckými témami; sú to každodenné rozhrania medzi ľuďmi a meniacim sa systémom Zeme (Arheimer et al., 2024; Kreibich et al., 2025; Gao et al., 2024).
- Otvorená hydrológia môže podporiť vzdelávanie tým, že sprístupní údaje, modely, nástroje a prípadové štúdie. Otvorené súbory údajov a reprodukovateľné pracovné postupy umožňujú študentom učiť sa z reálnych systémov a inštitúciám s menej zdrojmi umožňujú plnšie sa podieľať na globálnej hydrologickej vede (Hall et al., 2022; Schymanski a Schymanski, 2023; Dogulu, Verbist a Mertens, 2024).
- Vzdelávanie musí zahŕňať aj zodpovednosť. Hydrológovia by mali chápať, že ich práca ovplyvňuje bezpečnosť, investície, ekosystémy, živobytie a spravodlivosť. Mali by byť vyškolení, aby úprimne komunikovali neistotu, vyhýbali sa falošnej presnosti, rešpektovali miestne znalosti a uznávali etické dôsledky rozhodnutí týkajúcich sa vody (Hall et al., 2025; Castelli et al., 2025; D'Odorico, 2025 prednáška).

## Záver

Hydrológia v dvadsiatom prvom storočí sa musí stať otvorenou, komparatívnou a na riešenia orientovanou vedou o suchozemskom vodnom systéme. Musí prepojiť globálne hydrologické zmeny s miestnymi rozhodnutiami, dlhodobé pozorovania s naliehavými opatreniami, umelú inteligenciu s fyzikálnym pochopením a vedeckú excelentnosť so spoločenskou zodpovednosťou. Musí budovať regionálne a globálne vedomostné štruktúry, podporovať politiku a operačnú prax, investovať do vzdelávania a vážne sa zaoberať spravodlivosťou a dôverou verejnosti. Jej budúca hodnota sa bude merať nielen tým, ako dobre vysvetľuje vodu, ale aj tým, ako zodpovedne pomáha spoločnostiam žiť s vodou v podmienkach zmien.

## Použitá literatúra:

- Alvarez-Garreton, Camila, Juan Pablo Boisier, René Garreaud, Jorge González, Roberto Rondanelli, Eugenia Gayó, and Mauricio Zambrano-Bigiarini. 2024. "HESS Opinions: The Unsustainable Use of Groundwater Conceals a 'Day Zero'." *Hydrology and Earth System Sciences* 28 (7): 1605-1616. <https://doi.org/10.5194/hess-28-1605-2024>.
- Arheimer, Berit, et al. 2024. "The IAHS Science for Solutions Decade, with Hydrology Engaging Local People IN one Global World (HELPING)." *Hydrological Sciences Journal* 69 (11): 1417-1435. <https://doi.org/10.1080/02626667.2024.2355202>.
- Blöschl, Günter. 2022. "Flood Generation: Process Patterns from the Raindrop to the Ocean." *Hydrology and Earth System Sciences* 26 (9): 2469-2480. <https://doi.org/10.5194/hess-26-2469-2022>.
- Castelli, Giulio, et al. 2025. "Co-Creating Water Knowledge: A Community Perspective." *Hydrological Sciences Journal* 70 (16): 2899-2919. <https://doi.org/10.1080/02626667.2025.2571065>.
- D'Odorico, Paolo. 2025. "The 'Safe Operating Space' for Global and Local Water Use under Climate and Societal Change." John Dalton Medal Lecture, EGU General Assembly 2025, Vienna, Austria, April 27-May 2, 2025. EGU25-13721. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-13721>.
- Dogulu, Nilay, Annelies Mertens, and Koen Verbist. 2024. *Open Hydrology: Towards Open Science for Hydrology*. Paris: UNESCO Publishing. ISBN 978-92-3-100687-6.
- Fowler, Hayley J., Gemma Coxon, and Christopher J. White. 2025. "Hydrology in the 21st Century: Challenges in Science, to Policy and Practice." *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 383 (2302): 20240299. <https://doi.org/10.1098/rsta.2024.0299>.
- Gao, Hongkai, Markus Hrachowitz, Lan Wang-Erlandsson, Fabrizio Fenicia, Qian Xi, Jun Xia, Weiming Shao, et al. 2024. "Root Zone in the Earth System." *Hydrology and Earth System Sciences* 28 (19): 4477-4499. <https://doi.org/10.5194/hess-28-4477-2024>.
- Gleason, Colin J., and Casey M. Brown. 2025. "The Once and Future Hydrology Is Whole Earth Hydrology." *Perspectives of Earth and Space Scientists* 6 (1): e2024CN000267. <https://doi.org/10.1029/2024CN000267>.
- Global Commission on the Economics of Water. 2024. *The Economics of Water: Valuing the Hydrological Cycle as a Global Common Good*. Global Commission on the Economics of Water. <https://watercommission.org/publication/the-economics-of-water/>.
- Hall, C. A., S. M. Saia, A. L. Popp, Nilay Dogulu, Stanislaus J. Schymanski, N. Drost, Tim van Emmerik, and Rolf Hut. 2022. "A Hydrologist's Guide to Open Science." *Hydrology and Earth System Sciences* 26 (3): 647-664. <https://doi.org/10.5194/hess-26-647-2022>.
- Hall, Caitlyn, and Jacqueline Melvold. 2025. "Advancing Hydrology for Societal Impact: Integrating Transdisciplinary Frameworks to Bridge Research and Practice." *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 383 (2302): 20240283. <https://doi.org/10.1098/rsta.2024.0283>.
- Hall, Jim W., and Anna Murgatroyd. 2025. "Adapting Water Resource Systems to a Changing Future: Challenges for UK Hydrology in the 21st Century." *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 383 (2302): 20240278. <https://doi.org/10.1098/rsta.2024.0278>.
- Kratzert, Frederik, Martin Gauch, Daniel Klotz, and Grey Nearing. 2024. "HESS Opinions: Never Train a Long Short-Term Memory (LSTM) Network on a Single Basin." *Hydrology and Earth System Sciences* 28 (18): 4187-4201. <https://doi.org/10.5194/hess-28-4187-2024>.
- Kreibich, Heidi, et al. 2025. "Panta Rhei: A Decade of Progress in Research on Change in Hydrology and Society." *Hydrological Sciences Journal* 70 (7): 1210-1236. <https://doi.org/10.1080/02626667.2025.2469762>.
- Lall, Upmanu. 2022. "The Co-Evolution of Humans, Climate, Water, Earth and Biota: The Next Chapter?" Walter B. Langbein Lecture, AGU Fall Meeting 2022, Chicago, December 13, 2022.
- Nasta, Paolo, Günter Blöschl, Harry R. Bogen, Steffen Zacharias, Roland Baatz, Gabriëlle De Lannoy, Karsten H. Jensen, et al. 2025. "HESS Opinions: Towards a Common Vision for the Future of Hydrological Observatories." *Hydrology and Earth System Sciences* 29 (2): 465-483. <https://doi.org/10.5194/hess-29-465-2025>.

- Nearing, Grey S., Frederik Kratzert, Alden Keefe Sampson, Craig S. Pelissier, Daniel Klotz, Jonathan M. Frame, Cristina Prieto, and Hoshin V. Gupta. 2021. "What Role Does Hydrological Science Play in the Age of Machine Learning?" *Water Resources Research* 57 (3): e2020WR028091. <https://doi.org/10.1029/2020WR028091>.
- Orr, Harriet G., Caitlyn A. Hall, Vicki Rhodes, Rob L. Wilby, Katy L. Peat, and Hayley J. Fowler. 2025. "Hydrology for Impact: Building Partnerships, Blending Knowledge and Bracing for Climate Change." *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 383 (2302): 20240290. <https://doi.org/10.1098/rsta.2024.0290>.
- Painter, Scott L., and Georgia Destouni. 2026. "Hydrology in the Age of Artificial Intelligence: From Fragmentation to Coherent Terrestrial Hydrosphere Science." *Water Resources Research* 62 (2): e2026WR043509. <https://doi.org/10.1029/2026WR043509>.
- Savenije, Hubert H. G. 2024. "The Hydrological System as a Living Organism." *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences* 385: 1-4. <https://doi.org/10.5194/piahs-385-1-2024>.
- Schymanski, Emma L., and Stanislaus J. Schymanski. 2023. "Water Science Must Be Open Science." *Nature Water* 1 (1): 4-6. <https://doi.org/10.1038/s44221-022-00014-z>.
- Soulsby, Chris. 2025. "Tracing Flow Paths and Connections in Watersheds of the Anthropocene." Walter B. Langbein Lecture, AGU Fall Meeting 2025, New Orleans, December 16, 2025.
- Tyler, Scott W., Jennifer Kent, Suzanne P. Anderson, Paul D. Brooks, Aaron I. Packman, Remko Uijlenhoet, et al. 2023. "Reflections and Thoughts on the Future of Science from AGU Hydrology Section Fellows." *Perspectives of Earth and Space Scientists* 4 (1): e2023CN000206. <https://doi.org/10.1029/2023CN000206>.
- UNESCO World Water Assessment Programme. 2024. *The United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace*. Paris: UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388948>.
- UNESCO. 2022. *IHP-IX: Strategic Plan of the Intergovernmental Hydrological Programme: Science for a Water Secure World in a Changing Environment, Ninth Phase 2022-2029*. Paris: UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381318>.
- UNESCO. 2023. *IHP-IX: Operational Implementation Plan: Key Activities and Output-Level Performance Indicators; Science for a Water Secure World in a Changing Environment, Ninth Phase 2022-2029*. Paris: UNESCO. <https://www.unesco.org/en/articles/ihp-ix-operational-implementation-plan>.
- UN-Water. 2023. *Blueprint for Acceleration: Sustainable Development Goal 6 Synthesis Report on Water and Sanitation 2023*. Geneva: UN-Water. <https://www.unwater.org/publications/sdg-6-synthesis-report-2023>.
- UN-Water. 2024. *United Nations System-Wide Strategy for Water and Sanitation*. Geneva: UN-Water. <https://www.unwater.org/publications/un-system-wide-strategy-for-water-and-sanitation>.
- van Hateren, Theresa C., et al. 2023. "Where Should Hydrology Go? An Early-Career Perspective on the Next IAHS Scientific Decade: 2023-2032." *Hydrological Sciences Journal* 68 (4): 529-541. <https://doi.org/10.1080/02626667.2023.2170754>.
- Vogel, Richard M. 2023. "When Heavy Tails Disrupt Hydrologic Modeling." Walter B. Langbein Lecture, AGU Fall Meeting 2023, San Francisco, December 12, 2023.
- Water4All Partnership. 2022. *Water4All Strategic Research and Innovation Agenda 2022-2025*. Water4All: Water Security for the Planet. <https://www.water4all-partnership.eu/publication/strategic-research-and-innovation-agenda>.
- World Meteorological Organization. 2023. *Vision and Strategy for Hydrology and Associated Plan of Action and WMO Hydrological Research Strategy*. WMO-No. 1319. Geneva: World Meteorological Organization. <https://library.wmo.int/records/item/66218-vision-and-strategy-for-hydrology-and-associated-plan-of-action-and-wmo-hydrological-research-strategy>.

**Sekcia 1 Hydrologické procesy, monitoring a experimentálny výskum**

**Section 1 Hydrological processes, monitoring and experimental research**

## VPLYV ODUMIERANIA LESA NA HYDROLOGICKÝ CYKLUS V MALOM HORSKOM POVODÍ

Ladislav Holko <sup>1\*</sup>, Martin Jančo <sup>1</sup>, Michal Danko <sup>1</sup>, Patrik Sleziak <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ústav hydrologie SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: holko@uh.savba.sk

### ABSTRAKT

V lesoch Západných Tatier prebiehajú v posledných približne pätnástich rokoch významné zmeny, súvisiace s veternými kalamitami, premnožením podkôrneho hmyzu, suchom, odumieraním starých porastov, ťažbou, a regeneráciou zasiahnutých plôch. V povodí Jaloveckého potoka, ktoré je z hľadiska prírodných pomerov reprezentatívnym územím pre malé vysokohorské povodia Západných Tatier, tieto zmeny do roku 2021 zasiahli približne štvrtinu plochy pôvodného lesa. Les s dominanciou smreka obyčajného pokrýval 44% plochy povodia. Odumieranie a regenerácia lesa prebiehajú prirodzene, ťažba bola v tomto povodí minimálna. Vplyv odumierania lesa na hydrologický cyklus sme hodnotili v mierke povodia (charakteristiky odtoku) a v mierke výskumnej plochy (rozdiel v intercepcii, indexe listovej plochy, povrchovom odtoku, zdrojoch a priemernej dobe zdržania vody v pôde medzi stanovišťami s rôznym stavom lesného porastu). Zmeny lesných porastov v povodí začali byť viditeľné po roku 2012. Analýza denných prietokov z hydrologických rokov 1988-2022 ukázala zvýšenie minimálnych denných prietokov (1-, 3-, 7-, 30-, 90-denné minimum) od roku 2016, nárast ročného maxima v rokoch 2017-2019, vyššie hodnoty indexu prívalovosti a počtu zmien prietoku za rok. V období 2011-2022 sa zvýšila početnosť výskytu prietokov s malou aj vysokou pravdepodobnosťou prekročenia.

Podľa meraní na výskumnej ploche (2022-2025) dosahoval index listovej plochy podrastu v období sezónneho maxima najvyššie hodnoty (4-5) na ploche s prebiehajúcou regeneráciou (čučoriedka, malina, nastupujúca jarabina, viacero druhov bylín). Tieto hodnoty sú podobné hodnotám získaným pre živý smrekový porast (priemer 4.8, malá sezónna variabilita). Na nezmenenej otvorenej ploche s dominantným porastom čučoriedky mal index listovej plochy maximálnu hodnotu 3. Podobné hodnoty (priemer 2.8) boli zistené na stanovišti s odumretými suchými smrekmi. V teplej časti roka (jún-september) vznikol na všetkých plochách povrchový odtok, ale jeho veľkosť bola iba niekoľko percent z úhrnu dažďa, ktorý ho vyvolal (0-17%, priemer 3%). Rozdiely v povrchovom odtoku medzi stanovišťami s rôznym stavom lesa boli malé. V priebehu obdobia 2022-2024 sa v súvislosti s rozvojom vegetácie na obnovujúcej sa ploche a odumieraním živého smrekového porastu vyrovnávali. V živom smrekovom poraste a na voľnej ploche s nezmeneným porastom sa povrchový odtok začínal v priemere neskôr a trval kratšie, ako na stanovištiach s obnovujúcim sa porastom, ale rozdiely boli nevýznamné. Rýchla reakcia povrchového odtoku a vlhkosti pôdy a veľké množstvo zrážok, ktoré po daždi infiltrovalo do pôdy, kontrastujú s oveľa dlhšou priemernou dobou zdržania vody v pôde, dokumentovanou analýzami obsahu stabilných izotopov v zrážkach a v pôde v hĺbke 30-40 cm. Po snehovo dobrých zimách bola v pôde izotopicky ľahšia voda z roztopeného snehu prítomná aj na konci júna, kým po snehovo slabšej zime 2025 bola v pôde izotopicky ťažšia voda už na konci apríla. Podľa izotopických údajov zostáva voda v pôde približne 3-4 mesiace.

**Kľúčové slová:** charakteristiky prietoku, LAI, povrchový odtok, stabilné izotopy

**Pod'akovanie:** Táto práca bola podporená projektmi VEGA 2/0019/23 a Water4All/2023/1128.C/REACTION.

## INFLUENCE OF FOREST DIEBACK ON THE HYDROLOGICAL CYCLE IN A SMALL MOUNTAIN CATCHMENT

Ladislav Holko <sup>1\*</sup>, Martin Jančo <sup>1</sup>, Michal Danko <sup>1</sup>, Patrik Sleziak <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Hydrology SAS, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovak Republic

\*corresponding author: holko@uh.savba.sk

### ABSTRACT

Over the past approximately fifteen years, the forests of the Western Tatra Mountains have undergone substantial transformations driven by wind disturbances, bark beetle outbreaks, drought, dieback of old stands, limited timber extraction, and subsequent regeneration processes. In the Jalovecký Creek catchment—representative of small headwater catchments of the Western Tatras—these changes had affected roughly 25% of the original forest area by 2021. Prior to disturbance, the spruce dominated forest covered 44% of the catchment. Forest dieback and regeneration in the catchment have proceeded through natural processes, with only negligible logging.

To assess the hydrological implications of forest dieback, we evaluated changes at both the catchment scale (runoff characteristics) and the plot scale (canopy interception, leaf area index, overland flow, soil water sources and mean residence time across sites with differing forest conditions). Detectable forest changes began to emerge in the catchment after 2012. Analysis of daily discharge records from hydrological years 1988–2022 revealed increases in minimum daily flows (1-, 3-, 7-, 30-, and 90- days minima) since 2016, elevated annual maxima during 2017–2019, higher values of the flashiness index and increased number of flow reversals. Flows with the lowest and highest probabilities of exceedance were more frequent in 2011–2022 compared to previous periods.

Measurements at research plots (2022–2025) showed that the understory leaf area index (LAI) reached its highest seasonal maxima (4–5) in regenerating areas covered by dominated by European blueberry, red raspberry, young rowan and diverse herbaceous species. These maximum values were comparable to those of the original spruce stands (mean LAI 4.8, low seasonal variability). In contrast, open areas dominated by European blueberry exhibited a maximum LAI of 3, while sites with dead standing spruce showed similar values (mean 2.8).

The overland flow during the warm season (June–September) was formed at all sites, but represented only a small fraction of event rainfalls (0–17%, average 3%). Differences among the sites were minor and diminished further between 2022 and 2024 as the vegetation developed in regenerating areas and as dieback progressed in formerly intact spruce stands. The overland flow in the living spruce and in the unchanged open area sites typically appeared later and lasted less than in regenerating sites, although these differences were very small. Despite rapid responses of the overland flow and soil moisture to rainfall, and substantial water infiltration during the events, isotopic analyses revealed longer mean residence times of the soil water, i. e. about 3–4 months at the depth of 30–40 cm. Isotopically lighter snowmelt water persisted in the soil until late June following snow rich winters, whereas after the snow poor winter of 2025, isotopically heavier water was already present in the soil in late April.

**Keywords:** runoff characteristics, LAI, overland flow, stable isotopes

**Acknowledgements:** This work was supported by the VEGA Grant Agency under Contract No. 2/0019/23 and by project Water4All/2023/1128.C/REACTION.

## KVANTIFIKÁCIA VPLYVU UŽÍVANIA VÔD NA HYDROLOGICKÝ REŽIM POVRCHOVÝCH VÔD

Jana Poórová<sup>1</sup>, Ľubica Lovášová<sup>2</sup>, Katarína Kotriková<sup>2\*</sup>, Zuzana Paľušová<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Úsek Hydrologická služba, Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 831 01 Bratislava, Slovenská republika

<sup>2</sup>Odbor kvantita povrchových vôd, Úsek Hydrologická služba, Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 831 01 Bratislava, Slovenská republika

<sup>3</sup>Odbor Informačné systémy, Úsek Informatika, Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 831 01 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: katarina.kotrikova@shmu.sk

### ABSTRAKT

Významným zásahom do prirodzeného hydrologického režimu na Slovensku je užívanie vôd. V zmysle zákona č. 364/2004 Z. z. o vodách ide o činnosť, ktorá musí byť vykonávaná tak, aby bolo zabezpečené trvalo udržateľné a hospodárne využívanie vodných zdrojov a zároveň zachovaný alebo zlepšený stav vôd a vodných ekosystémov. V príspevku uvádzame niektoré výsledky výskumnej práce, ktorá sa zaoberá kvantifikáciou ovplyvnenia zapríčineného užívaním vody na tokoch. Toto ovplyvnenie sa prejavuje najmä zmenami prietokových pomerov v dôsledku odberov a vypúšťania vôd.

Výsledky sú prezentované v povodí toku Moravy, ktorý je hraničným tokom. Hydrologický režim tohto toku je dlhodobom monitorovaný a vykazuje výraznú variabilitu prietokov vrátane období sucha a povodní, čo podčiarkuje význam jeho hodnotenia z hľadiska antropogénnych zásahov. Pre stanovenie miery ovplyvnenia boli použité údaje o užívaní vody z oznamovacej povinnosti a údaje z kvantitatívnej vodohospodárskej bilancie povrchových vôd v zmysle vodného zákona (§29 a §6). Kvantitatívna vodohospodárska bilancia povrchových vôd hodnotí vzťah medzi požiadavkami na vodu s dostupnými vodnými zdrojmi v bilančných profiloch. V 9 bilančných profiloch sa hodnotila miera ovplyvnenia dlhodobých prietokov za rôzne obdobia počas obdobia 1976 - 2023 s dôrazom na obdobie 1991 - 2020, ktoré by malo nahradiť reprezentatívne obdobie 1961 - 2000. Výsledné hodnoty miery ovplyvnenia dlhodobých prietokov za obdobie 1991 - 2020 sú nižšie ako 5 %, resp. 10 % vo väčšine bilančných profiloch.

Na základe výsledkov bude možné doplniť sieť neovplyvnených vodomerných staníc o bilančné profily pre stanovenie dlhodobých hydrologických charakteristík za obdobie 1991 - 2020, ako aj doplniť podklady pre kvantifikáciu dôsledkov klimatickej zmeny v profiloch ovplyvnených užívaním vody.

**Kľúčové slová:** užívanie vôd, kvantitatívna vodohospodárska bilancia povrchových vôd, povodie Moravy

**PodĎakovanie:** Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-23-0332. Príspevok vznikol za podpory projektu „Udržiteľné hospodarení s podzemnými vodami v česko-slovenskom pohraničí“, ITMS21+:403201DNJ4, Interreg Slovensko-Česko 2021 - 2027 spolufinancovaného Európskou úniou.

## QUANTIFYING THE EFFECTS OF WATER USE AND ABSTRACTIONS ON THE HYDROLOGICAL REGIME OF SURFACE WATER

Jana Poórová<sup>1</sup>, Ľubica Lovásová<sup>2</sup>, Katarína Kotríková<sup>2\*</sup>, Zuzana Paľušová<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Division Hydrological Service, Slovak Hydrometeorological Institute, Jeséniova 17, 831 01 Bratislava, Slovak Republic

<sup>2</sup> Department of Surface Water Quantity, Hydrological Service Division, Slovak Hydrometeorological Institute, Jeséniova 17, 831 01 Bratislava, Slovak Republic

<sup>3</sup> Department of Information Systems, IT Division, Slovak Hydrometeorological Institute, Jeséniova 17, 831 01 Bratislava, Slovak Republic

\*corresponding author: katarina.kotrikova@shmu.sk

### ABSTRACT

A significant intervention in the natural hydrological regime in Slovakia is the use of water. According to Act No. 364/2004 Coll. on waters, this is an activity that must be carried out in such a way as to ensure the sustainable and efficient use of water resources while simultaneously preserving or improving the status of water bodies and aquatic ecosystems. In this paper, we present selected results of research focused on quantifying the impacts of water use on river systems. This impact is manifested mainly through changes in streamflow regimes resulting from water abstractions and wastewater discharges.

The results are presented for the Morava River basin, which is a boundary stream. The hydrological regime of this river has been monitored for a long time and shows significant variability in flow rates, including periods of drought and floods, which highlights the importance of its evaluation in terms of anthropogenic pressures. To determine the degree of impact, data on water use from the reporting obligations and data from the quantitative water balance of surface waters pursuant to the Water Act (§29 and §6) were used. The quantitative water balance of surface waters evaluates the relationship between water requirements and available water resources in water balance profiles. In nine water balance profiles, the degree of impact on long-term flows was assessed for various periods during the period 1976-2023, with an emphasis on the period 1991-2020, which is intended to replace the representative period 1961-2000. The resulting values of the degree of impact on long-term flows for the period 1991-2020 are generally below 5%, and in most profiles do not exceed 10%.

Based on the results, it will be possible to expand the network of unaffected water gauging stations with water balance profiles for the determination of long-term hydrological characteristics for the period 1991-2020, as well as to enhance datasets used for assessing the impacts of climate change in profiles influenced by water use.

**Keywords:** water use, quantitative water balance of surface waters, Morava River basin

**Acknowledgements:** This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the Contract no. APVV-23-0332. This work was supported as part of project „Udržiteľné hospodárení s podzemnými vodami v česko-slovenském příhraničí“, ITMS21+: 403201DNJ4“ an Interreg Slovensk- Česko 2021-2027 Programme project co funded by the European Union.

## MONITORING SUCHA POVRCHOVÝCH VÔD V KALENDÁRNOM ROKU 2025

Soňa Liová<sup>1</sup>, Anna Liová<sup>1</sup>, Gabriel Benian<sup>1</sup>, Katarína Kotríková<sup>2</sup>, Katarína Slivková<sup>3</sup>, Beáta Síčová<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Regionálne pracovisko SHMÚ Žilina, Bôrická cesta 103, 011 13 Žilina, Slovenská republika

<sup>2</sup> Odbor kvantita povrchových vôd, Úsek Hydrologická služba, Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 831 01 Bratislava, Slovenská republika

<sup>3</sup> Regionálne pracovisko SHMÚ Banská Bystrica, Zelená 5, 974 04 Banská Bystrica, Slovenská republika

<sup>4</sup> Regionálne pracovisko SHMÚ Košice, Ďumbierska 26, 041 17 Košice, Slovenská republika

\* korešpondenčný autor: katarina.kotrikova@shmu.sk

### ABSTRAKT

V kalendárnom roku bola v povodiach Slovenska na základe operatívnych údajov dosiahnutá hodnota priemerného úhrnu zrážok na povodie 772 mm, čo predstavuje 101 % normálu. Na základe odchýlok ročných úhrnov atmosférických zrážok od normálu (1991 - 2020) bol rok vyhodnotený ako normálny. Z pohľadu teploty vzduchu boli ako mimoriadne podnormálne mesiace vyhodnotené mesiace január a december; mesiace marec, jún a október ako silne podnormálne; apríl ako podnormálny; ostatné mesiace ako normálne, s výnimkou mesiaca máj, ktorý bol vyhodnotený ako silne nadnormálny. Kalendárny rok 2025 bol tretím najteplejším v celej histórii meraní teploty vzduchu, prvenstvo si zachoval kalendárny rok 2024, nasledovaný rokom 2023.

V príspevku prezentujeme analýzu zameranú na minimálne priemerné denné prietoky vo vybraných vodomerných staniaciach v štátnej hydrologickej sieti Slovenského hydrometeorologického ústavu. Hodnotenie je založené na porovnaní operatívnych údajov z kalendárneho roka 2025 v 58 vodomerných staniaciach, ktoré sme považovali pre toto hodnotenie za relevantné, s dlhodobými údajmi platného referenčného obdobia 1961 - 2000. Riziko začínajúceho sa suchého obdobia predstavujú priemerné denné prietoky, ktoré poklesnú pod úroveň  $Q_{330d,1961-2000}$ . Z hodnotených vodomerných staníc použitých v príspevku boli hodnoty priemerných denných prietokov menšie ako  $Q_{330d,1961-2000}$  minimálne jeden deň v kalendárnom roku zaznamenané v 95 % vodomerných staníc. V niektorých vodomerných staniaciach v povodí Váhu boli dosiahnuté najnižšie hodnoty minimálnych priemerných denných prietokov za celé obdobie pozorovania vo vodomernej stanici.

**Kľúčové slová:** monitoring sucha, minimálne prietoky, 2025

**Pod'akovanie:** Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-23-0332.

## SURFACE WATER DROUGHT MONITORING IN 2025

Soňa Liová<sup>1</sup>, Anna Liová<sup>1</sup>, Gabriel Benian<sup>1</sup>, Katarína Kotríková<sup>2\*</sup>, Katarína Slivková<sup>3</sup>, Beáta Síčová<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Regional office SHMÚ Žilina, Bôrická cesta 103, 011 13 Žilina, Slovak Republic

<sup>2</sup> Department of Surface Water Quantity, Hydrological Service Division, Slovak Hydrometeorological Institute, Jeséniova 17, 831 01 Bratislava, Slovak Republic

<sup>3</sup> Regional office SHMÚ Banská Bystrica, Zelená 5, 974 04 Banská Bystrica, Slovak Republic

<sup>4</sup> Regional office SHMÚ Košice, Ďumbierska 26, 041 17 Košice, Slovak Republic

\*corresponding author: katarina.kotrikova@shmu.sk

### ABSTRACT

For the calendar year, a basin-average precipitation total of 772 mm was recorded across the river basins of Slovakia based on operational data, corresponding to 101% of the climatological normal. Based on deviations of annual precipitation totals from the 1991–2020 reference period, the year was classified as normal. From the perspective of air temperature, January and December were classified as extremely cold; March, June, and October as very cold; April as cold; and the remaining months as near normal, except for May, which was classified as very warm. The calendar year 2025 was the third warmest on record in the entire history of air temperature measurements, with 2024 remaining the warmest year, followed by 2023.

In this paper, we present an analysis focused on minimum mean daily discharges at selected water gauging stations within the state hydrological network of the Slovak Hydrometeorological Institute. The assessment is based on a comparison of operational data from the calendar year 2025 at 58 water gauging stations, considered relevant for this evaluation, with long-term data from the reference period 1961–2000. The onset of drought conditions is indicated by mean daily discharges falling below the threshold value  $Q_{330d,1961-2000}$ . Among the evaluated water gauging stations, mean daily discharge values below  $Q_{330d,1961-2000}$  were recorded on at least one day during the calendar year at 95% of the stations. At some gauging stations in the Váh River basin, the lowest values of minimum mean daily discharge in the entire observation period were recorded.

**Keywords:** drought monitoring, mean daily discharge, 2025

**Acknowledgements:** This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the Contract no. APVV-23-0332.

## ROLE JAKOSTI VODY PŘI STANOVOVÁNÍ MINIMÁLNÍCH ZŮSTATKOVÝCH PRŮTOKŮ

Libuše Barešová<sup>1\*</sup>, Magdalena Nesládková<sup>2</sup>, Kamila Sirotková<sup>1</sup>, Vít Kodesš<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, Česká republika

<sup>2</sup>Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha, Česká republika

\*korešpondenční autor: libuse.baresova@chmi.cz

### ABSTRAKT

Minimální zůstatkový průtok (MZP) a jakost vody jsou klíčovými parametry pro ochranu vodních ekosystémů a zajištění udržitelného využívání vodních zdrojů. Jeho velikost by měla představovat průtok, který zajišťuje ekologické funkce toku (životaschopnost ekosystémů, migraci ryb, samočisticí schopnost) a umožňuje obecné nakládání s vodami. MZP je stanovován na základě vodního zákona (č. 254/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů) a příslušného metodického pokynu z roku 1998, který ale vychází výhradně z tzv. M-denních průtoků a explicitně nezohledňuje požadavky na zachování ekologických funkcí vodních toků.

Pozornost byla zaměřena na 17 čistíren odpadních vod (ČOV), které jsou zároveň uvedeny v Plánu pro zvládnání sucha a stavu nedostatku vody pro území ČR. Jedná se o největší soustředěné zdroje městských komunálních odpadních vod s potenciálně významným dopadem na jakost povrchových vod během sucha. Jedna z výzkumných otázek tak zní, zda by bylo možné na základě analýzy jakosti povrchových vod během sucha v profilech pod významnými ČOV odvozovat potřebné minimální zůstatkové průtoky v říční síti tak, aby vybrané ukazatele jakosti vody s přijatelnou pravděpodobností splňovaly zvolené limitní hodnoty.

Ke každé ČOV byl přiřazen nejbližší monitorovací profil jakosti vody a vodoměrná stanice s dostatečně dlouhými časovými řadami a rozsahy sledovaných parametrů. Jedná se o profily a stanice na našich nejvýznamnějších vodních tocích Labi, Vltavě, Moravě, Berounce, Ohři, Odře, Svratce, větších vodních tocích Lužické Nise, Úpě, Bílině a dvou menších vodních tocích Valové a Dřevnici. K výsledkům jakosti vody v monitorovacích profilech byly přiřazeny průměrné denní průtoky z nejbližších vodoměrných stanic či přepočítané průtoky podle stanovených analogů, pokud byly k dispozici.

Testovanými fyzikálně-chemickými parametry byly ukazatele používané pro hodnocení ekologického stavu vodních útvarů podle Rámcové směrnice o vodách (sloučeniny dusíku a fosforu, kyslíkové poměry, pH), vodivost, rozpuštěné a nerozpuštěné látky, soli (chloridy a sírany), celkový organický uhlík a specifické parametry (AOX a EDTA), včetně termotolerantních koliformních bakterií. Limitní koncentrace těchto parametrů jsou určeny buď v příloze č. 3 k nařízení vlády č. 401/2015 Sb. nebo jako cíle pro dobrý ekologický stav vodních útvarů, příp. nejsou stanoveny. Velkým problémem je jejich nejednotnost.

Testovány byly prozatím časové řady z let 2014-2024. Minimální průtok vodního toku nezbytný k udržení dobré jakosti vody byl kvantifikován pomocí pravděpodobnostního přístupu – logistické regrese.

Z hlediska závislosti koncentrací ukazatelů jakosti vody na velikosti průtoku ve vodním toku bylo možné rozdělit ukazatele do tří skupin: 1) ukazatele, jejichž koncentrace zpravidla roste s rostoucím průtokem (např. dusičnanový dusík, rozpuštěný kyslík, nerozpuštěné látky), 2) ukazatele, jejichž koncentrace zpravidla roste při nízkých průtocích (např. EDTA, vodivost, rozpuštěné soli, fosforečnanový fosfor, celkový fosfor) a 3) ukazatele, u kterých se závislost na průtoku neprokázala (pH, AOX, BSK<sub>5</sub>, CHSK<sub>Cr</sub>). Statistická významnost vztahů koncentrací a průtoků nebyla vždy prokázána, nejspolehlivější výsledky prozatím poskytují analýzy z profilů pod ÚČOV Praha, ČOV Plzeň a ČOV Brno (Modřice). Logistickou regresí zde lze stanovit mezní průtoky, za kterých nebude překročen limit jakosti vody s požadovanou pravděpodobností. Pro jednotlivé jakostní parametry se tyto mezní průtoky mohou lišit. V úvahu je nutné vzít i období, pro které je regrese počítána, výsledky se v některých případech významně liší pro suché období 2014-2018 a méně suché 2019-2024. To vše by mělo být zohledněno při případné další diskusi nad aktualizací metodického pokynu ke stanovení hodnot MZP ve vodních tocích z roku 1998.

**Klíčové slová:** minimální zůstatkový průtok, jakost vody, sucho, čistírna odpadních vod

**Pod'akovanie:** Výzkum je podpořen projektem TAČR PERUN (SS02030040). Pro analýzy byly použity údaje z informačního systému ČHMÚ ARROW, kde jsou shromažďovány výsledky situačního a provozního monitoringu povrchových vod prováděného státními podniky Povodí.

## THE ROLE OF WATER QUALITY IN DETERMINING MINIMUM RESIDUAL FLOWS

Libuše Barešová<sup>1\*</sup>, Magdalena Nesládková<sup>2</sup>, Kamila Sirotková<sup>1</sup>, Vít Kodeš<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Czech Hydrometeorological Institute, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, Czech Republic

<sup>2</sup>Povodí Vltavy, State Enterprise, Holečková 3178/8, 150 00 Praha, Czech Republic

\*corresponding author: libuse.baresova@chmi.cz

### ABSTRACT

Minimum residual flow (MRF) and water quality are key parameters for protecting aquatic ecosystems and ensuring the sustainable use of water resources. Its size should ensure a flow rate that supports the stream's ecological functions (ecosystem viability, fish migration, and self-purification) and enables general water management. The MRF is determined in accordance with the Water Act and the relevant methodological guideline from 1998, which, however, is based exclusively on so-called M-day flows and does not explicitly take into account the requirements for maintaining the ecological functions of watercourses.

The focus was on 17 wastewater treatment plants (WWTP), which are the largest concentrated sources of municipal wastewater, with a potentially significant impact on surface water quality during droughts. One of the research questions is therefore whether it would be possible, based on an analysis of surface water quality during droughts at monitoring sites downstream of major WWTPs, to determine the minimum residual flows required in the river network so that selected water quality indicators would meet the chosen limit values with an acceptable degree of probability.

Each WWTP was assigned the nearest water quality monitoring profile and water gauging station with sufficiently long time series and a sufficient range of monitored parameters. These include monitoring profiles and gauging stations on our major rivers, such as the Labe, Vltava, Morava, Berounka, Ohře, Odra and Svatka, as well as some smaller rivers. The water quality results from the monitoring profiles were paired with average daily flow rates from the nearest flow gauging stations.

The physicochemical parameters tested included indicators used to assess the ecological status of water bodies under the Water Framework Directive (nitrogen and phosphorus compounds, oxygen ratios, pH), conductivity, dissolved and undissolved substances, salts (chlorides and sulphates), total organic carbon, and specific parameters (AOX and EDTA), including thermotolerant coliform bacteria. The limit concentrations for these parameters are specified either in Annex 3 to Government Regulation No. 401/2015 Coll. or as targets for the good ecological status of water bodies; in some cases, they are not specified at all. A major problem is also the lack of consistency in these values.

Time series from 2014 to 2024 have been analysed so far. The minimum streamflow required to maintain good water quality was quantified using a probabilistic approach—logistic regression.

In terms of how water quality parameters depend on the flow rate in a watercourse, the parameters could be divided into three groups: 1) indicators whose concentrations generally increase with increasing flow (e.g., nitrate nitrogen, dissolved oxygen, suspended solids), 2) indicators whose concentrations generally increase at low flow rates (e.g., EDTA, conductivity, dissolved salts, phosphate phosphorus, total phosphorus), and 3) indicators for which a dependence on flow rate was not demonstrated (pH, AOX, BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub>). The statistical significance of the relationships between concentrations and flow rates has not always been demonstrated. Logistic regression can be used here to determine the threshold flow rates at which the water quality limit will not be exceeded with the desired probability. These flow rate limits may vary depending on the specific quality parameters. It is also necessary to consider the period for which the regression is calculated; in some cases, the results differ significantly between the dry period of 2014–2018 and the less dry period of 2019–2024.

**Keywords:** minimum residual flow, water quality, drought, wastewater treatment plant

**Acknowledgements:** This research was supported by the TAČR PERUN project (SS02030040). The analyses were based on data from the CHMI ARROW information system, which compiles the results of surveillance and operational monitoring of surface waters conducted by the state-owned companies Povodí.

## HODNOTENIE ÚČINNOSTI A DLHODOBEJ DYNAMIKY ZANÁŠANIA PROTIERÓZNYCH PRIEKOP – ŠTÚDIA SOBOTIŠTE

Michaela Danáčová <sup>1\*</sup>, Roman Výleta <sup>1</sup>, Kamila Hlavčová <sup>1</sup>, Marián Marčiš <sup>2</sup>, Matúš Tomaščík <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra vodného hospodárstva krajiny, <sup>2</sup>Katedra geodézie, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave,  
Radlinského 11, 810 05, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: michaela.danacova@stuba.sk

### ABSTRAKT

Vodná erózia a s ňou spojené pôdnodegradačné procesy predstavujú významný environmentálny problém, ktorý negatívne ovplyvňuje životné prostredie a produkčnú schopnosť pôd. Prítomnosť veľkoplošných parciel ornej pôdy v kombinácii s výskytom extrémnych zrážok zvyšuje náchylnosť krajiny na erózo-transportné procesy a vznik bahenných povodní. Typickým príkladom takto zraniteľného územia je Myjavská pahorkatina, charakteristická flyšovým geologickým podložím.

Príspevok sa zameriava na posúdenie účinnosti vybudovaných protieróznych a protipovodňových opatrení v poľnohospodárskej lokalite Kubíny (katastrálne územie Sobotište). Hlavným cieľom výskumu bolo stanovenie objemu povrchového odtoku, kvantifikácia straty pôdy spôsobenej vodnou eróziou a zhodnotenie funkčnosti a dynamiky zanášania existujúcich záchytných vsakovacích priekop na základe dlhodobého monitoringu realizovaného v rokoch 2015, 2017, 2019 a 2026.

Pre naplnenie stanovených cieľov bol v území s prevahou ornej pôdy realizovaný komplexný výskum erózo-transportných procesov. Využitie boli bezpilotné letecké technológie (UAV) a fotogrammetrické spracovanie snímok na vytvorenie presného digitálneho modelu terénu (DTM), ktorý slúžil na identifikáciu priestorových parametrov priekop. Výška a objem priameho povrchového odtoku boli simulované metódou odtokových kriviek (SCS-CN) pre návrhovú zrážku s dobou opakovania 10 rokov, odvodenú zo zrážkomernej stanice Myjava. Ročná strata pôdy bola stanovená prostredníctvom univerzálnej rovnice straty pôdy (USLE) implementovanej v modeli USLE2D. Uvedené metodické postupy boli prepojené s dlhodobým monitorovaním dynamiky zanášania priekop erodovaným materiálom, pričom terénne merania boli opakovane realizované.

Z hľadiska celkového odhadu pôdneho odnosu bola lokalita zaradená do kategórie s nepatrnou až lokálne slabou intenzitou erózie. Výsledky hydrologického modelovania potvrdili, že pri návrhovej zrážke s dobou opakovania 10 rokov je potrebné zachytiť vo vrchnej priekope objem vody približne 2 200 m<sup>3</sup>, zatiaľ čo spodná priekopa by mala zachytiť približne 130 m<sup>3</sup>. Vyhodnotenie opakovaných terénnych meraní oboch priekop z rokov 2015 – 2026 preukázalo reálnu dynamiku akumulácie sedimentov v čase a poukázalo na postupnú stratu ich retenčnej kapacity, predovšetkým pri kapacitne zaťaženej vrchnej priekope. Výskum potvrdil, že líniové vsakovacie priekopy účinne prerušujú povrchový odtok a zachytávajú erodovaný materiál, čím chránia intravilán pred bahennými povodňami. Pre zachovanie ich dlhodoobej funkčnosti je však nevyhnutné zabezpečiť pravidelnú údržbu a odstraňovanie sedimentačných nánosov

**Kľúčové slová:** vodná erózia, povrchový odtok, vsakovacie priekopy, USLE2D, metóda SCS-CN, bezpilotné technológie (UAV)

**Pod'akovanie:** Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmlúv č. APVV-23-0332, VV-MVP-24-0208, a grantovou agentúrou VEGA v rámci projektu č. 2/0115/25.

## ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS AND LONG-TERM SEDIMENTATION DYNAMICS OF ANTI-EROSION DITCHES – CASE STUDY SOBOTIŠTE

Michaela Danáčová <sup>1\*</sup>, Roman Výleta <sup>1</sup>, Kamila Hlavčová <sup>1</sup>, Marián Marčiš <sup>2</sup>, Matúš Tomaščík <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Land and Water Resources Management, <sup>2</sup> Department of Surveying, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic

\*corresponding author: michaela.danacova@stuba.sk

### ABSTRACT

Water erosion and the associated soil degradation processes represent a significant environmental problem that negatively affects the environment and the productive capacity of soils. The presence of large-scale arable land plots in combination with the occurrence of extreme precipitation increases the susceptibility of the landscape to erosion-transport processes and the occurrence of mud floods. A typical example of such a vulnerable area is the Myjavská pahorkatina, characterized by flysch geological subsoil.

The paper focuses on assessing the effectiveness of built anti-erosion and anti-flood measures in the agricultural area of Kubíny (cadastral area of Sobotište). The main objective of the research was to determine the volume of surface runoff, quantify soil loss caused by water erosion, and evaluate the functionality and dynamics of silting of existing catchment retention ditches based on long-term monitoring carried out in 2015, 2017, 2019 and 2026.

To achieve the set goals, a comprehensive research of erosion-transport processes was carried out in an area dominated by arable land. Unmanned aerial vehicles (UAV) and photogrammetric image processing were used to create an accurate digital terrain model (DTM), which served to identify the spatial parameters of the ditches. The height and volume of direct surface runoff were simulated by the runoff curve method (SCS-CN) for a design rainfall with a recurrence period of 10 years, derived from the Myjava precipitation station. Annual soil loss was determined using the universal soil loss equation (USLE) implemented in the USLE2D model. The above methodological procedures were linked to long-term monitoring of the dynamics of trench clogging with eroded material, with field measurements being repeatedly carried out.

From the perspective of the overall estimate of soil erosion, the site was classified as having a slight to locally weak erosion intensity. The results of hydrological modeling confirmed that, for a design rainfall with a recurrence period of 10 years, it is necessary to capture a volume of water of approximately 2,200 m<sup>3</sup> in the upper ditch, while the lower ditch should capture approximately 130 m<sup>3</sup>. The evaluation of repeated field measurements of both ditches from 2015–2026 demonstrated the real dynamics of sediment accumulation over time and pointed to the gradual loss of their retention capacity, especially in the case of a capacity-loaded upper ditch. Research has confirmed that linear retention ditches effectively interrupt surface runoff and capture eroded material, thereby protecting urban areas from mud floods. However, to maintain their long-term functionality, it is necessary to ensure regular maintenance and removal of sediment deposits.

**Keywords:** water erosion, surface runoff, retention ditches, USLE2D, SCS-CN method, unmanned aerial vehicles (UAV)

**Acknowledgements:** This research was funded by the Slovak Research and Development Agency under contract Nos. APVV 23-0332, VV-MVP-24-0208, and by the VEGA Grant Agency under No. 2/0115/25.

## VEĽKÉ POVODNE NA DUNAJI V ROKU 1897

Marián Melo <sup>1\*</sup>, Marcel Garaj <sup>2</sup>, Pavla Pekárová <sup>3</sup>, Martin Gera <sup>1</sup>, Ingrid Damborská <sup>1</sup>, Štefan Hrivňák <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Univerzita Komenského v Bratislave, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Mlynská dolina, 842 48 Bratislava, Slovenská republika

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

<sup>3</sup> Ústav hydrológie SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

<sup>4</sup> Múzeum mesta Bratislavy, Radničná 1, 815 18 Bratislava, Slovenská republika

\* korešpondenčný autor: melo@fmph.uniba.sk

### ABSTRAKT

Katastrofálne povodne na hornom, strednom a dolnom toku Dunaja sa zvyčajne nevyskytujú súčasne. V roku 1897 sme síce zaznamenali veľké povodne na všetkých troch úsekoch tohto toku, avšak nešlo o jednu súvislú povodňovú vlnu. Boli to dve rôzne povodne, pričom každá sa viac prejavila v inej časti rieky.

Cieľom tejto štúdie bolo zhodnotiť príčiny vzniku oboch povodní a popísať ich časový a geografický priebeh, prípadne uviesť i rozsah spôsobených škôd. Vychádzame pritom z meraných údajov, ktoré sme získali výpisom zo starších meteorologických a hydrologických ročeniek, resp. publikovaných prác, ktoré sme mali k dispozícii. Ďalej sme využili modelové dáta z výstupov z reanalýzy NOAA–CIRES–DOE 20th Century Reanalysis Version 3 (20CRv3) a taktiež informácie z dokumentárnych údajov, ktoré sa nám podarilo získať z dobovej tlače.

Prvá z dvoch veľkých povodní 1897 vznikla v dôsledku veľkého úhrnu zrážok, ktoré spadli v máji a v júni 1897 najmä v oblasti juhovýchodnej Európy a tiež v alpskej oblasti v strednej Európe. Nárast vodného stavu bol zaznamenaný na hornom úseku Dunaja. V Bratislave nastala kulminácia 26. mája, avšak voda tu pravdepodobne nevystúpila zo svojho koryta. Vysokú intenzitu dosiahla povodeň až na strednom a najmä na dolnom úseku Dunaja. V Oršovej povodeň kulminovala okolo 10. júna (podľa iného zdroja to bolo 6. júna), v Braile 16. júna, v Galati 17. júna a v Tulcei až 2. júla 1897. Podľa informácie z publikovaných prác veľkosť tejto povodne na Dunaji v Tulcei nebola odvtedy dosiaľ prekonaná.

Druhá veľká povodeň 1897 na Dunaji a jeho prítokoch sa vyskytla na konci júla a v prvej polovici augusta 1897. Spôsobili ju výdatné zrážky najmä nad alpskou oblasťou v júli (zvlášť v dňoch 26.-31. júla 1897). Prejavila sa na hornom a strednom toku Dunaja (katastrofálne dôsledky s obeťami a množstvom napáchaných škôd mala najmä na rakúskom území). V Pasove táto povodeň kulminovala 1. augusta, v Linci 2. augusta, v Bratislave 4. augusta, v Budapešti 8. augusta, v Moháči 12. augusta a v Oršovej 21. augusta 1897. Povodne zo značných júlových zrážok zasiahli aj niektoré susedné povodia v Čechách, v Nemecku i v Poľsku.

**Kľúčové slová:** Dunaj, povodne, vodný stav, prietok, zrážky, dokumentárne údaje, model 20CRv3

**PodĎakovanie:** Tento príspevok bol podporený projektom APVV-20-0374 DETEKTIVES.

## HIGH FLOODS ON THE DANUBE IN 1897

Marián Melo <sup>1\*</sup>, Marcel Garaj <sup>2</sup>, Pavla Pekárová <sup>3</sup>, Martin Gera <sup>1</sup>, Ingrid Damborská <sup>1</sup>, Štefan Hrivňák <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Comenius University Bratislava, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Mlynská dolina, 842 48 Bratislava, Slovak Republic

<sup>2</sup> Slovak Hydrometeorological Institute, Jeseniova 17, 833 15 Bratislava, Slovak Republic

<sup>3</sup> Institute of Hydrology SAS, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovak Republic

<sup>4</sup> Bratislava City Museum, Radničná 1, 815 18 Bratislava, Slovak Republic

\* corresponding author: melo@fmph.uniba.sk

### ABSTRACT

Catastrophic floods on the Upper, the Central, and the Lower Danube usually do not occur simultaneously. Although major floods were recorded along all three sections of the river in 1897, they did not constitute a single continuous flood wave. Rather, they represented two distinct flood events, each of which manifested most prominently in different parts of the basin.

The aim of this study is to assess the driving mechanisms of both flood events, to describe their temporal and spatial evolution, and, where possible, to document the extent of the associated damage. The analysis is based on instrumental observations derived from historical meteorological and hydrological yearbooks, complemented by published sources available to the authors. In addition, reanalysis data from the NOAA–CIRES–DOE 20th Century Reanalysis Version 3 (20CRv3) were utilised, together with documentary evidence obtained from contemporary press reports.

The first of the two major floods in 1897 resulted from exceptionally high precipitation totals during May and June 1897, affecting predominantly the Alpine region and parts of south-eastern Europe. The increase in water level was recorded in the upper section of the Danube. The flood peaked in Bratislava on 26 May; however, the river likely remained within its banks at this location. Further downstream, the flood reached considerably greater intensity, particularly along the lower Danube. At Orşova, the peak occurred around 10 June (6 June according to an alternative source), at Brăila on 16 June, at Galaţi on 17 June, and at Tulcea as late as 2 July 1897. According to information from published works, the flood magnitude recorded at the Tulcea gauge has not been exceeded since then.

The second major flood occurred at the end of July and during the first half of August 1897. It was associated with heavy precipitation over the Alpine region, particularly between 26 and 31 July 1897. This flood primarily affected the upper and middle Danube, resulting in catastrophic consequences, including fatalities and extensive material damage, particularly in present-day Austria. The flood peaked at Passau on 1 August, at Linz on 2 August, at Bratislava on 4 August, at Budapest on 8 August, at Mohács on 12 August, and at Orşova on 21 August 1897. The intense precipitation during July also affected adjacent catchments in Bohemia, Germany, and Poland.

**Keywords:** Danube River, floods, water level, discharge, precipitation, documentary data, 20CRv3 model

**Acknowledgements:** This contribution was supported by the APVV-20-0374 DETEKTIVES project.

# PAPÍROVÉ DOKUMENTY HYDROLOGICKÉ SLUŽBY ČESKÉHO HYDROMETEOROLOGICKÉHO ÚSTAVU ANEB CO DOSUD ZŮSTÁVÁ MIMO DIGITÁLNÍ SVĚT

**Hana Kourková<sup>1\*</sup>, Marie Mátlová<sup>2</sup>, Kateřina Vacková<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, Česká republika,

<sup>2</sup> Český hydrometeorologický ústav, Antala Staška 1177/32, 370 07 České Budějovice, Česká republika,

\* korespondenční autor: hana.kourkova@chmi.cz

## ABSTRAKT

Sledování vodních stavů sahá do období, kdy vznikla potřeba monitorovat kolísání hladin řek, a to především za účelem ochrany před povodněmi a zajištění bezpečné plavby. Nejprve byly evidovány pouze mimořádné hydrologické jevy, zejména extrémně vysoké či nízké vodní stavy, zaznamenávané formou povodňových značek. Postupem času se pozorování vodních stavů stalo pravidelnou a systematickou činností hydrologické služby.

Příspěvek se zaměřuje na papírové záznamy každodenního pozorování vodních stavů, konkrétně na vodočetná hlášení a limnigramy hydrologické služby Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Tyto dokumenty jsou dnes soustředěny především v datovém úložišti v Brozanech nad Ohří, dále v ústředí ČHMÚ v Praze a na jednotlivých pobočkách ústavu. Nejstarší dochované záznamy pocházejí již z roku 1851, kdy byly zřízeny vodočty na řece Labi v Mělníku, Litoměřicích a Děčíně.

S ohledem na dlouhodobé uchování těchto cenných technických a historických materiálů byla zahájena iniciativa na jejich převod do digitální podoby. Prvním krokem tohoto procesu je komplexní revize materiálů a vytvoření systematického seznamu hydrologických dokumentů, který nebyl k dispozici v digitální formě. Evidence byla doposud vedena převážně prostřednictvím papírové kartotéky a manuálního systému výpůjček. Na revizi navazuje samotná digitalizace dokumentů prostřednictvím jejich skenování. Výsledkem bude vznik databáze digitálních kopií vodočetných hlášení a limnigramů, jejímž cílem je výrazné zvýšení dostupnosti těchto materiálů pro vědecké účely a odbornou i laickou veřejnost. Digitalizace zároveň významně přispěje ke snížení rizika fyzického poškození či ztráty originálních dokumentů a v dlouhodobém horizontu umožňuje optimalizaci provozních nákladů spojených s jejich správou a ochranou.

Dalším záměrem je vytěžení dat o vodních stavech z digitalizovaných záznamů za období před rokem 1994, která ČHMÚ u převážné většiny vodoměrných stanic dosud nemá k dispozici v elektronické podobě. Takto získané časové řady umožní prodloužení a zpřesnění průtokových řad vodoměrných stanic. Nová data bude možné využít i k přehodnocení průtokových dat v souladu s aktuálními metodickými postupy. Vzniklé výstupy budou k dispozici zákazníkům hydrologické služby a budou rovněž využitelné pro další odborné analýzy a výzkumné aktivity.

**Klíčová slova:** vodočetné hlášení, limnigram, Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ)

**Poděkování:** Práce byla podpořena projektem Dlouhodobá koncepce rozvoje výzkumné organizace na období 2023–2027.

## PAPER DOCUMENTS OF THE HYDROLOGICAL SERVICE OF THE CZECH HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE, OR WHAT STILL REMAINS OUTSIDE THE DIGITAL WORLD

Hana Kourková<sup>1\*</sup>, Marie Mátlová<sup>2</sup>, Kateřina Vacková<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Czech Hydrometeorological Institute, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Prague 4-Komořany, Czech Republic

<sup>2</sup> Czech Hydrometeorological Institute, Antala Staška 1177/32, 370 07 České Budějovice, Czech Republic

\*Corresponding author: hana.kourkova@chmi.cz

### ABSTRACT

Monitoring of water levels dates to back to the period when the need arose to monitor fluctuations in river stages, primarily for flood protection and the assurance of safe navigation. Initially, only exceptional hydrological events were recorded, especially extremely high or low water levels, documented in the form of flood marks. Over time, water-level observation developed into a regular and systematic activity of the hydrological service.

This paper focuses on paper-based records of daily water-level observations, specifically water-level reports and limnigraphs of the Hydrological Service of the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI). Today, these documents are primarily concentrated in the data storage facility in Brozany nad Ohří, as well as at the CHMI headquarters in Prague and at individual branch offices of the Institute. The oldest preserved records date back to 1851, when water gauges were established on the River Elbe in Mělník, Litoměřice and Děčín. Regarding the long-term preservation of these valuable technical and historical materials, an initiative has been launched to convert them into digital form. The first step in this process is a comprehensive review of the materials and the creation of a systematic inventory of hydrological documents that had not previously been available in digital form. Until now, records have been maintained mainly through paper card files and a manual lending digitally.

The review is followed by the digitisation of the documents through scanning. The result will be a database of digital copies of water-level reports and limnigraphs, the aim of which is to significantly increase the accessibility of these materials for scientific purposes as well as for professional users and the public. Digitisation will also substantially reduce the risk of physical damage to or loss of the original documents and, in the long term, help optimise of operational costs associated with their management and protection.

A further objective is the extraction of water-level data from the digitised records for the period before 1994. For most gauging stations CHMI does not yet have electronic data for this period. The resulting time series will make it possible to extend and refine discharge records for gauging stations. The new data may also be used to reassess discharge data in accordance with current methodological approaches. The resulting outputs will be available to users of the hydrological service and will also be suitable for further professional analyses and research activities.

**Keywords:** water-level report, limnigraph, Czech Hydrometeorological Institute (CHMI)

**Acknowledgements:** The work was supported by the project “Long-term Concept for the Development of a Research Organization for the Period 2023–2027.”

## ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV A JEHO HYDROLOGICKÝ VÝZKUM KRASOVÝCH ÚZEMÍ

Stanislav Lejska<sup>1\*</sup>, Barbora Špinarová<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Český hydrometeorologický ústav, Kroftova 43, 616 00 Brno, Česká republika

\*korespondenční autor: stanislav.lejska@chmi.cz

### ABSTRAKT

Náš tým hydrologů z brněnské pobočky Českého hydrometeorologického ústavu (dále ČHMÚ) se od roku 2009 věnuje kontinuálnímu monitoringu podzemního toku říčky Punkvy v systému Amatérské jeskyně (dále AMJ) v Moravském krasu. Říčka Punkva vzniká v centrální části jeskynního systému AMJ soutokem dvou potoků – Bílé vody a Sloupského potoka, jež v této části jeskyně vytvořily bludiště chodeb se specifickým hydrologickým režimem. Právě to bylo impulsem našeho výzkumu – popis hydrologických poměrů soutokové oblasti Punkvy, nebo s nadsázkou řečeno, nalezení pramene Punkvy. Proto jsme v této části jeskyně a v jejím širším okolí od roku 2009 na více než 30 lokalitách nainstalovali tlakové sondy měřící kolísání hladiny vody v desetiminutovém časovém intervalu. Některé ze sond umožňují i přenos dat na internet pomocí přenosových kabelů až 1 km dlouhých. Jako velice užitečné pro pochopení krasové hydrauliky se ukázalo 3D mapování soutokové oblasti AMJ pozemním laserovým skenerem, a to z důvodu nivelace podzemních hladin s co největší přesností +/-1 cm. S tímto vysoce přesným mapováním jsme započali v roce 2013, a to ve spolupráci s Ústavem Geoniky Akademie věd ČR, přičemž dnes máme k dispozici 3D model soutokové oblasti AMJ s délkou více než 3 km. Opakované 3D mapování jeskynních chodeb v systému AMJ slouží k posouzení přesunu štěrkových sedimentů po povodňových událostech.

V roce 2018 byla do Staré Amatérské jeskyně (dále STAM) instalována tlaková sonda s přenosem dat na internet. STAM je část jeskynního systému AMJ, která z hydrologického hlediska představuje drenážní přítok Bílé vody do soutokové oblasti AMJ. Protože charakter jeskynních chodeb v místě instalované sondy je příznivý i pro hydrometrická měření, vyhodnocujeme zde také průtokový režim podzemního toku Bílé vody, což se ukazuje jako velice přínosné z hlediska metodiky vyhodnocování průtoků samotných. Zimní hydrologický režim Bílé vody je totiž v krasovém podzemí neovlivněn zamrznutím toku, jinak běžným jevem na povrchových tocích nejen v Moravském krasu, ale v celé ČR. Vzhledem k tomu, že průtoky Bílé vody již od roku 1968 měříme nad jejím propadáním do podzemí – limnigrafická stanice Holštejn – máme tak v rukou nástroj k pochopení logiky zamrznutí a tání ledů na povrchových tocích a jeho využití pro zdokonalení metodiky ČHMÚ používané pro vyhodnocování zimních průtoků.

V poslední době se ve spolupráci s Českou speleologickou společností (dále ČSS) a Českou geologickou službou (dále ČGS) účastníme expedicí do krasových oblastí Balkánu. V roce 2024 jsme pro objevitelskou expedici vedenou ČSS zajišťovali batymetrické měření největšího podzemního hydrotermálního jezera na světě, nacházejícího se v Albánii. Batymetrické mapování proběhlo pomocí ADCP sonaru, na ČHMÚ běžně používaného pro měření průtoků větších vodních toků. Výsledkem tohoto měření je v prostředí GIS vytvořená vrstevnicová mapa 200 m dlouhého, 40 m širokého a až 7,5 m hlubokého jezera Neuron v propasti Atmos. V roce 2025 jsme ve spolupráci s ČSS a ČGS začali s hydrologickým výzkumem řeky Mrtvice v jejím krasovém kaňonu v pohorí Maganik v Černé Hoře. Tok Mrtvica drénuje jeskynní systém Vranštica, představující odtokovou část systému navazujícího na 1160 m hlubokou propast Iron Deep objevenou právě českými speleology. Zde je naším úkolem popsání hydrologického režimu vývěřů Mrtvice, což znamená monitoring kolísání hladin včetně vyhodnocování průtoků Mrtvice na více místech jejího povodí. Za tímto účelem jsme zde zatím instalovali tři malé improvizované limnigrafické stanice a provedli několik hydrometrických měření.

**Klíčová slova:** Amatérská jeskyně, Punkva, hydrometrická měření, 3D mapování, batymetrie, propast Atmos, Mrtvica

## CZECH HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE AND ITS HYDROLOGICAL RESEARCH OF KARST AREAS

Stanislav Lejska <sup>1\*</sup>, Barbora Špinarová <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Czech Hydrometeorological Institute, Kroftova 43, 616 00 Brno, Czech Republic

\*corresponding author: stanislav.lejska@chmi.cz

### ABSTRACT

Since 2009, our team of hydrologists from the Brno branch of the Czech Hydrometeorological Institute (hereinafter CHMI) has been continuously monitoring the underground flow of the Punkva River in the Amatérská Cave system (hereinafter AMJ) in the Moravian Karst. The Punkva river originates in the central part of the AMJ cave system at the confluence of two streams – Bílá voda and Sloupský potok, which have created a maze of passages with a specific hydrological regime in this part of the cave. This was the impetus for our research – to describe the hydrological conditions of the Punkva confluence area, or, to put it more dramatically, to find the source of Punkva. Therefore, since 2009, we have installed pressure probes at more than 30 locations in this part of the cave and its wider surroundings to measure water level fluctuations at ten-minute intervals. Some of the probes also allow data to be transmitted to the internet using transmission cables up to 1 km long. 3D mapping of the AMJ confluence area using a terrestrial laser scanner has proven to be very useful for understanding karst hydraulics, due to the levelling of underground levels with the highest possible accuracy of approx. 1 cm. We began this high-precision mapping in 2013 in cooperation with the Institute of Geonics of the Czech Academy of Sciences, and today we have a 3D model of the AMJ confluence area with a length of more than 3 km. Repeated 3D mapping of cave passages in the AMJ system is used to assess the movement of gravel sediments after flood events.

In 2018, a pressure probe with data transmission to the internet was installed in the Stará Amatérská Cave (hereinafter STAM). STAM is part of the AMJ cave system, which, from a hydrological point of view, represents the drainage inflow of Bílá voda into the AMJ confluence area. Because the nature of the cave passages at the site of the installed probe is also favorable for hydrometric measurements, we also evaluate the flow regime of the underground stream of Bílá voda here, which proves to be very beneficial in terms of the methodology of evaluating the flows themselves. The winter hydrological regime of Bílá voda is not affected by the freezing of the stream in the karst underground, which is otherwise a common phenomenon on surface streams not only in the Moravian Karst, but throughout the Czech Republic. Since we have been measuring the flow rates of Bílá voda above its underground sinkhole – the limnigraphic station Holštejn – since 1968, we have a tool for understanding the logic of freezing and thawing of ice on surface streams and its use for improving the CHMI methodology used to evaluate winter flow rates.

Recently, in cooperation with the Czech Speleological Society (CSS) and the Czech Geological Survey (CGS), we have been participating in expeditions to karst areas in the Balkans. In 2024, we provided bathymetric measurements of the world's largest underground hydrothermal lake, located in Albania, for an expedition led by the CSS. Bathymetric mapping was performed using ADCP sonar, commonly used at the CHMI to measure the flow rates of larger watercourses. The result of this measurement is a contour map created in a GIS environment of Lake Neuron, which is 200 m long, 40 m wide, and up to 7.5 m deep, located in the Atmos abyss. In 2025, in cooperation with the Czech Speleological Society and the Czech Geological Survey, we began hydrological research of the Mrtvica river in its karst canyon in the Maganik mountains in Montenegro. The Mrtvica river drains the Vranštica cave system, which is the drainage part of the system connected to the 1,160 m deep Iron Deep abyss discovered by Czech speleologists. Our task here is to describe the hydrological regime of the Mrtvica springs, which means monitoring water level fluctuations, including evaluating the flow rates of Mrtvica at several locations in its catchment area. To this end, we have so far installed three small improvised limnigraphic stations and carried out several hydrometric measurements.

**Keywords:** Amatérská Cave, Punkva River, hydrometric measurements, 3D mapping, bathymetry, Atmos Abyss, Mrtvica River

## VPLYV KONTROLOVANEJ HLADINY PODZEMNEJ VODY NA PROCESY VODNEJ BILANCIE V LYZIMETRI

Andrej Tall1<sup>1</sup>, Branislav Kandra<sup>1</sup>, Dana Pavelková<sup>1\*</sup>, Milan Gomboš<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ústav hydrologie SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: pavelkova@uh.savba.sk

### ABSTRAKT

Zavedenie vysoko citlivých vážitelných lyzimetrov umožnilo veľmi presné sledovanie zložiek vodnej bilancie pôdneho profilu a detailnejšie hodnotenie procesov prebiehajúcich v nenasýtenej zóne pôdy. Lyzimetre vybavené systémom regulácie hladiny podzemnej vody zároveň umožňujú priame meranie tokov na dolnej hranici prevzdušnenej zóny, najmä kapilárneho vztlínania vody z hladiny podzemnej vody a gravitačnej perkolácie smerom k nej. Tieto procesy sa v poľných podmienkach často určujú iba nepriamo, preto ich priame meranie predstavuje významný prínos pri hodnotení vodného režimu pôd a pri overovaní výsledkov simulačných modelov.

V tejto štúdií boli hodnotené zložky vodnej bilancie prachovito-hlinitého pôdneho profilu počas roka 2023. Merania sa uskutočnili pomocou vážitelného lyzimetra s regulovanou hladinou podzemnej vody, ktorá bola počas celého sledovaného obdobia udržiavaná v stálej hĺbke 1 m pod povrchom pôdy. Takto bola vymedzená zóna aerácie pôdneho profilu, v ktorej boli sledované zmeny zásoby vody, atmosférické vstupy a výstupy vody, ako aj výmena vody s hladinou podzemnej vody. Skúmaný pôdny profil bol pokrytý trávny porastom, vďaka čomu bolo možné hodnotiť vodnú bilanciu systému pôda – vegetácia – atmosféra v podmienkach blízkeho prirodzenému povrchu.

Udržiavanie stálej hladiny podzemnej vody si v suchších obdobiach vyžadovalo dopĺňanie vody do lyzimetra, zatiaľ čo v obdobiach s nadbytkom vody bolo potrebné vodu odčerpávať. Tento spôsob regulácie umožnil kvantifikovať obojsmerné toky vody na dolnej hranici zóny aerácie. Počas sledovaného obdobia sa kapilárnym vztlínaním dostalo z hladiny podzemnej vody do prevzdušnenej zóny 162 mm vody. V opačnom smere odtieklo gravitačnou perkoláciou smerom k hladine podzemnej vody 327 mm vody. Výsledky teda poukazujú na prevahu zostupného toku vody, čo súviselo najmä so zrážkovo nadpriemerným charakterom roka 2023 a s dostatočným dopĺňaním vody do pôdneho profilu z atmosférických zrážok.

Súčasne boli kvantifikované aj toky vody na hornej hranici lyzimetra. Výstup vody z pôdneho profilu predstavovala aktuálna evapotranspirácia, ktorá zahŕňa výpar z povrchu pôdy a transpiráciu vegetácie. Vstup vody tvorili predovšetkým zrážky a tzv. nezrážková voda. Do tejto skupiny patrí najmä rosa, hmľa, námraza a adsorpcia vodnej pary. Zahnutie týchto vstupov je dôležité pre presnejšie uzavretie vodnej bilancie, keďže aj menšie prírastky vody môžu byť presnými vážitelnými lyzimetrami zachytené a vyhodnotené. Takéto merania zároveň umožňujú rozlíšiť jednotlivé formy vstupu vody do pôdneho profilu a presnejšie posúdiť ich význam v celkovej bilancii.

Výsledky potvrdzujú, že vážitelné lyzimetre s regulovanou hladinou podzemnej vody sú vhodným nástrojom na detailné hodnotenie vodnej bilancie pôd. Umožňujú presne stanoviť nielen zrážkové vstupy a evapotranspiračné straty, ale aj výmenu vody medzi nenasýtenou a nasýtenou zónou pôdy. Získané údaje môžu byť využité pri hodnotení hydrologických procesov v pôdnom prostredí, pri analýze reakcie pôdneho profilu na rozdielne meteorologické podmienky a pri overovaní alebo spresňovaní simulačných modelov vodného režimu pôd. Význam týchto meraní spočíva aj v tom, že poskytujú experimentálne podložené informácie o procesoch, ktoré majú priamy vplyv na tvorbu odtoku, dopĺňanie zásob podzemnej vody a dostupnosť vody pre vegetáciu.

**Kľúčové slová:** vážitelný lyzimeter, kapilárny vzostup, perkolácia, evapotranspirácia

**PodĎakovanie:** Táto práca bola podporená projektom VEGA 2/0025/24.

## INFLUENCE OF CONTROLLED GROUNDWATER LEVEL ON WATER BALANCE PROCESSES IN A LYSIMETER

Andrej Tall1<sup>1</sup>, Branislav Kandra<sup>1</sup>, Dana Pavelková<sup>1\*</sup>, Milan Gomboš<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Hydrology SAS, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovak Republic

\*corresponding author: pavelkova@uh.savba.sk

### ABSTRACT

The introduction of highly sensitive weighable lysimeters has enabled very precise monitoring of the water-balance components of the soil profile and a more detailed assessment of processes occurring in the unsaturated zone of the soil. Lysimeters equipped with a groundwater-level control system also allow direct measurement of fluxes at the lower boundary of the aeration zone, particularly capillary rise from the groundwater level and gravitational percolation towards it. Under field conditions, these processes are often determined only indirectly; therefore, their direct measurement represents an important contribution to the assessment of the soil water regime and to the validation of simulation model results.

In this study, the water-balance components of a silt-loam soil profile were evaluated during 2023. Measurements were carried out using a weighable lysimeter with a controlled groundwater level, which was maintained at a constant depth of 1 m below the soil surface throughout the entire observation period. In this way, the aeration zone of the soil profile was defined, within which changes in water storage, atmospheric water inputs and outputs, and water exchange with the groundwater level were monitored. The investigated soil profile was covered with grass, which made it possible to assess the water balance of the soil–vegetation–atmosphere system under conditions close to a natural surface.

Maintaining a constant groundwater level required water to be supplied to the lysimeter during drier periods, while during periods of water surplus it was necessary to pump water out. This regulation enabled the quantification of bidirectional water fluxes at the lower boundary of the aeration zone. During the study period, 162 mm of water entered the aeration zone from the groundwater level through capillary rise. In the opposite direction, 327 mm of water drained by gravitational percolation towards the groundwater level. The results therefore indicate a predominance of downward water flow, which was mainly related to the above-average precipitation character of 2023 and the sufficient replenishment of the soil profile by atmospheric precipitation.

Water fluxes at the upper boundary of the lysimeter were also quantified. The outflow of water from the soil profile was represented by actual evapotranspiration, which includes evaporation from the soil surface and transpiration by vegetation. Water input consisted primarily of precipitation and so-called non-rain water. This category mainly includes dew, fog, hoarfrost, and water vapour adsorption. Including these inputs is important for a more accurate closure of the water balance, since even small water gains can be detected and evaluated by highly sensitive weighable lysimeters. Such measurements also make it possible to distinguish individual forms of water input into the soil profile and to assess their significance in the overall balance more precisely. The results confirm that weighable lysimeters with a controlled groundwater level are a suitable tool for the detailed assessment of soil water balance. They make it possible to accurately determine not only precipitation inputs and evapotranspiration losses, but also water exchange between the unsaturated and saturated zones of the soil. The obtained data can be used to evaluate hydrological processes in the soil environment, to analyse the response of the soil profile to different meteorological conditions, and to validate or refine simulation models of the soil water regime. The importance of these measurements also lies in the fact that they provide experimentally based information on processes that directly affect runoff formation, groundwater recharge, and water availability for vegetation.

**Keywords:** weighable lysimeter, capillary rise, percolation, evapotranspiration

**Acknowledgements:** This research was funded by the Scientific Grant Agency of the Ministry of Education, Research, Development and Youth of the Slovak Republic: (VEGA project No. 2/0025/24).

## VYPLAVOVANIE VYBRANÝCH LÁTOK Z DNOVÝCH SEDIMENTOV PO PRIDANÍ RIAS

Tatiana Kaletová <sup>1\*</sup>, Ľuboš Jurík <sup>1</sup>, Andrej Válek <sup>1,2</sup>, Anna Báreková <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra,  
Slovenská republika

<sup>2</sup>Slovenský vodohospodársky podnik, š. p. Povodie Dunaja, odštepny závod, Martinská 49, 821 05 Bratislava, Slovenská  
republika

\*korešpondenčný autor: tatiana.kaletova@uniag.sk

### ABSTRAKT

V súčasnosti narastá tlak na zvyšovanie produkcie poľnohospodárskych plodín, čo má vplyv na množstvo používaných hnojív na pôdu. Zároveň je zvyšovaný tlak na produkciu hnojív, čo okrem iného vedie k hľadaniu nových zdrojov živín pre rastliny. Cieľom laboratórneho experimentu bolo zistiť mieru vyplavovania látok z dnových sedimentov po pridaní sladkovodných rias obohatených živinami.

Laboratórny experiment v plastových nádobách prebiehal v kontrolovaných podmienkach pri vlhkosti vzduchu 45-50 %, teplote 20-22 °C a nastavení svetelných podmienok 12/12 h. Pre experiment boli využité dnové sedimenty z VN Blatné s hustotou 2,65 t/m<sup>3</sup>, pH 7,83, fosforom (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 0,227 mg/kg sušiny a celkovým dusíkom 0,0698 mg/kg sušiny (kontrola s označením Z1). Do sedimentu boli pridané riasy *Scenedesmus obliquus*, ktoré boli použité na odstránenie živín z procesnej odpadovej vody z mliekarenskej výroby (označenie Z2). Obe varianty mali tri opakovania. Vstupné parametre roztoku rias boli pH 8,35, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 4,44 mg/l a NO<sub>3</sub>-N 4,31 mg/l. Riasy predstavovali podiel 2,5% objemu zmesi. Experiment prebiehal 21 dní, pričom zmesi boli trikrát zaliate demineralizovanou vodou objemom zodpovedajúcim zrážke 13 mm v rozostupe 7 dní. V pretečenej vode boli pomocou spektrofotometra DR6000 (spoločnosť Hach) a príslušných reagencií analyzované koncentrácie dusičnanov (NO<sub>3</sub>-N) a fosforečnanov (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Vzorky sedimentu a zmesi sedimentu a rias pred a po experimente boli analyzované v akreditovanom laboratóriu.

Z výsledkov vyplýva, že v oboch prípadoch koncentrácie dusičnanov vo vyplavenej vode postupne klesali (Z1 z 113,93 na 39,13 mg/l; Z2 z 98,16 na 12,65 mg/l), zatiaľ čo hodnoty ortofosforečnanov vo vode narastali (Z1 z 1,01 na 1,74 mg/l; Z2 z 0,73 na 1,29 mg/l). Obsah fosforu v kontrole ako aj zmesi len mierne poklesol, pri Z1 o 12 %, pri Z2 len 1%. Porovnateľné výsledky boli aj pri celkovom dusíku, kde koncentrácie poklesli o 5 (Z1), resp. 2 % (Z2). Počas experimentu boli zistené, že použité množstvo rias nemalo významný vplyv na zmenu vyplavovaných živín z pôdy, i keď v prípade aj pri samotnej pôde/sedimente a vo vode boli hodnoty skôr nižšie ako v len v samotnom sedimente.

**Kľúčové slová:** sedimenty, vyplavovanie dusíka, vyplavovanie fosforečnanov, riasy

**Pod'akovanie:** Financované EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č. 09I01-03-V04-00075/2025/VA.

## LEACHING OF SELECTED SUBSTANCES FROM BOTTOM SEDIMENTS FOLLOWING THE ADDITION OF ALGAE

Tatiana Kaletová <sup>1\*</sup>, Ľuboš Jurík <sup>1</sup>, Andrej Válek <sup>1,2</sup>, Anna Báreková <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Horticulture and Landscape Engineering, Slovak University of Agriculture in Nitra, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovakia

<sup>2</sup> Slovak Water Management Enterprise, s. e., Danube catchment, branch office, Martinská 49, 821 05 Bratislava, Slovakia

\*corresponding author: tatiana.kaletova@uniag.sk

### ABSTRACT

Currently, there is growing pressure to increase the production of agricultural crops, which affects the amount of fertilizer applied to the soil. At the same time, there is increasing pressure on fertilizer production, which, among other things, leads to the search for alternative sources of plant nutrients. The aim of the laboratory experiment was to determine the rate of leaching of substances from bottom sediments after the addition of nutrient-enriched freshwater algae.

The laboratory experiment in plastic containers was conducted under controlled conditions at 45–50% relative humidity, a temperature of 20–22 °C, and a 12/12-hour light cycle. Bottom sediments from the Blatné Reservoir with a density of 2.65 t/m<sup>3</sup>, pH 7.83, phosphorus (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 0.227 mg/kg dry weight, and total nitrogen 0.0698 mg/kg dry weight (control designated Z1) were used for the experiment. *Scenedesmus obliquus* algae were added to the sediment; these had been used to remove nutrients from process wastewater from dairy production (designated Z2). Both variants had three replicates. The initial parameters of the algae solution were pH 8.35, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 4.44 mg/L, and NO<sub>3</sub>-N 4.31 mg/L. The algae constituted 2.5% of the mixture's volume. The experiment lasted 21 days, during which the mixtures were flushed three times with demineralized water in a volume corresponding to 13 mm of rainfall at 7-day intervals. In the overflow water, the concentrations of nitrates (NO<sub>3</sub>-N) and phosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) were analysed using a DR6000 spectrophotometer (Hach) and appropriate reagents. Samples of sediment and mixtures of sediment and algae before and after the experiment were analysed in an accredited laboratory.

The results show that in both cases, nitrate concentrations in the leachate gradually decreased (Z1 from 113.93 to 39.13 mg/L; Z2 from 98.16 to 12.65 mg/L), while orthophosphate levels in the water increased (Z1 from 1.01 to 1.74 mg/L; Z2 from 0.73 to 1.29 mg/L). The phosphorus content in both the control and the mixture decreased only slightly, by 12% in Z1 and by only 1% in Z2. Comparable results were also observed for total nitrogen, where concentrations decreased by 5% (Z1) and 2% (Z2), respectively. During the experiment, it was found that the number of algae used had no significant effect on the change in nutrients leached from the soil, although in the case of both the soil/sediment and the water, the values were lower than in the sediment alone.

**Keywords:** sediments, leaching of nitrogen, leaching of phosphates, algae

**Acknowledgements:** Funded by the EU NextGenerationEU through the Recovery and Resilience Plan for Slovakia under the project No. 09I01-03-V04-00075/2025/VA.

## PESTICÍDY VO VODÁCH SLOVENSKA

Andrea Májovská\*, Ivan Bartík, Jana Döményová, Anna Molnárová, Andrea Ľuptáková,  
Jaroslava Urbancová, Zuzana Paľušová

<sup>1</sup>Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, P.O.BOX 15, 833 15 Bratislava

\*korešpondenčný autor: andrea.majovska@shmu.sk

### ABSTRAKT

Monitorovanie povrchových a podzemných vôd na Slovensku sa vykonáva na základe Rámcového programu monitorovania vôd Slovenska (RPM), v šesťročných cykloch, v zmysle Smernice Európskeho parlamentu a Rady 2000/60/ES (Rámcová smernica o vode), v gescii Ministerstva životného prostredia SR. Cieľom tohto príspevku je prezentovanie výsledkov monitorovania povrchových a podzemných vôd so zameraním na pesticídne látky používané v poľnohospodárstve. Do hodnotenia boli využité údaje z databázy Súhrnej evidencie o vodách na SHMÚ, za obdobie rokov 2015-2024. Látky stanovené nad limit kvantifikácie (LOQ) v povrchových a podzemných vodách budú zároveň slúžiť ako indikátor poľnohospodárskej činnosti, v budúcej revízii zraniteľných oblastí, v rámci pravidelného cyklu reportovania Smernice Rady 91/676/ EHS o ochrane vôd pred znečistením dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov.

V hodnotení pesticídnych látok v povrchových vodách boli využité výsledky z monitorovania prioritných látok, relevantných látok a sledovaných látok podľa Vykonávacieho rozhodnutia Komisie (EÚ) 2025/439, ktoré tieto látky majú zaradené v ich zoznamoch. Hodnotenú boli účinné látky a ich produkty rozpadu (metabolity), ktoré sú súčasťou prípravkov na ochranu rastlín používaných v poľnohospodárstve proti rôznym nežiadúcim účinkom, napr. húb a plesní (fungicídy), burín (herbicídy) a hmyzu (insekticídy) na pestovaných plodinách. V hodnotenom období bolo v 1071 monitorovacích miestach hodnotených 79 pesticídnych látok, pričom bolo vykonaných 417 137 analytických stanovení. Z tohto počtu len 0,6 % boli hodnoty nad LOQ, čo predstavuje 2442 stanovení (50 látok). Až 29 látok malo analýzy stanovené len pod LOQ (71 337 stanovení). Z celého zoznamu látok boli prekročené environmentálne normy kvality (ENK) v zmysle Nariadenia vlády SR č. 167/2015 Z. z. pre chlórpyrifos (1 prekročenie), endosulfán (1 prekročenie),alachlór (3 prekročenia) a izoproturón (1 prekročenie), v 5 miestach v čiastkových povodiach Hrona, Dunaja a Váhu.

V podzemnej vode sa výsledky vyhodnocujú porovnaním s limitnými hodnotami v zmysle Vyhlášky MZ SR č. 91/2023 Z. z. a Rozhodnutia Úradu verejného zdravotníctva SR. Pesticídy v podzemnej vode sú sledované v 351 objektoch štátnej hydrologickej siete SHMÚ (ŠHS), v ktorých sa cielene sleduje 110 pesticídov a ich metabolitov. V hodnotenom období bolo v objektoch ŠHS odobratých 3326 vzoriek podzemných vôd, z ktorých bolo vykonaných 196 447 analytických stanovení pesticídov a ich metabolitov. Z celkového počtu bolo nad LOQ zaznamenaných 3 762 stanovení, čo predstavuje 1,69 % (79 látok). Prekročenie limitných hodnôt bolo zaznamenané v 513 prípadoch. V hodnotenom období najčastejšie prekračovali limitné hodnoty desetylatrazín (82 prekročenie), prometrín (73 prekročenie), glyfosát (58 prekročenie), atrazín (55 prekročenie), terbutrín (26 prekročenie) a S-metolachlór (21 prekročenie).

Podrobnejšia analýza bola venovaná hodnoteniu atrazínu a jeho metabolitov v povrchových a podzemných vodách. Používanie atrazínu bolo povolené len do roku 2005, napriek tomu sa v podzemnej vode stále vyskytuje, dokonca v nadlimitných koncentráciách. V 114 objektoch bola zaznamenaná prítomnosť atrazínu v koncentráciách nad LOQ, pričom v 22 objektoch atrazín prekročil limitnú hodnotu. Jeho metabolit desetylatrazín bol ukazovateľom s najvyšším počtom prekročení limitnej hodnoty v 24 objektoch. V povrchovej vode boli analýzy atrazínu a jeho metabolitov vykonané v 956 monitorovacích miestach, z ktorých koncentrácie nad LOQ boli zistené v 72 miestach, pričom v nich nebola prekročená ENK.

**Kľúčové slová:** povrchová voda, podzemná voda, pesticídy, účinná látka, metabolity

## PESTICIDES IN WATERS OF SLOVAKIA

Andrea Májovská\*, Ivan Bartík, Jana Döményová, Anna Molnárová, Andrea Ľuptáková,  
Jaroslava Urbancová, Zuzana Paľušová

<sup>1</sup> Slovak Hydrometeorological Institute, Jeseniova 17, P.O.BOX 15, 833 15 Bratislava, Slovak Republic

\* corresponding author: andrea.majovska@shmu.sk

### ABSTRACT

The Framework Program for Monitoring the Waters of Slovakia (RPM) is carried out in six-year cycles, in accordance with the Directive of the European Parliament and of the Council 2000/60/EC (Water Framework Directive), under the responsibility of the Ministry of the Environment of the Slovak Republic. The results from the Monitoring Programme are stored in the Central Water Register database at the Slovak Hydrometeorological Institute (SHMI). The aim of this contribution is to present the results of surface water and groundwater monitoring with a focus on pesticide substances used in agriculture. The evaluation used data for the period 2015-2024. Substances detected above the limit of quantification (LOQ) in surface water and groundwater will serve also as an indicator of agricultural activity in the future revision of vulnerable areas, within the regular reporting cycle of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources.

The monitoring of priority substances, relevant substances and substances from the Watch list in accordance with Commission Implementing Decision (EU) 2025/439 allowed the selection of pesticide substances in surface water for this assessment. The evaluated compounds comprised active substances and their degradation products (metabolites), which are components of plant protection products used in agriculture against various pests, e.g. fungi and moulds (fungicides), weeds (herbicides) and insects (insecticides) affecting cultivated crops. In the evaluated period, 79 pesticide substances were assessed at 1,071 monitoring sites, with 417,137 analytical determinations being carried out. Of these, only 0.6% exceeded the LOQ, representing 2,442 determinations (50 substances). As many as 29 substances were detected exclusively below the LOQ (71,337 determinations). From the entire list of substances, environmental quality standards (EQS), pursuant to Government Regulation of the Slovak Republic No. 167/2015 Coll., were exceeded for chlorpyrifos (1 exceedance), endosulfan (1 exceedance), alachlor (3 exceedances) and isoproturon (1 exceedance) at 5 monitoring sites within the Hron, Danube and Váh rivers sub-basins.

In groundwater, the results are evaluated by comparing them with limit values pursuant to Decree of the Ministry of Health of the Slovak Republic No. 91/2023 Coll. and the Decision of the Public Health Authority of the Slovak Republic. Pesticides in groundwater are monitored in 351 sampling sites of the SHMI State Hydrological Network (SHN), where 110 pesticides and their metabolites are monitored. In the evaluated period, 3,326 groundwater samples were collected from SHN sites, resulting in 196,447 analytical determinations of pesticides and their metabolites. Of the total number, 3,762 determinations exceeded the LOQ, represents 1.69% (79 substances). Exceedances of limit values were recorded in 513 cases. In the evaluated period, the substances most frequently exceeding the limit values were desethylatrazine (82 exceedances), prometryn (73 exceedances), glyphosate (58 exceedances), atrazine (55 exceedances), terbutryn (26 exceedances) and S-metolachlor (21 exceedances).

Atrazine was permitted for use only until 2005, but it still occurs in groundwater, even in concentrations above the limit. Therefore, more attention was devoted to the assessment of this substance and its metabolites in surface water and groundwater. Atrazine concentrations above the LOQ were recorded at 114 sampling sites, while the limit value was exceeded at 22 sampling sites. Its metabolite desethylatrazine showed the highest number of limit value exceedances, occurring at 24 sampling sites. In surface water, atrazine and its metabolites were analysed at 956 monitoring sites, of which concentrations above the LOQ were found in 72 sites; however, no EQS exceedances were recorded.

**Keywords:** surface water, groundwater, pesticides, active substance, metabolites

# KVALITA POVRCHOVEJ VODY S OHĽADOM NA ELEKTRICKÚ VODIVOSŤ, CELKOVÉ MNOŽSTVO ROZPUSTENÝCH LÁTKOK A pH NA PODUNAJSKEJ NÍŽINE

Viera Kováčová<sup>1\*</sup>, Radoslav Schügerl<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ústav hydrologie SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: kovacova@uh.savba.sk

## ABSTRAKT

Chemické a biologické procesy prebiehajúce vo vode môžu významne ovplyvniť elektrickú vodivosť, celkové rozpustené látky a pH vody. Zistila sa všeobecne rastúca tendencia týchto troch faktorov v pozdĺžnom profile toku kanálov Podunajskej nížiny: Komárňanský, Chotárny kanál a Gabčíkovo-Topoľnícky kanál. Pozorovali sme pravidelnosť v sezónnej dynamike pH, vodivosti a celkových rozpustených látok. Miesto odberu vzoriek malo väčší vplyv na tieto faktory ako sezónna dynamika.

Boli preskúmané najnovšie poznatky o súčasnom stave a hlavných mechanizmoch zhoršovania kvality vody, kritériách hodnotenia a hodnotenia ovplyvňujúcich faktoroch. Zmeny v atmosfére, periodicita výskytu extrémnych hydrologických situácií sa v posledných rokoch zvyšuje. V prírodných podmienkach Slovenska sa predlžujú obdobia bez dažďa a zvyšuje sa výskyt zrážok extrémnej intenzity a výdatnosti. Hydrologické extrémny sa vo všeobecnosti prejavujú vo forme povodní a sucha. Zvýšený výskyt sucha je novým javom.

Zmena klímy v posledných rokoch výrazne ovplyvnila aj extrémne sucho, povodne a kvalitu povrchovej vody. Neantropogénna a antropogénna činnosť má vplyv na parametre hydrologického režimu riek, čo môže viesť k negatívnym vplyvom na povrchovú vodu. Preto je potrebné monitorovať zmeny v množstve a kvalite vody v tokoch. Čiastkovým cieľom bolo zhodnotiť eutrofický stav vody v povodí Dunaja na základe posúdenia fyzikálno-chemických a mikrobiologických ukazovateľov v sledovanom období. Medzi hlavné faktory ovplyvňujúce eutrofizáciu vody patrí obohatenie živinami, hydrodynamika, environmentálne faktory ako teplota, slanosť, oxid uhličitý, elementárna bilancia, mikrobiálna a biodiverzita.

Postupné otepľovanie na Podunajskej nížine vedie k stavu, ktorého vplyv na odtok povrchovej vody je veľký. V tejto súvislosti je potrebné pochopiť zmenu hydrologického režimu, aby sa zabezpečili najlepšie nástroje rozhodovania pre hospodárenie s vodou.

Zdroje povrchovej vody, závislé od veľmi nepravidelných zrážok, sa v dôsledku klimatických zmien čoraz viac obmedzujú, čo vedie k poklesu zrážok, zvyšovaniu teploty a následne k vyššiemu odparovaniu. Dlhodobé obdobia s nízkym množstvom zrážok v povodiach spôsobujú hydrologické sucho, ktoré sa v riekach prejavuje ako nízke prietoky. Táto štúdia sa zamerala na Podunajskú nížinu: región, ktorý je zraniteľný voči dlhotrvajúcim, viacročným suchám, ktoré majú značný vplyv na zdroje podzemnej vody a ktorý čelí rastúcemu tlaku na hospodárenie s vodou. Na posúdenie stavu povrchových vôd sme určovali index stavu celkových parametrov (TPSI). TPSI dosahuje hodnoty 1 – 10.

**Kľúčové slová:** kvalita vody, klimatické zmeny, hydrologický režim nížinných tokoch

**Pod'akovanie:** Táto práca bola podporená projektom VEGA 2/0028/23 Sezónne variácie hydrodynamických a morfológických parametrov v nížinných rastlinných riekach.

## QUALITY OF SURFACE WATER WITH REGARD TO ELECTRICAL CONDUCTIVITY, TOTAL DISSOLVED SOLIDS AND pH IN THE DANUBE LOWLAND

Viera Kováčová<sup>1\*</sup>, Radoslav Schügerl<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Hydrology SAS, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovak Republic

\*corresponding author: kovacova@uh.savba.sk

### ABSTRACT

Chemical and biological processes taking place in the water can significantly affect electrical conductivity, total dissolved solids and pH of the water. A generally increasing tendency was found of these three factors in the longitudinal profile of the water course of Danube Lowland canals: Komárňanský Canal, Chotárny Canal, Gabčíkovo-Topoľníky Canal. We observed regularity in the seasonal dynamics of pH, conductivity and total dissolved solids. The sampling location had a greater influence on the three factors, than the seasonal dynamics.

The recent advances in current status and major mechanisms of water quality worsening, assessment and evaluation criteria and the influencing factors were reviewed. The changes in the atmosphere, the periodicity of the occurrence of extreme hydrological situations has been increasing in recent years. In the natural conditions of Slovakia, periods without rain are lengthening and the incidence of precipitation of extreme intensity and abundance is increasing. Hydrological extremes are generally manifested in the form of floods and droughts. The increased incidence of drought is a new phenomenon.

Gradual warming on the Danubian Lowland is experiencing conditions whose impact on surface water runoff is considerable. In this context, it is necessary to understand the hydrological regime change to provide the best decision tools for water management.

Climate change in recent years has also greatly affected extreme drought, floods and surface water quality too. Non-anthropogenic and anthropogenic activity have an impact on the parameters of the hydrological regime of rivers, potentially leading to negative effects on the surface water. Therefore, monitoring changes in the quantity and quality of water in streams is necessary. The partial aim was to evaluate eutrophic state of water in Danube River basin following the assessment physical-chemical and microbiological indicators in monitored period. The major influencing factors on water eutrophic include nutrient enrichment, hydrodynamics, environmental factors such as temperature, salinity, carbon dioxide, element balance, microbial and biodiversity.

Surface water resources, dependent on very irregular rains become increasingly limited, because of climate change resulting in decreasing precipitations, rising temperature and consequently higher evaporation. Long-term periods of little rain in catchment areas bring about hydrological drought that manifests in rivers as low flows. This study has focused Danube Lowland: a region that is vulnerable to long duration, multi-annual droughts that have substantial impacts on groundwater resources, and which is facing increasing pressures on water management.

Generally, the physical and chemical evaluation parameters were used to assess water deterioration, mainly temperature, pH, nutrient concentration (N and P), algal chlorophyll<sub>a</sub>, conductivity, total dissolved solids, water transparency and dissolved oxygen. Although there are many different assessment parameters. We estimated total parameters status index (TPSI) to assess the state of surface water. TPSI reaches values 1 – 10.

**Keywords:** water quality, climate change, hydrological regime of lowland canals

**Acknowledgements:** This work was supported by the VEGA 2/0028/23 Seasonal variations of hydrodynamical and morphological parameters in lowland vegetable rivers.

## VARIABILITA ODTOKŮ DLE METODY SCS CN V ZÁVISLOSTI NA POUŽITÝCH PODKLADECH

Radovan Tyl<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha, Česká republika

\*korespondenční autor: radovan.tyl@chmi.cz

### ABSTRAKT

Cílem práce bylo vyhodnotit vliv různých vstupních podkladů na výsledné hodnoty odtokového čísla SCS Curve Number (CN) a z nich odvozený přímý odtok. Studie se zaměřuje na vliv změn ve využití území (Corine Land Cover z programu Copernicus), aktualizací hydrologických skupin půd a zahrnutí sklonitosti terénu jako faktoru ovlivňujícího hydrologickou odezvu. Analýza byla provedena na úrovni povodí 4. řádu s cílem identifikovat citlivost výsledků na jednotlivé vstupy.

Odhad odtoku byl proveden metodou SCS CN, která vyjadřuje vztah mezi srážkou, retencí území a výsledným odtokem pomocí odtokového čísla CN. Toto číslo je určeno kombinací hydrologické skupiny půdy a typu využití území (Dingman, 2015).

Vstupní data zahrnují:

- hydrologické skupiny půd (HSP, data poskytl Výzkumný ústav monitoringu a ochrany půdy ve variantách z roku 2007 a 2022),
- využití území z databáze Copernicus Corine Land Cover (CLC, z let 1990–2018),
- digitální model reliéfu pro odvození sklonitosti.

Specifickým prvkem metodiky v Českém hydrometeorologickém ústavu je zahrnutí sklonitosti terénu do výpočtu CN, kdy jsou území klasifikována do hydrologických skupin podle průměrného sklonu (A–D). Bylo vytvořeno několik variant CN lišících se kombinací vstupních dat (CLC, HSP, zahrnutí/nezahrnutí sklonitosti). Výpočty probíhaly na úrovni polygonů povodí 4. řádu. Pro každou variantu byl vypočten odtok pro návrhovou srážku  $P_{100}$  (1 denní).

Analýza ukázala rozdílný význam jednotlivých vstupních faktorů:

- **Využití území (CLC):** změny mezi jednotlivými roky mají minimální dopad na průměrné hodnoty CN; ve většině povodí se rozdíly pohybují do 1 %.
- **Hydrologické skupiny půd:** aktualizace dat HSP vedou k významnějším změnám hodnot CN, zejména v oblastech horní Teplé, Vltavy, Malše, Sázavy a Javořické vrchoviny, kde bylo zaznamenáno zhoršení infiltračních vlastností půd.
- **Sklonitost a retenční kapacita:** zahrnutí sklonitosti systematicky zvyšuje hodnoty CN a tím i odhadovaný odtok, výrazné rozdíly v odtoku jsou při hodnotách CN na spodní hranici stupnice.

Závěrem lze konstatovat, že zatímco změny ve využití území mají na úrovni povodí 4. řádu omezený vliv na odtokové charakteristiky, aktualizace půdních dat a zejména zahrnutí sklonitosti významně ovlivňují výsledné hodnoty CN i modelovaný odtok. Pro hydrologické modelování a návrhové výpočty je proto zásadní věnovat pozornost kvalitě a aktuálnosti vstupních dat a zvážit zahrnutí topografických faktorů do výpočtu CN.

### Literatura

Dingman S. L. (2015): *Physical hydrology*

**Klíčová slova:** SCS CN, odtok z povodí, srážkoodtokové modelování

**Poděkování:** Práce vznikla v rámci výzkumného projektu „SS02030027 Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu“

## RUNOFF VARIABILITY ACCORDING TO THE SCS CN METHOD DEPENDING ON THE DATA SOURCES USED

Radovan Tyl<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Czech hydrometeorological institute, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Prague, Czechia

\*Corresponding author: radovan.tyl@chmi.cz

### ABSTRACT

The aim of the work was to evaluate the influence of various input datasets on the resulting values of the SCS Curve Number (CN) runoff coefficient and the direct runoff derived from it. The study focuses on the impact of changes in land use (Corine Land Cover from the Copernicus program), updates of hydrological soil groups, and the inclusion of terrain slope as a factor affecting the hydrological response of a catchment. The analysis was performed at the 4<sup>th</sup> order catchment level with the aim of identifying the sensitivity of the results to individual inputs.

A runoff was estimated using the SCS CN method, which expresses the relationship between precipitation, catchment retention, and runoff using the CN curve number. This number is determined by the combination of the hydrological soil group and the type of land use (Dingman, 2015).

Input data include:

- hydrological soil groups (HSG; data provided by the Research Institute for Soil Monitoring and Protection in variants from 2007 and 2022),
- land use from the Copernicus Corine Land Cover database (CLC, for the years 1990–2018),
- a digital elevation model used to derive terrain slope.

A specific element of the methodology at the Czech Hydrometeorological Institute is the inclusion of terrain slope in the CN calculation, where areas are classified into hydrological groups according to average slope (A–D). Several CN variants were created, differing in the combination of input data (CLC, HSP, inclusion/exclusion of slope). Calculations were performed at the 4<sup>th</sup> order catchment level polygons. For each variant, the runoff for the design 1-day precipitation  $P_{100}$  was calculated.

The analysis showed different levels of importance for the individual input factors:

- **Land use (CLC):** changes between different years have a minimal impact on average CN values; in most catchments, the differences are within 1%.
- **Soil hydrological groups:** updates to HSG data lead to more significant changes in CN values, especially in the upper Teplá, Vltava, Malše, Sázava, and Javořícká Highlands regions, where a deterioration of soil infiltration properties was observed.
- **Slope and retention capacity:** slope consideration systematically increases CN values and thus the estimated runoff; significant differences in runoff occur at CN values at the lower end of the scale.

In conclusion, while land use changes have a limited impact on runoff characteristics at the level of 4<sup>th</sup> order catchments, updates to soil data and, in particular, the slope consideration significantly affect the CN values and the modeled runoff. For hydrological modeling and design calculations, it is therefore important to pay attention to the quality and timeliness of input data and to consider inclusion of topographic factors in CN values calculations.

### Literature

Dingman, S. L. (2015): *Physical Hydrology*

**Keywords:** SCS CN, catchment runoff, rainfall–runoff modeling

### Acknowledgement:

This work was created within the framework of the research project "SS02030027 Water systems and water management in the Czech Republic under climate change conditions"



**Sekcia 2 Hydrologický cyklus v podmienkach globálnej zmeny**

**Section 2 Hydrological cycle under global change conditions**

## BIAS-KORIGOVANÉ CMIP6 1 KM PROJEKČIE PRE SLOVENSKO A HYDROLOGICKÉ INDEXY RIZIKA DO 2100

Jozef Pecho<sup>1\*</sup>, Viera Rattayová<sup>1</sup>, Milan Onderka<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Regionálny klimatický inštitút (RCI / Regioclim), Bratislava, Slovenská republika

<sup>2</sup> Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: j.pecho@regioclim.eu

### ABSTRAKT

Robustné regionálne klimatické projekcie v hydrologicky relevantnom rozlíšení sú nevyhnutným podkladom pre dlhodobé plánovanie vodných zdrojov, manažment sucha a hydrologickú adaptáciu na Slovensku. V tomto príspevku prezentujeme novú generáciu bias-korigovaných CMIP6 projekcií pre Slovensko v dennom kroku a 1 km priestorovom rozlíšení, postavenú na 20-modelovom ensembli pre štyri scenáre SSP (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5) v období 1981–2014 (historické) a 2015–2100 (projekcie), spolu s odvodeným systémom 15 hydroklimatických indexov rizika.

Bias-korekcia denných polí teploty, zrážok, relatívnej vlhkosti a vetra bola realizovaná metódou Quantile Delta Mapping s kvantilmi voči referenčnému datasetu E-OBS-v28 v kalibračnom okne 1980–2014. Reziiduálne biasy v testovaných premenných sa po korekcii znížili o 1–2 rády (priemerné absolútne odchýlky < 0,4 °C pre teplotu, ±20 % pre zrážky), pričom mesačný chod plošných priemerov dosiahol vysokú zhodu s pozorovanými hodnotami pre všetkých 20 modelov. Downscaling z natívneho rozlíšenia CMIP6 (~1,25°) na 1 km mriežku Slovenska bol vykonaný v dvoch krokoch: bilineárna interpolácia s následnou lapse-rate korekciou (na mesačnej báze s DTR-aware detekciou zimných teplotných inverzií zachytávajúcou chladné kotliny), orografickým zosilnením zrážok a Clausius-Clapeyronovou rekorekciou relatívnej vlhkosti voči korigovanej teplote.

Výsledky pre referenčné mestá (Bratislava-Koliba, Košice, Žilina, Banská Bystrica, Poprad) a horizont 2071–2100 v scenári SSP5-8.5 ukazujú v Bratislave nárast horúcich dní (HD30) z 15,8 na 71,4 dní/rok (+352 %). Počet po sebe nasledujúcich dní bez zrážok stúpne do roku 2100 o 13 %, deficit tlaku vodnej pary sa približne zdvojnásobí, čo povedie k výrazným zmenám evapotranspirácie a pôdnej vlhkosti vrátane zmeny ich sezónnej distribúcie. Pokles mrazových dní zo 92 na 41 (–56 %) a takmer úplná strata januárovej snehovej pokrývky môžu viesť k zmene sezonality prietokov a k nástupu hydrologického aj pôdneho sucha už v skorých jarných mesiacoch. Letný úhrn zrážok poklesnú o ~28 %, zatiaľ čo zimné úhrny narastú o ~15 %. Výsledky naznačujú výraznú zmenu hodnôt a distribúcie členov hydrologickej bilancie, čo prinesie zmenu hydrologického režimu krajiny a sezónnej distribúcie prietokov.

**Kľúčové slová:** CMIP6, bias-korekcia QDM, 1 km downscaling, Slovensko, hydroklimatické indexy, sucho, snehová pokrývka, ensemble projekcie SSP

**Pod'akovanie:** Práca vznikla v rámci aktivít Regionálneho klimatického inštitútu (Regioclim) a využíva výpočtové zdroje Národného superpočítačového centra Devana (projekt p1894-26-t). Dáta CMIP6 boli získané cez Copernicus Climate Data Store; referenčný dataset E-OBS v28 cez ECA&D.

## BIAS-CORRECTED 1 KM CMIP6 PROJECTIONS FOR SLOVAKIA AND HYDROCLIMATIC RISK INDICES TOWARDS 2100

Jozef Pecho <sup>1\*</sup>, Viera Rattayová <sup>1</sup>, Milan Onderka <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Regional Climate Institute (RCI / Regioclim), Bratislava, Slovak Republic

<sup>2</sup> Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic

\*corresponding author: j.pecho@regioclim.eu

### ABSTRACT

Robust regional climate projections at hydrologically relevant resolution are an essential basis for long-term water resource planning, drought management, and hydrological adaptation in Slovakia. In this paper, we present a new generation of bias-corrected CMIP6 projections for Slovakia at a daily time step and 1 km spatial resolution, based on a 20-model ensemble for four SSP scenarios (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5) covering the periods 1981–2014 (historical) and 2015–2100 (projections), together with a derived system of 15 hydroclimatic risk indices.

Bias correction of daily fields of temperature, precipitation, relative humidity, and wind was performed using the Quantile Delta Mapping method with quantiles referenced against the E-OBS-v28 dataset within the calibration window 1980–2014. Residual biases in the tested variables were reduced by 1–2 orders of magnitude after correction (mean absolute deviations < 0.4 °C for temperature, ±20 % for precipitation), with the monthly cycle of areal means achieving high agreement with observed values across all 20 models.

Downscaling from the native CMIP6 resolution (~1.25°) to a 1 km grid over Slovakia was performed in two steps: bilinear interpolation followed by a lapse-rate correction (depending on the month, with DTR-aware detection of winter temperature inversions capturing cold basins), orographic precipitation enhancement, and a Clausius-Clapeyron recorection of relative humidity against the corrected temperature.

Results for reference cities (Bratislava-Koliba, Košice, Žilina, Banská Bystrica, Poprad) and the 2071–2100 horizon under the SSP5-8.5 scenario show an increase in hot days (HD30) in Bratislava from 15.8 to 71.4 days/year (+352 %). The number of consecutive dry days is projected to increase by 13 % by 2100, and vapour pressure deficit will approximately double, leading to significant changes in evapotranspiration and soil moisture, including shifts in their seasonal distribution. The decline in frost days from 92 to 41 (–56 %) and the near-complete loss of January snow cover may lead to changes in streamflow seasonality and the onset of both hydrological and soil drought as early as the spring months. Summer precipitation totals decrease by ~28 %, while winter totals increase by ~15 %. The results indicate a substantial change in the magnitude and distribution of hydrological balance components, which will bring about a shift in the hydrological regime of the landscape and the seasonal distribution of streamflow.

**Keywords:** CMIP6, QDM bias correction, 1 km downscaling, Slovakia, hydroclimatic indices, drought, snow cover, SSP ensemble projections

**Acknowledgements:** The work was carried out within the activities of the Regional Climate Institute (Regioclim) and uses computational resources of the Devana National Supercomputing Centre (project p1894-26-t). CMIP6 data were obtained via the Copernicus Climate Data Store; the reference E-OBS v28 dataset via ECA&D.

## NÁVRHOVÉ HODNOTY ZRÁŽOK NA SLOVENSKU: OD HISTORICKÝCH METÓD K ZOHLADNENIU KLÍMY

Milan Onderka<sup>1,2\*</sup>, Silvia Kohnová<sup>1</sup>, Roman Výleta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11,  
810 05, Slovenská republika

<sup>2</sup> Regionálny klimatologický inštitút, Plavecký Štvrtok 794, 900 68, Slovensko

\* korešpondenčný autor: milan.onderka@stuba.sk

### ABSTRAKT

Najstaršie odhady návrhových hodnôt zrážok, najmä vo forme IDF kriviek, možno na území Slovenska datovať už na prelome 19. a 20. storočia, teda do obdobia začiatku systematických zrážkových pozorovaní. Ich využitie bolo spojené prevažne s návrhom stokových sietí v urbanizovanom prostredí. Problematike určovania IDF kriviek sa v minulosti venovalo viacero autorov z rôznych výskumných pracovísk, pričom používané metodické prístupy sa postupne vyvíjali od empirických postupov a klasickej frekvenčnej analýzy až po moderné prístupy založené na Bayesovskej inferencii, regionálnej frekvenčnej analýze, škálovacích metódach a tvorbe gridových produktov. V kontexte meniacej sa klímy a nestacionarity extrémnych zrážok sa však čoraz viac zdôrazňuje potreba pravidelnej aktualizácie IDF kriviek a integrácie klimatických modelov do metodík spracovania návrhových dažďov. Naším cieľom je predstaviť jednak prehľad historických metód používaných pri odhade návrhových dažďov na území Slovenska a v širšom stredoeurópskom priestore, ale aj návrh metodiky na tvorbu novej generácie atlasu návrhových hodnôt dažďa pre celé územie Slovenska, ktorý bude zohľadňovať zmenu klímy. V rámci nej budú ako podklad pre odhad návrhových hodnôt dažďa použité ročné maximá pozorované v štátnej meteorologickej sieti počas referenčného obdobia 1995–2025, pričom bude využitá stacionárna aj nestacionárna forma GEV rozdelenia v kombinácii s hierarchickými Bayesovskými modelmi. Tento prístup umožní zohľadniť aj fyzikálnu závislosť medzi rastúcou teplotou vzduchu a intenzitou extrémnych zrážok, vyplývajúcu z Clausius–Clapeyronovho vzťahu. Odhady budú vyčíslené aj s neistotami, a to konkrétne s 90% kredibilnými intervalmi získanými Bayesovskou inferenciou a následne interpolované do vysokého priestorového rozlíšenia. Následne sa aplikujú korekčné faktory odvodené z downscalovaných výstupov klimatických modelov (CMIP6) na historické odhady návrhových hodnôt. Návrhové hodnoty dažďov zohľadňujúce budúcnosť sú riešené na dvoch úrovniach: (i) podľa miery globálneho oteplenia reprezentovanej indexom globálnej teploty (Global Temperature Index - GTI) a (ii) podľa emisných scenárov SSP. Prístup s využitím GTI umožní odhad návrhových hodnôt pre definované úrovne globálneho oteplenia (napr. 1.5, 2, 3, 5 °C), zatiaľ čo scenárový prístup poskytne odhady pre konkrétne budúce obdobia, napríklad 2031–2060 a 2061–2090, v rámci scenárov SSP2-4.5 a SSP5-8.5. Navrhovaná metodika vytvára predpoklady pre systematické zohľadnenie zmeny klímy a neistôt odhadu pri návrhu vodohospodárskej infraštruktúry a adaptačných opatrení.

**Kľúčové slová:** design rainfall, IDF curves, extreme precipitation, nonstationarity, climate scenarios

**Podakovanie:** Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmlúv č. APVV-23-0332 a VV-MVP-24-0208 a grantovou agentúrou VEGA v rámci projektu č. 2/0115/25.

## DESIGN RAINFALL IN SLOVAKIA: EVOLUTION OF METHODS AND CLIMATE CHANGE CHALLENGES

Milan Onderka <sup>1,2\*</sup>, Silvia Kohnová <sup>1</sup>, Roman Výleta <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Land and Water Resources Management, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic

<sup>2</sup> Regional Climatological Institute, Plavecký Štvrtok 794, 900 68, Slovakia

\* corresponding author: milan.onderka@stuba.sk

### ABSTRACT

The earliest estimates of design rainfall values, particularly in the form of intensity–duration–frequency (IDF) curves, for the territory of Slovakia can be traced back to the late nineteenth and early twentieth centuries, corresponding to the beginning of systematic precipitation observations. Their application was primarily associated with the design of urban sewer and drainage systems. Over the past decades, the issue of IDF curve estimation has been addressed by numerous authors and research institutions, while the applied methodological approaches have gradually evolved from empirical procedures and classical frequency analysis toward modern techniques based on Bayesian inference, regional frequency analysis, scaling methods, and the development of gridded products. In the context of ongoing climate change and the nonstationarity of precipitation extremes, increasing emphasis is being placed on the regular updating of IDF curves and the integration of climate models into methodologies for design rainfall estimation. Our objective is both to provide an overview of historical methods used for the estimation of design rainfall in Slovakia and the broader Central European region, and to propose a methodology for the development of a new generation of design rainfall atlases for the entire territory of Slovakia that explicitly account for climate change.

Within the proposed methodology, annual maxima observed at stations of the national meteorological network during the reference period 1995–2025 will be used as the basis for design rainfall estimation. Both stationary and nonstationary forms of the Generalized Extreme Value (GEV) distribution will be applied in combination with hierarchical Bayesian models. This approach also enables consideration of the physical relationship between increasing air temperature and the intensity of extreme precipitation arising from the Clausius–Clapeyron relationship. The resulting estimates will be quantified together with uncertainties, specifically through 90% credible intervals obtained using Bayesian inference, and subsequently interpolated to a high spatial resolution. The proposed methodology further assumes the application of adjustment factors derived from downscaled climate model outputs (CMIP6) to the historical design rainfall estimates. Future design rainfall values are addressed within two complementary frameworks: (i) according to the level of global warming represented by the Global Temperature Index (GTI), and (ii) according to SSP emission scenarios. The GTI-based approach enables the estimation of design rainfall values for predefined levels of global warming (e.g., 1.5, 2, 3, and 5 °C), while the scenario-based approach provides estimates for specific future periods, such as 2031–2060 and 2061–2090, under scenarios SSP2-4.5 and SSP5-8.5. The proposed methodology creates a framework for the systematic incorporation of climate change and estimation uncertainty into the design of water-management infrastructure and climate adaptation measures.

**Keywords:** design rainfall, IDF curves, climate scenarios

**Acknowledgements:** This research was funded by the Slovak Research and Development Agency under contract numbers APVV 23-0332 and VV-MVP-24-0208, and by the VEGA Grant Agency under grant number 2/0115/25.

## NÍZKE PRIETOKY, ZÁKLADNÝ ODTOK A BUDÚCA SPOĽAHLIVOSŤ PRÍTOKU DO VODÁRENSKEJ NÁDRŽE MÁLINEC

Pavla Pekárová<sup>1\*</sup>, Ján Pekár<sup>2</sup>, Zbyněk Bajtek<sup>1</sup>, Igor Leščešen<sup>1</sup>, Veronika Bačová Mitková<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ústav hydrologie SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

<sup>2</sup> Fakulta Matematiky, Fyziky, a Informatiky, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, 842 48 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: pekarova@uh.savba.sk

### ABSTRAKT

Povodie horného Ipľa na strednom Slovensku nad vodárenskou nádržou Málinec (54,24 km<sup>2</sup>) predstavuje strategické povodie pre zásobovanie obyvateľov pitnou vodou. Cieľom tejto štúdie bolo zhodnotiť hydrologickú bilanciu tohoto povodia, kvantifikovať príspevok celkového/základného odtoku a simulovať možný budúci vývoj jednotlivých zložiek odtoku v kontexte očakávaného vývoja teploty vzduchu a zrážok v povodí v ďalekej budúcnosti 2080–2099. Analýza vychádza z pozorovaných hydrometeorologických údajov za obdobie 1995–2020 získaných zo Slovenského hydrometeorologického ústavu.

Hydrologická bilancia povodia bola simulovaná konceptuálnym zrážkovo-odtokovým modelom BILAN v dennom časovom kroku, kalibrovaným pre referenčné obdobie 1995–2014 (ln NS = 0,69) a verifikovaným pre roky 2015–2020. Potenciálna evapotranspirácia bola vypočítaná Oudinovou metódou. Na simuláciu budúceho odtoku pre horizont 2080–2099 boli použité klimatické anomálie teploty vzduchu a zrážok z multimodelovej zostavy CMIP6, dostupnej prostredníctvom portálu Svetovej banky, pre tri scenáre SSP1-1.9, SSP2-4.5 a SSP5-8.5.

Pri vylepšení kalibrácie modelu BILAN bol použitý rad základného odtoku, ktorý bol odhadnutý Killeho metódou a automatizovanou separáciou hydrogramu pomocou softvéru BFI 3.0 s parametrami  $N = 15$  a  $f = 0,9$ . Výsledky separácie základného odtoku ukázali, že priemerný základný odtok za obdobie 1995–2022 dosiahol 0,261 m<sup>3</sup>/s, pričom index BFI = 0,665, čo potvrdzuje dominantnú úlohu základného odtoku počas nízkych prietokov v tomto malom horskom povodí. V referenčnom období 1995–2014 dosiahol simulovaný celkový odtok 303,3 mm, z toho 154 mm tvoril základný odtok a 149 mm priamy odtok. Aktuálna evapotranspirácia predstavovala 498 mm pri potenciálnej evapotranspirácii 625 mm.

Scenárové simulácie modelom BILAN pre obdobie 2080–2099 naznačujú, že pri minimálnych zmenách ročných zrážok bude viesť nárast teploty vzduchu k výraznému zvýšeniu evapotranspirácie a následnému poklesu odtoku. Priemerný simulovaný ročný odtok poklesne na 286,7 mm pri SSP1-1.9 (–5,5%), na 257,8 mm pri SSP2-4.5 (–15,0%) a na 209,8 mm pri SSP5-8.5 (–30,8%) oproti referenčnému obdobiu 1995–2014. Pokles sa týka nielen celkového odtoku, ale aj základného odtoku, priameho odtoku a minimálnych mesačných prietokov. Najvýraznejšie redukcie sa očakávajú v neskorom lete a na jeseň – pri scenári SSP5-8.5 presahujú mesačné poklesy 50% v apríli, auguste, septembri a októbri, čo signalizuje výrazné zhoršenie podmienok pre plnenie nádrže Málinec práve v období vegetačného sucha. Štúdia tiež ukazuje, že v povodí bez priameho monitoringu podzemnej vody môže kombinácia metód separácie odtoku a konceptuálneho hydrologického modelovania poskytnúť praktický základ pre hodnotenie procesov spojených s podzemnou vodou a pre plánovanie zásobovania vodou v zdrojových oblastiach strategického významu.

**Kľúčové slová:** model BILAN, horný Ipel', nádrž Málinec, SSP1-1.9, SSP2-4.5, SSP5-8.5, budúci odtok

**Pod'akovanie:** Táto práca bola podporená projektom VEGA 2/0015/23 a projektom MVTs "WATSIM II".

## LOW FLOWS, BASEFLOW AND PROJECTED INFLOW RELIABILITY FOR THE MÁLINEC WATER SUPPLY RESERVOIR

Pavla Pekárová <sup>1\*</sup>, Ján Pekár <sup>2</sup>, Zbyněk Bajtek <sup>1</sup>, Igor Leščešen <sup>1</sup>, Veronika Bačová Mitková <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Hydrology SAS, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovak Republic

<sup>2</sup> Faculty of Mathematics, Physics, and Informatics, Comenius University, Mlynská dolina, 842 48 Bratislava, Slovak Republic

\*corresponding author: pekarova@uh.savba.sk

### ABSTRACT

The upper Ipeľ river basin in central Slovakia, located upstream of the Málinec water supply reservoir (54.24 km<sup>2</sup>), represents a strategic catchment for the public drinking water supply. The aim of this study was to evaluate the hydrological balance of this basin, quantify the contribution of total runoff / baseflow, and simulate the possible future development of individual runoff components in the context of expected air temperature and precipitation trends in the distant future of 2080–2099. The analysis is based on observed hydrometeorological data for the period 1995–2020 obtained from the Slovak Hydrometeorological Institute. The hydrological balance of the basin was simulated using the conceptual rainfall-runoff model BILAN at a daily time step, calibrated for the reference period 1995–2014 (ln NS = 0.69) and verified for the years 2015–2020. Potential evapotranspiration was calculated using Oudin's method. To simulate future runoff for the 2080–2099 horizon, air temperature and precipitation climate anomalies from the CMIP6 multi-model ensemble, available through the World Bank portal, were used for three scenarios: SSP1-1.9, SSP2-4.5, and SSP5-8.5.

To improve the calibration of the BILAN model, a baseflow series was utilized, which was estimated by Kille's method and automated hydrograph separation using the BFI 3.0 software with parameters  $N = 15$  and  $f = 0.9$ . The results of the baseflow separation showed that the average baseflow for the period 1995–2022 reached 0.261 m<sup>3</sup>/s, with a BFI = 0.665, which confirms the dominant role of baseflow during low flow periods in this small mountainous basin. In the reference period 1995–2014, the simulated total runoff reached 303.3 mm, of which 154 mm was baseflow and 149 mm was direct runoff. Actual evapotranspiration accounted for 498 mm compared to a potential evapotranspiration of 625 mm.

Scenario simulations using the BILAN model for the period 2080–2099 indicate that, with minimal changes in annual precipitation, the rise in air temperature will lead to a significant increase in evapotranspiration and a subsequent decrease in runoff. The average simulated annual runoff will decrease to 286.7 mm under SSP1-1.9 (–5.5%), to 257.8 mm under SSP2-4.5 (–15.0%), and to 209.8 mm under SSP5-8.5 (–30.8%) compared to the 1995–2014 reference period. This decrease applies not only to total runoff but also to baseflow, direct runoff, and minimum monthly flows. The most significant reductions are expected in late summer and autumn – under the SSP5-8.5 scenario, monthly decreases exceed 50% in April, August, September, and October, signaling a significant deterioration of conditions for filling the Málinec reservoir precisely during the growing season drought. The study also demonstrates that in a basin without direct groundwater monitoring, a combination of runoff separation methods and conceptual hydrological modeling can provide a practical basis for evaluating groundwater-related processes and for planning water supply in source areas of strategic importance.

**Keywords:** soil hydraulic properties, estimation accuracy, machine learning, artificial neural network

**Acknowledgements:** This work was supported by the VEGA Grant Agency under Contract No. 2/0015/23 “Comprehensive analysis of the quantity and quality of water regime development in streams and their mutual dependence in selected Slovak basins” and by project MVTs, “WATSIM II”.

## HODNOCENÍ POKROKU PŘI PLNĚNÍ PLÁNŮ PRO ZVLÁDÁNÍ RIZIK

Pavla Štěpánková\*, Karel Drbal, Radek Bachan

<sup>1</sup>Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., pobočka Brno, Mojžírovo nám. 16., 612 00 Brno, Česká republika

\*korešpondenční autor: pavla.stepankova@vuv.cz

### ABSTRAKT

Plán pro zvládání povodňových rizik (PpZPR) je základním nástrojem, určeným k plnění hlavního cíle směrnice EU 2007/60/ES o zvládání povodňových rizik (dále jen „povodňová směrnice“), tj. snížení nepříznivých účinků povodní na lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví a hospodářskou činnost (článek 1 povodňové směrnice). V PpZPR jsou pro jednotlivá povodí definovány cíle zvládání povodňových rizik a souhrn opatření k jejich dosažení. Plánovací proces podle povodňové směrnice probíhá v šestiletých cyklech, kdy jeho součástí je vždy hodnocení pokroku při plnění cílů stanovených v předchozím období.

V České republice byly pro první PpZPR (platný v období 2016-2021) definovány tři základní cíle, které jsou stále aktuální a jsou obsaženy i v plánech následujících období:

1. Zabránění vzniku nového rizika a snížení rozsahu ploch v nepřijatelném riziku
2. Snížení míry povodňového nebezpečí
3. Zvýšení připravenosti obyvatel a odolnosti staveb, objektů infrastruktury, hospodářských a jiných aktivit vůči negativním účinkům povodní

Uvedené cíle jsou hodnoceny z pohledu celkového pokroku, tzn. je kladen důraz na celkovou synergii realizovaných opatření. Za tímto účelem byly hledány a definovány hodnotící indikátory pro jednotlivé cíle a vhodné zdroje dat pro jejich iniciaci.

Proběhlé plánovací cykly a v nich zpracovávané PpZPR ukázaly několik úskalí, se kterými je třeba se vypořádat:

- Někdy je problematické získat dostatek podkladů pro stanovení hodnot indikátorů tak, aby bylo možné srovnání s výchozím stavem.
- Neexistují referenční hodnoty za stejně dlouhé období před začátkem platnosti plánů prvního cyklu.
- Pokud indikátory ukazují pozitivní vývoj v rámci daného cíle, je otázkou, jak určit, zda je míra pokroku dostatečná.

V rámci přípravy nových PpZPR (pro období 2028-2033) jsou proto hledány cesty, jak tato úskalí vyřešit. Analyzují se data, která jsou pořizována v sektoru vodního hospodářství a nastavují se postupy jejich sběru pro jejich využití při sestavování PpZPR. Současně s tím se u některých indikátorů stanovují výchozí referenční hodnoty pro hodnocení pokroku v dalších plánovacích cyklech. Takto nastavené indikátory umožní v budoucnu exaktnější hodnocení pokroku při plnění cílů PpZPR.

**Klíčové slová:** povodňová směrnice, plánování, hodnocení cílů

**Pod'akovanie:** Príspevek byl zpracován v rámci projektu č. SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu“ řešeného s finanční podporou Technologické agentury ČR v rámci podprogramu 3 – Dlouhodobé environmentální a klimatické perspektivy programu SS – Program aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí – Prostředí pro život.

## ASSESSMENT OF PROGRESS IN THE IMPLEMENTATION OF RISK MANAGEMENT PLANS

Pavla Štěpánková\*, Karel Drbal, Radek Bachan

<sup>1</sup> T. G. Masaryk Water Research Institute, p. r. i., Brno branch, Mojžírovo nám. 16, 612 00 Brno, Czech Republic

\*corresponding author: pavla.stepankova@vuv.cz

### ABSTRACT

The Flood Risk Management Plan (FRMP) is a fundamental instrument designed to fulfil the primary objective of EU Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks (hereinafter referred to as the "Floods Directive"), i.e., the reduction of adverse consequences of floods for human health, the environment, cultural heritage, and economic activity (Article 1 of the Floods Directive). In the FRMP, flood risk management objectives and a summary of measures to achieve them are defined for individual river basins. The planning process under the Floods Directive takes place in six-year cycles, which always include an evaluation of progress in achieving the objectives set in the previous period.

In the Czech Republic, three basic objectives were defined for the first FRMP (valid for the 2016–2021 period); these remain relevant and are included in the plans for subsequent periods:

1. Prevention of new risks and reduction of the extent of areas at unacceptable risk
2. Reduction of the level of flood hazard
3. Increasing public preparedness and the resilience of buildings, infrastructure, economic activities, and other activities to the negative effects of floods

The aforementioned objectives are evaluated from the perspective of overall progress, meaning emphasis is placed on the total synergy of the implemented measures. To this end, evaluation indicators for individual objectives and suitable data sources for their initiation were identified and defined.

Previous planning cycles and the resulting FRMPs have revealed several challenges that need to be addressed:

- It is sometimes difficult to obtain sufficient data to determine indicator values in a way that allows for a meaningful comparison with the baseline status.
- There are no reference values for a period of equal length prior to the commencement of the first-cycle plans.
- If indicators show a positive trend, the question remains how to determine whether the rate of progress is sufficient.

Within the preparation of the new FRMPs (for the 2028–2033 period), ways are being sought to resolve these challenges. Data acquired within the water management sector is being analysed, and collection procedures are being established for use in compiling the FRMPs. Concurrently, baseline reference values are being set for certain indicators to evaluate progress in future planning cycles. Indicators established in this manner will allow for a more exact evaluation of progress in achieving FRMP objectives in the future.

**Keywords:** Flood Directive, planning, objectives assessment

**Acknowledgements:** This work was supported by the project "Water systems and water management in the Czech Republic in conditions of climate change" (No. SS02030027), funded by the Technology Agency of the Czech Republic.

## VODOHOSPODÁRSKA BILANCIA NÁDRŽE HORNÉ OREŠANY V MENIACICH SA KLIMATICKÝH PODMIENKACH

Roman Výleta<sup>1\*</sup>, Peter Valent<sup>1,2</sup>, Milan Čistý<sup>1</sup>, Michaela Danáčová<sup>1</sup>, Kamila Hlavčová<sup>1</sup>, Silvia Kohnová<sup>1</sup>, Ján Szolgay<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 810 05, Slovenská republika

<sup>2</sup> Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, Technische Universität Wien, Viedeň, 1040, Rakúsko.

\* korešpondenčný autor: roman.vyleta@stuba.sk

### ABSTRAKT

Vodná nádrž Horné Orešany bola vybudovaná na toku Parná primárne na zabezpečenie vody pre závlahy poľnohospodárskych pozemkov. V podmienkach meniacej sa klímy, rastúcej variability hydrologického režimu a častejšieho výskytu suchých období sa však otázka spoľahlivosti disponibilných vodných zdrojov a zabezpečnosti odberov vody stáva čoraz významnejšou. Práca sa zaoberá analýzou a zhodnotením hydrologickej bilancie toku Parná a vodohospodárskej bilancie vodnej nádrže Horné Orešany v podmienkach západného Slovenska. Hlavným cieľom je posúdiť, aký objem vody je potrebné v nádrži rezervovať pre závlahové účely a za akých podmienok možno uvažovať o ďalších odberoch vody bez ohrozenia závlahovej funkcie nádrže a ekologickej stability toku Parná. Na tento účel boli spracované dostupné hydrometeorologické a manipulačné údaje, analyzovaný hydrologický režim povodia a stanovené vstupné veličiny potrebné pre bilančné hodnotenie nádrže. Potreba závlahovej vody bola určená s využitím aktuálnych metodických prístupov založených na výpočte referenčnej evapotranspirácie, plodínových koeficientoch a bilancii pôdnej vody. Vzhľadom na očakávané zmeny teploty vzduchu, režimu zrážok a nárokov vegetácie na vodu sú do hodnotenia zahrnuté aj scenáre meniacej sa klímy, ktoré umožňujú posúdiť vývoj potreby vody na závlahy a disponibilitu vodných zdrojov v budúcich obdobiach. Vodohospodárska bilancia nádrže je riešená pomocou simulačného modelu BALVAN, ktorý v mesačnom časovom kroku hodnotí disponibilitu vodných zdrojov vo vzťahu k požiadavkám na odbery, povinnému minimálnemu odtoku, stratám výparom a zmenám zásoby vody v nádrži. Modelové simulácie sú zamerané na porovnanie viacerých variantov závlahových a ostatných odberov vody pri rôznych hydrologických a klimatických podmienkach. Hodnotená je najmä zabezpečenosť dodávok vody na závlahy, schopnosť nádrže zachovať minimálny odtok pod hrádzou a citlivosť vodohospodárskej sústavy na výskyt suchých a extrémnych období. Aktualizované podklady z batymetrie nádrže poukazujú na pokles retenčného objemu nádrže voči pôvodnému realizačnému zameraniu o 1,5 % a na zníženie zatopenej plochy pri maximálnej hladine o 5,1 %. Pri požadovanej 90 % zabezpečení dodávok vody možno uvažovať len s menším rozsahom závlah, pričom pri dôslednom zachovaní minimálneho prietoku pod nádržou sa tento rozsah ďalej znižuje. Pôvodne uvažovaná plocha závlah sa preto v súčasných agrárnych, hydrologických a klimatických podmienkach javí ako nadhodnotená a nereálna. Výsledky poukazujú na význam komplexného bilančného hodnotenia vodnej nádrže, ktoré prepája hydrologické podmienky povodia, potrebu vody na závlahy, existujúce a uvažované odbery, ako aj očakávané dôsledky klimatickej zmeny. Získané poznatky predstavujú podklad pre optimalizáciu hospodárenia s vodou vo vodnej nádrži Horné Orešany, pre stanovenie limitov využívania jej zásobného priestoru a pre rozhodovanie o prípadnom povoľovaní ďalších odberov vody. Rastúce teploty vzduchu a vyššie nároky vegetácie na vodu môžu v budúcnosti ešte znížiť plochu, na ktorej bude možné zabezpečiť závlahy s požadovanou spoľahlivosťou. Navrhnutý prístup zároveň vytvára metodický rámec využiteľný pri hodnotení malých vodných nádrží, ktorých pôvodné funkčné určenie je potrebné zosúladiť so súčasnými a budúcimi požiadavkami na udržateľné využívanie vodných zdrojov.

**Kľúčové slová:** vodohospodárska bilancia; vodná nádrž Horné Orešany; závlahové odbery; zabezpečenosť dodávok vody; vodné zdroje, zmena klímy.

**Pod'akovanie:** Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmlúv č. APVV-23-0332 a VV-MVP-24-0208 a grantovou agentúrou VEGA v rámci projektu č. 1/0657/25.

## WATER MANAGEMENT BALANCE OF THE HORNÉ OREŠANY RESERVOIR UNDER CHANGING CLIMATIC CONDITIONS

Roman Výleta <sup>1\*</sup>, Peter Valent <sup>1,2</sup>, Milan Čistý <sup>1</sup>, Michaela Danáčová <sup>1</sup>, Kamila Hlavčová <sup>1</sup>, Silvia Kohnová <sup>1</sup>, Ján Szolgay <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Land and Water Resources Management, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic

<sup>2</sup> Institute of Hydraulic Engineering and Engineering Hydrology, Technische Universität Wien, Vienna, 1040, Austria.

\*Corresponding author: roman.vyleta@stuba.sk

### ABSTRACT

The Horné Orešany water reservoir was built on the Parná stream primarily to provide water for the irrigation of agricultural land. Under changing climatic conditions, increasing variability of the hydrological regime, and the more frequent occurrence of dry periods, the reliability of available water resources and the security of water abstractions are becoming increasingly important. This study analyses and assesses the hydrological balance of the Parná stream and the water management balance of the Horné Orešany reservoir under the conditions of western Slovakia. The main objective is to assess what volume of water needs to be reserved for irrigation and under what conditions additional water abstractions may be considered without compromising the reservoir's irrigation function and the ecological stability of the stream. For this purpose, available hydrometeorological and operational data were processed, the hydrological regime of the catchment was analysed, and the input variables required for the reservoir balance assessment were determined. Irrigation water demand was estimated using current methodological approaches based on reference evapotranspiration, crop coefficients, and soil water balance. Considering the expected changes in air temperature, precipitation regime, and vegetation water demand, climate change scenarios were also included, enabling future irrigation water demand and water resource availability to be evaluated.

The water management balance of the reservoir is analysed using the BALVAN simulation model, which evaluates the availability of water resources in a monthly time step in relation to water abstraction requirements, the mandatory minimum outflow, evaporation losses, and changes in reservoir storage. The model simulations focus on comparing several variants of irrigation and other water abstractions under different hydrological and climatic conditions. The assessment focuses mainly on the reliability of irrigation water supply, the ability of the reservoir to maintain the minimum outflow downstream, and the sensitivity of the water management system to dry and extreme periods. Updated reservoir bathymetry data indicate a decrease in the retention volume of the reservoir by 1.5% compared with the original as-built survey, and a decrease in the inundated area at the maximum water level by 5.1%. At the required 90% reliability of water supply, only a smaller extent of irrigation can be considered, while this extent is further reduced if the minimum downstream outflow is strictly maintained. The originally considered irrigation area therefore appears to be overestimated and unrealistic under current agricultural, hydrological, and climatic conditions. The results highlight the importance of a comprehensive reservoir balance assessment that integrates catchment hydrological conditions, irrigation water demand, existing and potential water abstractions, and climate change impacts. The findings provide a basis for optimizing water management in the reservoir, defining limits for the use of its storage capacity, and supporting decisions on additional water abstractions. Rising air temperatures and higher vegetation water demand may further reduce the area that can be irrigated with the required reliability in the future. The proposed approach also provides a methodological framework applicable to the assessment of small water reservoirs whose original functional purpose needs to be aligned with current and future requirements for the sustainable use of water resources.

**Keywords:** water management balance, Horné Orešany water reservoir, irrigation abstractions, reliability of water supply, water resources, climate change.

**Acknowledgements:** This research was funded by the Slovak Research and Development Agency under contract Nos. APVV 23-0332, VV-MVP-24-0208, and by the VEGA Grant Agency under No. 1/0657/25.

## SHLUKOVÁNÍ POVODÍ DATASETU CAMELS-CZ NA BÁZI ENTROPIE ODVOZENÉ Z VLNKOVÉ KOHERENCE (PRŮTOK VS. AMO, AO, NAO A SOI)

Ondřej Ledvinka<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Oddělení hydrofondu a bilancí, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4, Česko

<sup>2</sup> Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 00 Praha 2, Česko

\* korespondenční autor: [ondrej.ledvinka@chmi.cz](mailto:ondrej.ledvinka@chmi.cz)

### ABSTRAKT

Vlnková transformace časových řad, např. průměrných měsíčních průtoků, může poskytovat dobrý podklad pro shlukovou analýzu, a tedy i regionalizaci povodí. Pro tyto účely se používá zejména odhad Shannonovy entropie na bázi vlnkových koeficientů, který se při regionalizaci povodí osvědčil ve světě již dříve a vyzkoušel ho i autor příspěvku s využitím toho, že v Česku se právě dokončuje rozsáhlý hydrologický dataset CAMELS-CZ. Podobně jako v předchozím výzkumu bylo z datasetu vybráno 337 nepřerušovaných řad průměrných měsíčních průtoků (záměrně i včetně antropogenně ovlivněných) začínajících hydrologickým rokem 1981. Tentokrát ale byl namísto vlnkového spektra zkoumán potenciál spektra vlnkové koherence za přispění měsíčních řad indexů velkoměřítkových klimatických oscilací (AMO, AO, NAO a SOI). Z toho důvodu bylo také zkoumané období ukončeno hydrologickým rokem 2022. Po získání koeficientů vlnkové koherence (za využití Morletovy mateřské vlnky) byly vypočítány odhady Shannonovy entropie na škálách 2, 4, 8, 16, 32, 64 a 128 měsíců, což dovolovala délka zkoumaných řad. Následně byla aplikována sada testů pro detekci ideálního počtu shluků povodí. Většina těchto testů napovídá, že vybraná povodí lze z tohoto hlediska dělit do dvou či tří skupin v závislosti na zvolené metodě klastrování. Takto může být při regionalizaci povodí lépe zohledněno jejich reagování na klimatické faktory z dlouhodobého hlediska. Jaké další vlastnosti povodí souvisejí s nalezeným shlukováním zatím zůstává otevřenou otázkou, která vyžaduje další výzkum, např. právě s využitím charakteristik povodí získaných při stavbě datasetu CAMELS-CZ. Výhodou bude doplnění analýz o tvorbu map po aplikaci shlukovacích algoritmů jako *K*-means, *K*-medoids, model gaussovských směsí či vhodné modifikace rozhodovacích stromů. Do budoucna lze též shlukování zakládat na hodnotách Shannonovy entropie odvozené z koeficientů tvořících křížová vlnková spektra, příp. lze shlukování provádět na všech hodnotách Shannonovy entropie odvozených jak z vlnkové koherence, z křížové vlnkové transformace, tak i z jednorozměrné vlnkové transformace řad průtoků. V tomto případě však již může být vyžadována redukce dimenze, která může mít neblahý vliv na interpretovatelnost výsledků.

**Klíčová slova:** statistická hydrologie, regionalizace, vlnkové koeficienty, sezonní predikce, Česká republika

**Poděkování:** Tento příspěvek vznikl s podporou Technologické agentury České republiky, projektu SS02030040 „Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů, vlivu sucha a změny klimatu v Česku (PERUN)“.

## CLUSTERING CATCHMENTS OF THE CAMELS-CZ DATASET ON THE BASIS OF ENTROPY DERIVED FROM WAVELET COHERENCE (DISCHARGE VS. AMO, AO, NAO AND SOI)

Ondřej Ledvinka<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Hydrology Database and Water Budget Department, Czech Hydrometeorological Institute, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Prague 4, Czechia

<sup>2</sup> Department of Physical Geography and Geoecology, Faculty of Science, Charles University, Albertov 6, 128 00 Prague 2, Czechia

\* corresponding author: [ondrej.ledvinka@chmi.cz](mailto:ondrej.ledvinka@chmi.cz)

### ABSTRACT

Wavelet transform of time series, e.g. mean monthly discharges, can provide a good basis for cluster analysis and thus also regionalization of catchments. For these purposes, Shannon entropy estimation based on wavelet coefficients is used, which has proven successful in regionalization of catchments in the world before and was also tested by the author of the paper using the fact that a large hydrological dataset CAMELS-CZ is being finalized in Czechia. Similar to previous research, 337 uninterrupted series of mean monthly discharge were selected from the dataset that start from the hydrological year 1981. Intentionally, there were also selected catchments with expected anthropogenic influences. This time, however, instead of the wavelet spectrum, the potential of the wavelet coherence spectrum was investigated with the contribution of the monthly series of large-scale climate pattern indices (AMO, AO, NAO, and SOI). For this reason, the study period was also limited to the hydrological year 2022. After obtaining wavelet coherence coefficients (by using the Morlet mother wavelet), Shannon entropy estimates were calculated on scales of 2, 4, 8, 16, 32, 64 and 128 months, which was allowed by the length of the series examined. A set of tests was subsequently applied to detect the ideal number of catchment clusters. Most of these tests suggest that the selected catchments can be divided into two or three groups in this respect, depending on the method of clustering chosen. In this way, the response of catchments to climate factors in the long term can be better taken into account in their regionalization. What other catchment properties are related to the found clustering remains an open question, which requires further research, e.g. using catchment characteristics obtained during the construction of the CAMELS-CZ dataset. The advantage will be the addition of mapping analyses after the application of clustering algorithms such as *K*-means, *K*-medoids, Gaussian mixture model or suitable modifications of decision trees. In the future, clustering can also be based on Shannon entropy values derived from coefficients forming cross-wavelet spectra, or clustering can be performed on all Shannon entropy values derived from both wavelet coherence, cross-wavelet transform and one-dimensional wavelet transform of discharge series. In this case, however, dimension reduction may already be required, which may have a detrimental effect on the interpretability of the results.

**Keywords:** statistical hydrology, regionalization, wavelet coefficients, seasonal prediction, Czech Republic

**Acknowledgements:** This work was co-financed by the project SS02030040 “Prediction, Evaluation and Research for Understanding National sensitivity and impacts of drought and climate change for Czechia” (PERUN), sponsored by the Technology Agency of the Czech Republic.

## URBANIZOVANÁ ÚZEMÍ V KONTEXTU ZMĚNY KLIMATU: SRÁŽKOVÉ EXTRÉMY A MOŽNOSTI ADAPTACE

Adam Vizina <sup>1\*</sup>, Roman Kožín <sup>1</sup>, Filip Strnad <sup>2</sup>, Martin Hanel <sup>2</sup>, Petr Kavka <sup>3</sup>, Adam Beran <sup>1</sup>,  
Petr Pavlík <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha, Česká republika

<sup>2</sup>Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze, Česká republika

<sup>3</sup>Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze, Česká republika

\* korespondenční autor: adam.vizina@vuv.cz

### ABSTRAKT

Urbanizovaná území jsou stále častěji vystavena dopadům krátkodobých intenzivních srážek, které v kombinaci s vysokým podílem nepropustných ploch vedou ke zvýšenému riziku přívalových povodní, hydraulického přetížení stokových sítí a zaplavování intravilánů. Příspěvek představuje hlavní výsledky projektu „Adaptace urbanizovaných území na přívalové povodně a sucho“, zaměřeného na tvorbu návrhových srážek zohledňujících očekávanou změnu klimatu a jejich využití při návrhu adaptačních opatření v urbanizovaném prostředí. Pro odvození návrhových srážek byla využita kombinace staničních a radarových srážek, regionální klimatické modely CORDEX a následná stochastická desagregace hodinových dat do 15 minutového časového kroku. Výsledkem je Atlas IDF poskytující návrhové srážky pro doby trvání od 15 minut do 24 hodin a doby opakování 2–100 let pro současné i budoucí klimatické horizonty 2050 a 2085. Návrhové srážky byly následně aplikovány při hydrodynamickém modelování stokových sítí ve třech pilotních lokalitách – Bukovno, Pečky a Běchovice – s cílem vyhodnotit dopady klimatické změny na městské odvodnění a účinnost adaptačních opatření. Hodnoceny byly scénáře různé úrovně zapojení hospodaření s dešťovou vodou (HDV), modrozelené infrastruktury (MZI), dočasných retenčních prostor a nouzových cest odtoku. Výsledky potvrzují, že očekávané zesilování krátkodobých srážkových extrémů povede k nárůstu hydraulického zatížení stokových systémů a četnosti výronů vody na povrch. Současně však ukazují, že kombinace decentralizovaného HDV, retenčních opatření a řízeného povrchového odtoku může významně snížit rozsah zaplavení a zvýšit odolnost urbanizovaných území.

Součástí projektu je také metodika návrhu dočasných retenčních prostor a povodňových koridorů, která umožňuje bezpečné převedení nebo krátkodobé zadržení nadbytečných objemů vody při extrémních událostech. Dalším výstupem je soubor map kategorizace urbanizovaných území České republiky z hlediska rizika povrchového odtoku a přítoku extravilánových vod. Výsledky projektu poskytují odborný podklad pro návrh adaptačních opatření, aktualizaci generelů odvodnění a strategické plánování měst v podmínkách probíhající klimatické změny.

**Klíčová slova:** přívalové srážky, návrhové srážky, IDF křivky, urbanizovaná území, klimatická změna, městské odvodnění, modrozelená infrastruktura

**Poděkování:** Příspěvek vznikl v rámci projektu „Adaptace urbanizovaných území na přívalové povodně a sucho“ (TA ČR, SS06010274) a s využitím výsledků projektu PERUN (TA ČR, SS02030040 – Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů, vlivu sucha a změny klimatu v Česku), podpořených v programu Prostředí pro život.

## URBANIZED AREAS IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE: PRECIPITATION EXTREMES AND ADAPTATION OPTIONS

Adam Vizina <sup>1\*</sup>, Roman Kožín <sup>1</sup>, Filip Strnad <sup>2</sup>, Martin Hanel <sup>2</sup>, Petr Kavka <sup>3</sup>, Adam Beran <sup>1</sup>,  
Petr Pavlík <sup>1</sup>

<sup>1</sup>T. G. Masaryk Water Research Institute, p.r.i., Prague, Czech Republic

<sup>2</sup>Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic

<sup>3</sup>Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague, Czech Republic

\* corresponding author: adam.vizina@vuv.cz

### ABSTRACT

Urbanized areas are increasingly exposed to the impacts of short-duration intense precipitation events, which, combined with a high proportion of impervious surfaces, lead to an increased risk of flash floods, hydraulic overloading of sewer networks, and urban flooding. This contribution presents the main results of the project “Adaptation of Urbanized Areas to Flash Floods and Drought”, focused on the development of design precipitation estimates reflecting expected climate change and their application in the design of adaptation measures in urban environments. The derivation of design precipitation was based on a combination of station and radar precipitation data, regional climate models from the CORDEX initiative, and subsequent stochastic disaggregation of hourly data into 15 minutes time steps. The result is an IDF Atlas providing design precipitation estimates for durations from 15 minutes to 24 hours and return periods from 2 to 100 years for both current and future climate horizons 2050 and 2085.

The design precipitation estimates were subsequently applied in hydrodynamic modelling of sewer systems in three pilot localities – Bukovno, Pečky, and Běchovice – in order to assess the impacts of climate change on urban drainage systems and the effectiveness of adaptation measures. Scenarios involving different levels of stormwater management, blue-green infrastructure, temporary retention areas, and emergency overflow pathways were evaluated. The results confirm that the expected intensification of short-term precipitation extremes will lead to an increase in hydraulic loading of sewer systems and the frequency of surface flooding. At the same time, they demonstrate that a combination of decentralized stormwater management, retention measures, and controlled surface runoff can significantly reduce flood extent and improve the resilience of urbanized areas.

The project also includes a methodology for the design of temporary retention areas and flood corridors, enabling the safe conveyance or temporary storage of excess water volumes during extreme events. Another output is a set of maps categorizing urbanized areas of the Czech Republic according to the risk of surface runoff and inflow from surrounding catchments. The project results provide an expert basis for the design of adaptation measures, updates of urban drainage master plans, and strategic urban planning under ongoing climate change conditions.

**Keywords:** flash precipitation, design precipitation, IDF curves, urbanized areas, climate change, urban drainage, blue-green infrastructure

**Acknowledgements:** This contribution was prepared within the project “Adaptation of Urbanized Areas to Flash Floods and Drought” (TA CR, SS06010274) and using outputs from the PERUN project (TA CR, SS02030040 – Prediction, Evaluation and Research for Understanding National Sensitivity and Impacts of Drought and Climate Change for Czechia), supported under the Environment for Life programme.

## VARIÁCIE A TRENDY PRIETOKOV V POVODÍ RIEKY VEDEA (RUMUNSKO): POHĽAD NA HYDROLOGICKÉ SUCHO

Mihnea-Ștefan Costache<sup>1</sup>, Martina Zelenáková<sup>2\*</sup>, Liliana Zaharia<sup>3</sup>, Hany F. Abd-Elhamid<sup>4,5</sup>,  
Gabriela Adina Moroșanu-Mitoșeriu<sup>5,6</sup>

<sup>1</sup> Doktorská škola Simion Mehedinți, Geografická fakulta, Bukureštská univerzita, Bulvár Nicolae Bălcescu 1, Bukurešť 010041, Rumunsko

<sup>2</sup> Ústav environmentálneho inžinierstva, Stavebná fakulta, Technická univerzita v Košiciach, Košice 04200, Slovensko

<sup>3</sup> Katedra meteorológie a hydrológie, Geografická fakulta, Bukureštská univerzita, Bulvár Nicolae Bălcescu 1, Bukurešť 010041, Rumunsko

<sup>4</sup> Katedra inžinierstva vodných stavieb, Univerzita Zagazig, Zagazig 44519, Egypt

<sup>5</sup> Ústav environmentálneho inžinierstva, Stavebná fakulta, Technická univerzita v Košiciach, Košice 04200, Slovensko

<sup>6</sup> Geografický ústav Rumunskej akadémie vied, Dimitrie Racoviță 12, 032993 Bukurešť, Rumunsko

\*korešpondenčný autor: martina.zelenakova@tuke.sk

### ABSTRAKT

Južná časť Rumunskej nížiny patrí k regiónom Rumunska, ktoré sú najviac zraniteľné voči klimatickej zmene. Povodie rieky Vedeá pokrýva významnú časť tohto územia (približne 5430 km<sup>2</sup>) a vyznačuje sa nestabilným hydrologickým režimom s vysokou citlivosťou na deficit zrážok. Táto štúdia skúma dynamiku prietokov na viacerých vodomerných staniciach v povodí rieky Vedeá počas 60-ročného obdobia (1962 – 2023) s cieľom identifikovať dlhodobé signály nástupu a intenzifikácie hydrologického sucha.

Metodika integruje štatistický Mann-Kendallov test na detekciu trendov s analýzou čiary prekročenia prietokov (FDC) na kvantifikáciu dostupných vodných zdrojov v kritických obdobiach. Pre túto štúdiu boli použité údaje o priemerných mesačných a ročných prietokoch poskytnuté Správou povodia Argeș-Vedeá. Na základe týchto údajov boli vypočítané špecifické odtoky a vykonané štatistické analýzy. Výsledky naznačujú dominantný klesajúci trend ročných prietokov na všetkých vodomerných staniciach, pričom štatisticky významný pokles bol pozorovaný v staniciach Alexandria, Buzești a Vârtoapele. Sezónna analýza odhaľuje predĺženie období nízkych prietokov do letných a jesenných mesiacov, čo potvrdzujú strmé sklony čiar FDC a extrémne nízke hodnoty Q95 (klesajúce pod 1 l/s/km<sup>2</sup>).

Originalita tejto štúdie spočíva v aplikácii spojitaj vlnkovej transformácie (CWT) na zachytenie nestacionárnej povahy hydrologického signálu, čo zdôrazňuje, ako boli dominantné ročné cykly v posledných desaťročiach narušené hydro-klimatickými zmenami. Tieto zistenia podčiarkujú prechod rieky Vedeá k režimu poznačenému epizódami silného sucha a poskytujú základné údaje pre stratégie manažmentu vodných zdrojov a adaptáciu na zmenu klímy v Rumunskej nížine.

**Kľúčové slová:** povodie rieky Vedeá, hydrologické sucho, Mann-Kendall, čiara prekročenia prietokov, vlnková analýza (Wavelet)

**Podakovanie:** Táto štúdia bola realizovaná vďaka programu Erasmus+ Traineeship, ktorý sa uskutočnil v období od marca do júna na Technickej univerzite v Košiciach a vďaka podpore projektu VEGA 1/0588/24.

## VARIATIONS AND TRENDS IN THE STREAMFLOW OF THE VEDEA RIVER BASIN (ROMANIA): INSIGHTS INTO HYDROLOGICAL DROUGHT

Mihnea-Ștefan Costache<sup>1</sup>, Martina Zelenáková<sup>2\*</sup>, Liliana Zaharia<sup>3</sup>, Hany F. Abd-Elhamid<sup>4,5</sup>,  
Gabriela Adina Moroșanu-Mitoșeriu<sup>7,6</sup>

<sup>1</sup> Doctoral School Simion Mehedinți, Faculty of Geography, University of Bucharest, 1 Nicolae Bălcescu Boulevard, Bucharest 010041, Romania

<sup>2</sup> Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Technical University of Košice, Košice 04200, Slovakia

<sup>3</sup> Department of Meteorology and Hydrology, Faculty of Geography, University of Bucharest, 1 Nicolae Bălcescu Boulevard, Bucharest 010041, Romania

<sup>4</sup> Department of Water and Water Structures Engineering, Zagazig University, Zagazig 44519, Egypt

<sup>5</sup> Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Technical University of Košice, Košice 04200, Slovakia

<sup>6</sup> Institute of Geography of the Romanian Academy, 12 Dimitrie Racoviță, 032993 Bucharest, Romania

\*corresponding author: martina.zelenakova@tuke.sk

### ABSTRACT

The south-central part of the Wallachian Plain is one of the most vulnerable regions to climate change in Romania. The Vedeia River Basin covers a significant portion of this territory (approx. 5,430 km<sup>2</sup>) and is characterized by an unstable hydrological regime with high sensitivity to precipitation deficits. Consequently, this study analyzes streamflow dynamics across several gauging stations within the Vedeia Basin over a 60-year period to identify long-term signals of hydrological drought onset and intensification.

The methodology integrates the Mann-Kendall statistical test for trend detection with Flow Duration Curve (FDC) analysis to quantify available water resources during critical periods. Results indicate a dominant downward trend in annual discharge across all gauging stations, with statistically significant declines observed at Alexandria, Buzești, and Vârtoapele. Seasonal analysis reveals an extension of low-flow periods into the autumn months, confirmed by the steep slopes of the FDCs and extremely low Q95 values (falling below 1 l/s/km<sup>2</sup>).

The originality of this study lies in the application of Continuous Wavelet Transform (CWT) to capture the non-stationary nature of the hydrological signal, highlighting how dominant annual cycles have been disrupted in recent decades by hydro-climatic shifts. These findings underscore the Vedeia River's transition toward a regime marked by severe drought episodes, providing essential data for water resource management strategies and climate change adaptation in the Wallachian Plain.

**Keywords:** Vedeia River Basin, hydrological drought, Mann-Kendall, Flow Duration Curve, Wavelet analysis

**Acknowledgements:** This study was made possible through the Erasmus+ Traineeship program, conducted between March and June at the Technical University of Košice and thanks to support of the project VEGA 1/0588/24.

## DYNAMIKA KVALITY A TEPLoty VODY V RIEKE HRON ZA MENIACICH SA ENVIRONMENTÁLNYCH PODMIENOK: TRENDOVÁ ANALÝZA A MODELOVANIE

Veronika Bačová Mitková<sup>1\*</sup>, Pavla Pekárová<sup>1</sup>, Dana Halmová<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ústav hydrologie SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: mitkova@uh.savba.sk

### ABSTRAKT

Vodné zdroje predstavujú kľúčový faktor stability ekosystémov, fungovania krajiny, ekonomiky a zásobovania obyvateľstva, pričom strategický význam má najmä povrchová voda pre svoju dostupnosť. V podmienkach rastúceho sucha je pre efektívnu správu povodí nevyhnutná analýza dlhodobých zmien kvantity a kvality vody. Povodie Hrona ako významný hydrologický celok zohráva zásadnú úlohu v regionálnom manažmente vôd, poľnohospodárstve a ochrane biodiverzity. Po období výraznej kontaminácie v 70. rokoch došlo v priebehu 80. a 90. rokov 20. storočia k postupnému znižovaniu znečistenia, najmä v dôsledku obmedzenia priemyselných a poľnohospodárskych emisií a budovania čistiarní odpadových vôd. Napriek tomuto zlepšeniu bola regenerácia rieky opakovane narušená ekologickými haváriami, medzi ktoré patrí incident nad Banskou Bystricou v roku 2003 a havária pri Budči v roku 2021.

Aj preto sme sa zamerali na dlhodobých zmien vybraných fyzikálno-chemických parametrov kvality vody a teploty vody v rieke Hron. Štúdia integruje dva prístupy: (i) analýzu časových radov, trendov a modelovanie vývoja koncentrácií amoniakálneho dusíka ( $\text{N-NH}_4^+$ ), dusičnanového dusíka ( $\text{N-NO}_3^-$ ), rozpusteného kyslíka (DO), biochemickej spotreby kyslíka (BOD) a pH, a (ii) hodnotenie modelovanie a predikciu dlhodobého vývoja teploty vody a jej vzťahu k teplote vzduchu.

Výsledky štúdie zameranej na detekciu trendov v dlhodobých časových radoch ukazovateľov kvality vody v období 1974–2021 na profiloch Kamenica nad Hronom a Valaská ukazujú relatívne stabilné hodnoty rozpusteného kyslíka len s miernymi rastúcimi trendmi v niektorých mesiacoch. Biochemická spotreba kyslíka (BOD) vykazuje preukázateľný klesajúci trend, výraznejší najmä na lokalite Valaská. Výsledky preukázali výrazné dlhodobé poklesy koncentrácií amoniakálneho a dusičnanového dusíka. V Kamenici nad Hronom je tento trend menej výrazný, ale prítomný. Hodnoty pH vykazujú mierne rastúci trend, najmä na Valaskej.

Druhá časť štúdie sa zaoberá dlhodobými trendmi teploty vody (1962–2020) na staniách Banská Bystrica a Brehy a hodnotením extrémnych teplotných podmienok prostredníctvom viacdňových maximálnych teplôt. Výsledky preukazujú štatisticky významné rastúce trendy priemerných mesačných aj ročných teplôt vody, najmä v zimnom, jarnom a letnom období. Tieto zistenia sú v súlade s pozorovaným nárastom teploty vzduchu a poukazujú na vysokú citlivosť teplotného režimu riek na klimatické zmeny.

Na kvantifikáciu a predikciu budúceho vývoja kvality povrchovej vody vo vybraných profiloch boli aplikované autoregresné modely (ARIMA a SARIMA) s využitím aj bez využitia externých regresorov. Integrovaná analýza ukazuje, že rast teploty vody významne ovplyvňuje kľúčové ukazovatele kvality vody, najmä dostupnosť rozpusteného kyslíka, čo môže mať dôsledky pre vodné ekosystémy a manažment vodných zdrojov. Použitý modelový prístup predstavuje hodnotný nástroj pre predikciu budúceho vývoja a podporu adaptačných opatrení v podmienkach environmentálnych zmien.

**Kľúčové slová:** rieka Hron, kvalita povrchovej vody, analýza časových radov, autoregresné modelovanie

**PodĎakovanie:** Táto práca bola podporená projektom VEGA 2/0015/23 a projektom MVTs “WATSIM II”.

## SURFACE WATER QUALITY AND WATER TEMPERATURE DYNAMICS UNDER CHANGING ENVIRONMENTAL CONDITIONS IN THE HRON RIVER: TREND ANALYSIS AND MODELLING

Veronika Bačová Mitková<sup>1\*</sup>, Pavla Pekárová<sup>1</sup>, Dana Halmová<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Hydrology SAS, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovak Republic

\* corresponding author: mitkova@uh.savba.sk

### ABSTRACT

Water resources represent a key factor in ecosystem stability, the functioning of the landscape and economy, and the provision of water supply to the population, with surface water being of particular strategic importance due to its availability. In the context of increasing drought conditions, effective river basin management requires the analysis of long-term changes in both water quantity and quality. The Hron River basin, as a significant hydrological unit, plays a crucial role in regional water management, agriculture, and biodiversity conservation. After a period of severe contamination in the 1970s, pollution levels gradually decreased during the 1980s and 1990s, mainly due to the reduction of industrial and agricultural discharges and the construction of wastewater treatment plants. Despite this improvement, river recovery was repeatedly disrupted by ecological accidents, including the incident upstream of Banská Bystrica in 2003 and the accident near Budča in 2021.

Therefore, this study focuses on long-term changes in selected physicochemical water quality parameters and water temperature in the Hron River. The study integrates two approaches: (i) time series analysis, trend detection, and modelling of ammonium nitrogen ( $\text{N-NH}_4^+$ ), nitrate nitrogen ( $\text{N-NO}_3^-$ ), dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD), and pH, and (ii) modelling and prediction of long-term water temperature dynamics and its relationship with air temperature.

The results of the trend analysis of long-term water quality time series (1974–2021) at the Kamenica nad Hronom and Valaská monitoring stations indicate relatively stable dissolved oxygen levels, with only slight increasing trends in some months. Biochemical oxygen demand (BOD) shows a clear decreasing trend, particularly pronounced at the Valaská site. A significant long-term reduction in ammonium and nitrate nitrogen concentrations was observed, with a less pronounced but still present trend in Kamenica nad Hronom. pH values show a slight increasing trend, especially at Valaská.

The second part of the study examines long-term water temperature trends (1962–2020) at the Banská Bystrica and Brehy stations, as well as the assessment of extreme temperature conditions using multi-day maximum temperatures. The results demonstrate statistically significant increasing trends in mean monthly and annual water temperatures, particularly in winter, spring, and summer. These findings are consistent with the observed increase in air temperature and highlight the high sensitivity of river thermal regimes to climate change.

For quantification and prediction of future surface water quality development, autoregressive models (ARIMA and SARIMA), with and without exogenous regressors, were applied. The integrated analysis shows that increasing water temperature significantly affects key water quality indicators, particularly dissolved oxygen availability, which may have implications for aquatic ecosystems and water resource management. The modelling approach provides a valuable tool for forecasting future development and supporting adaptation measures under changing environmental conditions.

**Keywords:** Hron River, surface water quality parameters, time series analysis, autoregressive modeling

**Acknowledgements:** This work was supported by the VEGA Grant Agency under Contract No. 2/0015/23 “Comprehensive analysis of the quantity and quality of water regime development in streams and their mutual dependence in selected Slovak basins” and by project MVTs, “WATSIM II”.

## STANOVOVANIE NÁVRHOVÝCH HYDROLOGICKÝCH CHARAKTERISTÍK V PODMIENKACH KLIMATICKEJ ZMENY

Katarína Jeneiová<sup>1\*</sup>, Katarína Kotríková<sup>1</sup>, Zuzana Danáčová<sup>1</sup>, Jana Poórová<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 2305/17, 831 01 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: katarina.jeneiova@shmu.sk

### ABSTRAKT

Návrhové hydrologické charakteristiky predstavujú základ pre technické, environmentálne aj bezpečnostné rozhodnutia v oblasti vodného hospodárstva a plánovania. Slovenský hydrometeorologický ústav stanovuje a poskytuje návrhové hydrologické charakteristiky na základe Zákona 201/2009 Z.z. z 29. apríla 2009 o štátnej hydrologickej službe a štátnej meteorologickej službe. V príspevku sa zaoberáme stanovovaním návrhových hydrologických charakteristík so zameraním na dlhodobé priemerné ročné prietoky v podmienkach meniacej sa klímy. Analyzované boli údaje zo 116 vodomerných staníc s pozorovaním do roku 2020. Údaje zo 47 vodomerných staníc boli dostupné od roku 1961 a údaje zo 69 vodomerných staníc mali začiatok pozorovania medzi rokmi 1962 až 1970. Časové rady boli overené pomocou testov homogenity (Pettitov test, SNHT test, Buishandov test). Trendová analýza prietokov bola vykonaná pomocou Mann-Kendallovho testu a Theil-Senovho odhadu sklonu trendu. Výsledky boli spracované pre celé pozorované obdobie a naznačujú, že na celom území Slovenska bol identifikovaný prevažne klesajúci trend. Významnosť trendov je potrebné interpretovať s ohľadom na homogenitu časových radov a citlivosť výsledkov trendových analýz na dĺžku analyzovaného obdobia. Dlhodobé priemerné ročné prietoky za obdobie 1991-2020 sme ďalej porovnali s hodnotami za obdobie 1961-2000, a vyčíslili ich percentuálne odchýlky. Výsledky potvrdili výrazné regionálne rozdiely medzi jednotlivými povodiami. Vo väčšine hodnotených povodí prevažovali stanice s poklesom dlhodobých priemerných ročných prietokov. Kladné odchýlky boli zaznamenané najmä v povodiach Dunajca s Popradom a v horných častiach povodí Váhu a Hornádu. Dolné časti tokov v nížinných oblastiach vykazujú prevažne pokles prietokov, čo naznačuje citlivosť týchto oblastí na klimatické zmeny a zmeny zrážkového režimu. Získané výsledky predstavujú podklad pre aktualizáciu podrobnej mapy dlhodobého priemerného ročného odtoku potrebnej k stanoveniu návrhových hydrologických charakteristík v nameraných profiloch v hydrologickej praxi.

**Kľúčové slová:** hydrologické charakteristiky, dlhodobé priemerné ročné prietoky

**Pod'akovanie:** Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. VV-MVP-24-0208. Príspevok vznikol za podpory projektu „Udržiteľné hospodarení s podzemnými vodami v česko-slovenském příhraničí“, ITMS21+:403201DNJ4, Interreg Slovensko-Česko 2021-2027 spolufinancovaného Európskou úniou.

## ESTABLISHMENT OF DESIGN HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS UNDER CLIMATE CHANGE

Katarína Jeneiová <sup>1\*</sup>, Katarína Kotríková <sup>1</sup>, Zuzana Danáčová <sup>1</sup>, Jana Poórová <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Slovak Hydrometeorological Institute, Jeseniova 2305/17, 831 01 Bratislava, Slovak Republic

\*corresponding author: katarina.jeneiova@shmu.sk

### ABSTRACT

Design hydrological characteristics represent the basis for technical, environmental, and safety decisions in the field of water management and planning. The Slovak Hydrometeorological Institute establishes and provides design hydrological characteristics based on Act 201/2009 Coll. of 29 April 2009 on the State Hydrological Service and the State Meteorological Service. In this contribution, we deal with the establishment of design hydrological characteristics with a focus on long-term mean annual discharges in conditions of a changing climate. Data from 116 water gauging stations with observations until 2020 were analysed. Data from 47 water gauging stations were available from 1961, and data availability from 69 water gauging stations was between 1962 and 1970. Time series were verified using homogeneity tests (Pettit test, SNHT test, Buishand test). Trend analysis was performed using the Mann-Kendall test and the Theil-Sen estimate. The results were processed for the entire observed time period, and indicate that a predominantly decreasing trend was identified throughout the territory of Slovakia. The significance of trends needs to be interpreted with regard to the homogeneity of the time series, and the results of trend analyses are sensitive to the length of the analysed period. We further compared the long-term mean annual discharges for the period 1991-2020 with the values for the period 1961-2000, and quantified their percentage deviations. The results confirmed significant regional differences between individual river basins. In most of the evaluated river basins, stations with a decrease in long-term mean annual discharges prevailed. Positive deviations were recorded mainly in the Dunajec and Poprad River basins, and in the upper parts of the Váh and Hornád River basins. The lower reaches of streams in lowland areas show predominantly decrease in discharge, which indicates the sensitivity of these areas to climate change and changes in precipitation regime. The obtained results represent the basis for updating the map of long-term mean annual runoff necessary to determine the design hydrological characteristics in ungauged profiles in hydrological practice.

**Keywords:** hydrological characteristics, long-term mean annual discharge

**Acknowledgements:** This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. VV-MVP-24-0208. This work was supported as part of project „Udržitelné hospodaření s podzemními vodami v česko-slovenském příhraničí“, ITMS21+:403201DNJ4, an Interreg Slovensko-Česko 2021-2027 Programme project co-funded by the European Union.

## DYNAMIKA PODZEMNÍCH VOD V DLOUHODOBÉM HORIZONTU V OBLASTI HYDROPEDOLOGICKÉHO PROFILU LADNÁ

Hana Hornová<sup>1\*</sup>, Alice Musilová<sup>1</sup>, Anna Lamačová<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Český hydrometeorologický ústav, Kroftova 2578/43, 616 67 Brno, Česká republika

<sup>2</sup>Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4 - Komořany, Česká republika

\*korešpondenční autor: hana.hornova@chmi.cz

### ABSTRAKT

Hydropedologický profil (HP) Ladná, součást monitorovací sítě ČHMÚ, představuje jeden z nejdéle kontinuálně sledovaných profilů mělké podzemní vody v lužní nivě v České republice. Lokalita v nivě Dyje v oblasti soutoku Moravy a Dyje byla během druhé poloviny 20. století výrazně ovlivněna regulací toku, melioračními úpravami a výstavbou vodního díla Nové Mlýny. Dlouhodobý monitoring proto umožňuje hodnotit vliv klimatické variability a vodohospodářských zásahů na hydrologický režim nivní krajiny. Profil byl vybudován v roce 1948 v souvislosti s plánovanou výstavbou průplavu Dunaj–Odra–Labe. Studie vychází z analýzy více než 25 vrtů rozmístěných kolmo ke korytu Dyje v délce přibližně 4,3 km. Dataset byl homogenizován na jednotný měsíční krok a klimatický kontext byl hodnocen na základě dat ze stanice Lednice. Cílem práce je analyzovat dlouhodobou dynamiku hladin podzemních vod v HP Ladná, identifikovat prostorové rozdíly v režimu hladiny podzemní vody (HPV) a posoudit vliv klimatických faktorů a vodohospodářských úprav na vývoj podzemních vod v nivě Dyje. Pro hodnocení trendů byly využity neparametrické statistické metody doporučené pro hydrologické časové řady. Směr a velikost trendů byly stanoveny pomocí Theilova–Senova odhadu sklonu a jejich statistická významnost byla testována Mannovým–Kendallovým testem s odstraněním vlivu autokorelace metodou trend-free pre-whitening (TFPW). Významné změny v časových řadách byly identifikovány pomocí Pettittovy change-point analýzy.

Výsledky potvrzují vysokou hydraulickou propojenost mezi podzemní vodou, tokem Dyje a vodními prvky lužního lesa. Ve všech sledovaných vrtech bylo zjištěno výrazné sezónní kolísání hladin s maximy na jaře a minimy na podzim. Analýza zároveň prokázala dlouhodobý pokles hladiny podzemní vody u většiny sledovaných objektů. Statisticky významný klesající trend byl identifikován u 17 z 25 hodnocených vrtů. Nejvýraznější pokles byl zaznamenán u vrtu KB0696, kde celková změna dosáhla přibližně –83 cm za celé sledované období. U většiny detailně hodnocených vrtů byl současně prokázán pokles roční amplitudy HPV. Pettittova change-point analýza odhalila prostorově diferencované změny režimu podzemních vod. Na levém břehu Dyje byly významné změny detekovány přibližně kolem roku 1972, zatímco v lužním lese na pravém břehu až kolem roku 1989. Tyto změny časově odpovídají melioračním úpravám a regulaci toku Dyje, respektive uvedení dolní nádrže vodního díla Nové Mlýny do provozu. Významný antropogenní vliv byl identifikován také v okolí vrtů KB0706–KB0708, kde se po roce 1988 projevil výrazný pokles HPV v souvislosti se zahájením čerpání podzemní vody pro vodárenské účely. Výraznou výjimku z dominantního sestupného trendu představují vrty KB0710 a KB0719 v jihozápadní části lužního lesa, u nichž byl zjištěn statisticky významný vzestupný trend pravděpodobně související s dlouhodobým řízeným zavodňováním lužního lesa realizovaným od 90. let 20. století. Výsledky potvrzují význam dlouhodobého monitoringu podzemních vod pro hodnocení změn hydrologického režimu nivních oblastí a představují důležitý podklad pro ochranu vodních zdrojů a management lužních ekosystémů v oblasti soutoku Moravy a Dyje.

**Klíčová slova:** hydropedologický profil, lužní les, podzemní voda, statistická analýza

**Poděkování:** Tato práce byla podpořena projektem 403201DNJ4 INTERREG Slovensko – Česko 2021 - 2027 „Udržitelné hospodaření s podzemními vodami v česko-slovenském příhraničí“.

## LONG TERM GROUNDWATER DYNAMICS IN THE AREA OF THE LADNÁ HYDROPEDOLOGICAL PROFILE

Hana Hornová<sup>1\*</sup>, Alice Musilová<sup>1</sup>, Anna Lamačová<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Czech Hydrometeorological Institute, Kroftova 2578/43, 616 67 Brno, Czech Republic

<sup>2</sup>Czech hydrometeorological Institute, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4 - Komořany, Czech Republic

\*corresponding author: hana.hornova@chmi.cz

### ABSTRACT

The Ladaná hydrogeological profile (HP), part of the CHMI monitoring network, represents one of the longest continuously monitored shallow groundwater profiles in a floodplain in the Czech Republic. The site in the Dyje floodplain near the confluence of the Morava and Dyje rivers was significantly affected during the second half of the 20th century by river regulation, land improvement works, and the construction of the Nové Mlýny waterworks. Long-term monitoring therefore allows for the assessment of the impact of climate variability and water management interventions on the hydrological regime of the floodplain landscape. The monitoring profile was established in 1948 in connection with the planned construction of the Danube–Oder–Elbe Canal. The study is based on an analysis of more than 25 boreholes located perpendicular to the Dyje riverbed over a length of approximately 4.3 km. The dataset was homogenized to a uniform monthly interval, and the climatic context was assessed based on data from the Lednice station. The aim of this study is to analyze the long-term dynamics of groundwater levels at the Ladaná monitoring station, identify spatial variations in the groundwater level regime (GWR), and assess the influence of climatic factors and water management interventions on groundwater development in the Dyje floodplain. Nonparametric statistical methods recommended for hydrological time series were used to evaluate trends. The direction and magnitude of the trends were determined using the Theil–Sen slope estimate, and their statistical significance was tested using the Mann–Kendall test with autocorrelation removed via the trend-free pre-whitening (TFPW) method. Significant changes in the time series were identified using Pettitt’s change-point analysis.

The results confirm a high degree of hydraulic connectivity between groundwater, the Dyje River, and the water bodies of the floodplain forest. Significant seasonal fluctuations in water levels were observed in all monitored wells, with peaks in spring and troughs in autumn. The analysis also demonstrated a long-term decline in groundwater levels at most of the monitored sites. A statistically significant downward trend was identified in 17 of the 25 evaluated wells. The most pronounced decline was recorded at borehole KB0696, where the total change reached approximately –83 cm over the entire monitoring period. A decrease in the annual HPV amplitude was also demonstrated for most of the boreholes evaluated in detail. Pettitt’s change-point analysis revealed spatially differentiated changes in the groundwater regime. On the left bank of the Dyje River, significant changes were detected around 1972, while in the floodplain forest on the right bank, they were observed around 1989. These changes correspond in time to land improvement works and the regulation of the Dyje River flow, as well as the commissioning of the lower reservoir of the Nové Mlýny hydroelectric power plant. A significant anthropogenic influence was also identified in the vicinity of boreholes KB0706–KB0708, where a marked decline in HPV occurred after 1988 in connection with the commencement of groundwater pumping for water supply purposes. A notable exception to the dominant downward trend is represented by boreholes KB0710 and KB0719 in the southwestern part of the floodplain forest, where a statistically significant upward trend was observed, likely related to the long-term controlled irrigation of the floodplain forest implemented since the 1990s. The results confirm the importance of long-term groundwater monitoring for assessing changes in the hydrological regime of floodplain areas and provide an important basis for the protection of water resources and the management of floodplain ecosystems in the area of the confluence of the Morava and Dyje rivers.

**Keywords:** hydrogeological profile, floodplain forest, groundwater, statistical analysis

**Acknowledgements:** This work was supported by project 403201DNJ4 INTERREG Slovakia–Czech Republic 2021–2027 “Sustainable Groundwater Management in the Czech-Slovak Border Region.”

## VPLYV SUCHA NA VYSYCHANIE PRAMEŇOV

Lucia Hagara Pivarčiová<sup>1\*</sup>, Valéria Slivová<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Slovenský hydrometeorologický ústav, Bôrická cesta 103, 011 13 Žilina, Slovenská republika

<sup>2</sup> Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 2305/17, 831 01 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: Lucia.Hagara-Pivarciova@shmu.sk

### ABSTRAKT

Podzemná voda stráca schopnosť efektívne stabilizovať hydrologický režim v období sucha. Výdatnosť prameňov priamo odráža aktuálny stav zásob v hydrogeologických štruktúrach. Pre analýzu vplyvu sucha na vysychanie prameňov bolo vybraných 9 monitorovacích objektov štátnej hydrologickej siete, na ktorých sa v hodnotenom období 2020–2024 vyskytli obdobia s nulovou výdatnosťou. Významnú úlohu zohráva aj geologické prostredie, v ktorom sa dané pramene nachádzajú. Hodnotené pramene sú situované v 6 útvaroch podzemných vôd. Prameň č. 320 Pribylina, Surový Hrádok sa nachádza v útvere s puklinovou priepustnosťou tvorenou prevažne pieskovo-ílovcovým súvrstvom. Pramene č. 351 Liptovský Ján, Vyvieračka; č. 509 Vitanová, Oravice, Teplica; č. 546 Habovka, Blatná dolina 6; č. 1872 Plešivec, Pod Vápenkou; č. 1884 Kunova Teplica, Zugo, jaskyňa; č. 1910 Muráň, V obci a č. 1911 Muráň, Dovalka sa nachádzajú v útvaroch s krasovo – puklinovou priepustnosťou, tvorených vápencami a dolomitmi. Pramene v týchto krasovo - puklinových štruktúrach reagujú na zrážkový deficit takmer okamžite. Prameň č. 2292 Lúčina, V Suche doline sa nachádza v útvere s puklinovo - pórovou priepustnosťou tvorenou prevažne andezitmi a vulkanoklastickými sedimentmi.

Charakter sledovaných prameňov bol posúdený podľa stupňa rozkolísanosti a miery premenlivosti ich výdatnosti. Všetky analyzované pramene sú mimoriadne nevyrovnané a patria do kategórie variabilných prameňov. Vysoká variabilita je priamym dôkazom ich závislosti od okamžitých zrážok a straty akumulácie schopnosti prostredia, čím sa pôvodne stabilné zdroje menia na dynamické a zraniteľné systémy. Výsledky dokumentujú priamy vplyv zmeny klímy na narušenie ich štandardného hydrologického režimu. V dôsledku teplých zím a absencie snehovej pokrývky dochádza k posunu maximálnych výdatností z jarného obdobia do zimných mesiacov. Jarné obdobia sú suchšie a dominantným zdrojom dopĺňania sa stávajú nárazové zrážkové javy. Kvôli vysokým teplotám sa však intenzívne zrážky často odparia skôr, než stihnú preniknúť do hlbších štruktúr. Minimálne stavy prameňov majú v sledovanom období klesajúcu tendenciu.

Absencia tuhých zrážok v zimnom a kvapalných v letnom období, vysoké teploty a evapotranspirácia v hydrologickom roku 2022 mali v danom roku veľmi negatívny vplyv na podzemnú vodu. Tieto negatívne klimatické pomery výrazne zasiahli zásoby podzemnej vody, čo sa prejavilo nielen výrazným poklesom výdatnosti prameňov, ale aj ich následným vyschnutím. Na ôsmich hodnotených prameňoch došlo k vyschnutiu a to hlavne v zimnom a v letno-jesenom období. Z pohľadu hodnotenia sucha v podzemnej vode bol hydrologický rok 2022 vyhodnotený ako najsuchší rok z hodnoteného obdobia piatich rokov (2020–2024). Výsledky potvrdzujú rastúcu hydrologickú nestabilitu prameňov a slúžia ako dôležitý podklad pre manažment ochrany vodných zdrojov.

**Kľúčové slová:** sucho, podzemná voda, hydrologický režim, výdatnosť prameňov, klimatická zmena

## THE IMPACT OF DROUGHT ON THE DRYING UP OF SPRINGS

Lucia Hagara Pivarčiová<sup>1\*</sup>, Valéria Slivová<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Slovak Hydrometeorological Institute, Bôrická cesta 103, 011 13 Žilina, Slovak Republic

<sup>2</sup> Slovak Hydrometeorological Institute, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, Slovak Republic

\*corresponding author: Lucia.Hagara-Pivarciova@shmu.sk

### ABSTRACT

Groundwater is losing its capacity to effectively stabilize the hydrological regime during drought periods. Spring yield directly reflects the current state of storage within hydrogeological structures. To analyse the impact of drought on the drying up of springs, nine monitoring stations from the state hydrological network were selected, all of which exhibited periods of zero discharge during the evaluated period of 2020–2024. The geological environment in which the springs are located also plays a significant role. The evaluated springs are situated within six groundwater bodies characterized by fractured, karstic-fractured, and porous-fractured permeability. Spring No. 320 Pribylina, Surový Hrádok is located in a groundwater body with fractured permeability, formed predominantly by a sandstone-claystone sequence. Springs No. 351 Liptovský Ján, Vyvieračka; No. 509 Vitanová, Oravice, Teplica; No. 546 Habovka, Blatná dolina 6; No. 1872 Plešivec, Pod Vápenkou; No. 1884 Kunova Teplica, Zugo, cave; No. 1910 Muráň, V obci and No. 1911 Muráň, Dovalka are located in groundwater bodies with karstic-fractured permeability, formed by limestones and dolomites. Springs in these karstic - fractured structures react to precipitation deficits almost immediately. Spring No. 2292 Lúčina, V Suchej doline is located in a groundwater body with porous-fractured permeability, formed predominantly by andesites and neogene volcanoclastic sediments.

The nature of the monitored springs was assessed based on the degree of fluctuation and the variability of their discharge. All analysed springs are highly unstable and fall into the category of variable springs. This high variability directly evidences their dependence on immediate precipitation and the loss of the environment's storage capacity, shifting originally stable water sources into dynamic and vulnerable systems. The results demonstrate a direct impact of climate change on the disruption of their standard hydrological regime. Due to warm winters and the absence of snow cover, maximum discharges are shifting from springtime to the winter months. Springtime seasons are becoming drier, and episodic precipitation events are becoming the dominant source of recharge instead of gradual infiltration. However, due to high temperatures, intense precipitation often evaporates before it can penetrate into deeper structures. Minimum spring yields show a declining trend during the monitored period.

The absence of solid precipitation in the winter period and liquid precipitation in the summer period, combined with high temperatures and evapotranspiration in the hydrological year 2022, had a highly negative impact on groundwater in that year. These adverse climatic conditions significantly affected groundwater storage, which manifested not only in a sharp decline in spring yields but also in their subsequent drying up. Drying up occurred at eight of the evaluated springs, predominantly during the winter and late summer-autumn periods. From the perspective of groundwater drought assessment, the hydrological year 2022 was evaluated as the driest year within the analysed five-year period (2020–2024). The results confirm the growing hydrological instability of springs and serve as an important baseline for water resource management and protection.

**Keywords:** drought, groundwater, hydrological regime, spring yield, climate change

## VPLYV OTEPLOVANIA KLÍMY NA ZMENY HYDROLOGICKEJ BILANCIE V MALOM ZALESNENOM POVODÍ VYDRICE V OBDOBÍ 1961–2020

Pavol Miklánek<sup>1\*</sup>, Pavla Pekárová<sup>1</sup>, Ivan Mészáros<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ústav hydrologie SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: miklanek@uh.savba.sk

### ABSTRAKT

Štúdia analyzuje dlhodobé zmeny vodnej bilancie v malom zalesnenom povodí Vydrice nad profilom Spariská v období 1961–2020 a hodnotí ich vo vzťahu k rastúcej teplote vzduchu. Povodie Vydrice po profil Spariská s plochou 7,25 km<sup>2</sup> je horná, výrazne zalesnená časť toku v Malých Karpatoch, s nadmorskou výškou približne 321–589 m n. m. a priemernou výškou okolo 405 m n. m. Prevažne kambizolové pôdy na mezozoických pieskovcoch, bridliciach a vápencoch a úzke pásy kvartérnych náplavov v inundácii vytvárajú významný zásobník podzemnej vody hydraulicky prepojenej s korytom toku. Viac než 90% plochy pokrývajú bukové a zmiešané lesy Bratislavského lesoparku, čo spolu s ochranným režimom územia zabezpečuje dlhodobu stabilnú vegetačnú pokrývku a vysoký evapotranspiračný dopyt.

Hydrologická bilancia bola zostavená z ročných úhrnov zrážok, odtoku a odvodených hodnôt bilančnej evapotranspirácie pri predpoklade zanedbateľných dlhodobých zmien zásob podzemnej a pôdnej vody v 60-ročnom horizonte. Územné zrážkové úhrny boli určené zo staníc Bratislava–Koliba, Malý Javorník a Bratislava–letisko s využitím výškového zrážkového gradientu, odtok z meraných prietokov na stanici Spariská.

Z porovnania bilancie za dve 30-ročné obdobia 1961–1990 a 1991–2020 vyplýva, že priemerný ročný úhrn zrážok sa zvýšil z 734 na 798 mm a zároveň stúpla priemerná ročná teplota vzduchu z 9,34 na 10,65 °C. Zároveň, priemerná ročná výška odtoku klesla z 261 na 240 mm. Z toho vyplýva nárast bilančnej evapotranspirácie z 473 na 558 mm, teda o 85 mm, ktorý prevýšil nárast zrážok. V dlhšom časovom kontexte období 1931–1940, 1961–1990 a 1991–2020 sa celkový trend prejavuje systematickým zvyšovaním teploty, miernym kolísaním zrážok a významnou redukciou odtoku, čo je typické pre malé zalesnené povodia v miernom pásme.

Analýza sezónneho režimu odtoku ukazuje, že priemerné jarné maximá prietokov nastupujú skôr, zatiaľ čo trvanie letných nízkych prietokov sa predlžuje a prehľbuje, hoci letné zrážkové úhrny v druhom období lokálne neklesli. Rozdiel medzi vývojom zrážok a odtoku potvrdzuje, že kľúčovým faktorom zmeny vodnej bilancie nie je pokles zrážok, ale zvýšený evapotranspiračný dopyt spojený s otepľovaním klímy a hustým lesným porastom. Vysoký stupeň zalesnenia povodia, dominancia bukových porastov a stabilná vegetačná pokrývka v rámci chráneného územia podporujú intenzívnu transpiráciu a dlhodobé vyčerpanie základného odtoku. Dlhodobá bilancia tak dokumentuje, že v malom zalesnenom povodí Vydrice spôsobilo postupné otepľovanie klímy výrazný posun od odtoku k evapotranspirácii, čo znižuje disponibilné vodné zdroje a zvyšuje zraniteľnosť ekosystému voči letno-jesennému suchu.

**Kľúčové slová:** hydrologické bilancia; dlhodobé trendy odtoku; zalesnené povodie; Vydrica; Malé Karpaty

**Pod'akovanie:** Táto práca bola podporená projektom VEGA 2/0015/23 a projektom MVTs "WATSIM II".

## IMPACT OF CLIMATE WARMING ON CHANGES IN THE HYDROLOGICAL BALANCE IN THE SMALL VYDRICA CATCHMENT DURING 1961–2020

Pavol Miklánek <sup>1\*</sup>, Pavla Pekárová <sup>1</sup>, Ivan Mészáros <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Hydrology SAS, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovak Republic

\*corresponding author: pekarova@uh.savba.sk

### ABSTRACT

This study analyses long-term changes in the water balance of the small forested Vydrica catchment upstream of the Spariská gauging station over the period 1961–2020 and evaluates them in relation to rising air temperature. The Vydrica catchment up to Spariská, with an area of 7.25 km<sup>2</sup>, represents the upper, strongly forested part of the stream in the Little Carpathians, with elevations of approximately 321–589 m a.s.l. and an average altitude of about 405 m a.s.l. Predominantly cambisol soils developed on Mesozoic sandstones, shales and limestones, together with narrow belts of Quaternary alluvial deposits in the floodplain, form an important groundwater reservoir hydraulically connected to the stream channel. More than 90% of the area is covered by beech and mixed forests of the Bratislava Forest Park, which, together with the protection status of the area, ensures long-term stable vegetation cover and high evapotranspiration demand.

The hydrological balance was compiled from annual precipitation totals, runoff and derived values of water-balance evapotranspiration, assuming negligible long-term changes in groundwater and soil water storage over the 60-year period. Areal precipitation totals were estimated from the Bratislava–Koliba, Malý Javorník and Bratislava–Airport stations using the vertical precipitation gradient, while runoff was derived from measured discharges at the Spariská station.

A comparison of the balance for two 30-year periods, 1961–1990 and 1991–2020, shows that the mean annual precipitation total increased from 734 to 798 mm, while the mean annual air temperature rose from 9.34 to 10.65 °C. At the same time, the mean annual runoff depth decreased from 261 to 240 mm. Consequently, water-balance evapotranspiration increased from 473 to 558 mm, i.e. by 85 mm, exceeding the increase in precipitation. In the longer-term context of the periods 1931–1940, 1961–1990 and 1991–2020, the overall trend is characterised by a systematic increase in temperature, moderate variability in precipitation and a pronounced reduction in runoff, which is typical of small forested catchments in temperate regions.

Analysis of the seasonal runoff regime shows that average spring flow maxima occur earlier, whereas the duration and severity of summer low flows increase, even though summer precipitation totals in the second period did not decrease locally. The divergence between precipitation and runoff trends confirms that the key driver of water-balance change is not a reduction in precipitation, but an enhanced evapotranspiration demand associated with climate warming and dense forest cover. The high degree of catchment afforestation, dominance of beech stands and stable vegetation cover within a protected area promote intense transpiration and long-term depletion of baseflow.

The long-term balance thus documents that gradual climate warming in the small forested Vydrica catchment has caused a marked shift from runoff towards evapotranspiration, reducing available water resources and increasing ecosystem vulnerability to late-summer and autumn drought.

**Keywords:** Hydrological balance; long-term runoff trends; forested catchment; Vydrica; Little Carpathians

**Acknowledgements:** This work was supported by the VEGA Grant Agency under Contract No. 2/0015/23 “Comprehensive analysis of the quantity and quality of water regime development in streams and their mutual dependence in selected Slovak basins” and by project MVTs, “WATSIM II”.



**Sekcia 3 Nové metódy a digitálne technológie v hydrológii vrátane AI**

**Section 3 New methods and digital technologies in hydrology including AI**

# INTEGRÁCIA LIDAROVÝCH A TERÉNNÝCH ÚDAJOV PRE SPRESNENIE GEOMETRICKÝCH VSTUPOV V HYDRAULICKOM A HABITATOVOM MODELOVANÍ

Zuzana Štefunková<sup>1\*</sup>, Peter Ivan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovenská republika

<sup>2</sup> Slovenský vodohospodársky podnik, š. p., Partizánska cesta 69, 974 98 Banská Bystrica, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: zuzana\_stefunkova@stuba.sk

## ABSTRAKT

Presná reprezentácia geometrie riečného koryta predstavuje základný predpoklad pre spoľahlivé hydraulické a akvatické habitatové modelovanie. Viaceré štúdie poukazujú na význam presného zachytenia geometrie koryta pri hydraulickom modelovaní, určovaní batymetrie riečnych koryt a hodnotení kvality akvatických habitatov s využitím LiDARových údajov. LiDARové údaje poskytujú detailnú topografiu územia s vysokým priestorovým rozlíšením, avšak nedokážu zachytiť batymetriu dna koryta. Tento nedostatok môže byť významný najmä pri hodnotení kvality akvatického habitatu, kde zohrávajú hĺbka vody a morfológická štruktúra dna dôležitú úlohu. Kvalita a presnosť vstupných geometrických údajov preto výrazne ovplyvňujú výslednú reprezentáciu hydraulických podmienok v toku a následné hodnotenie vhodnosti prostredia pre vodné organizmy.

Štúdia bola realizovaná na vybranom úseku toku Osrblianka a zameriava sa na testovanie kvality geometrických vstupov odvodených z rôznych zdrojov dát. Porovnávané sú údaje získané výlučne z terénneho zamerania s údajmi z terénu, ktoré boli následne korigované a doplnené pomocou LiDARových údajov (formát LAS). Osobitná pozornosť je venovaná využitiu priečných profilov zameraných v charakteristických častiach toku, ktoré sú následne interpolované a upravené s využitím plošných LiDARových dát, s cieľom dosiahnuť čo najrealistickejšiu reprezentáciu morfológie riečného koryta a príľahlého územia. Takýto prístup nadväzuje na existujúce štúdie kombinujúce terénne merania a LiDARové údaje pri tvorbe detailných digitálnych modelov reliéfu riečného prostredia.

Na hodnotenie kvality akvatického habitatu boli použité zovšeobecnené vhodnostné krivky, ktoré na základe hydraulických charakteristík, ako sú hĺbka vody, rýchlosť prúdenia a charakter dna, umožňujú určiť mieru vhodnosti podmienok pre vybrané druhy vodných organizmov. Vhodnostné krivky predstavujú štandardne využívaný nástroj habitatového modelovania, ktorý prepája hydraulické a morfológické charakteristiky toku s ekologickými nárokmi vodných organizmov. Výsledky poukazujú na význam presného zachytenia dna koryta pre reprezentáciu hydraulických parametrov a následné hodnotenie habitatovej kvality. Doplnenie terénnych meraní o LiDARové údaje vedie k spresneniu geometrických vstupov pre hydraulické a habitatové modelovanie. Zároveň naznačuje potenciál využitia LiDARových dát pri identifikácii morfológicky homogénnych a heterogénnych úsekov toku, čo môže prispieť k cielenej optimalizácii hustoty terénneho zamerania priečných profilov.

**Kľúčové slová:** LiDAR, akvatický habitat, habitatové modelovanie, geometria riečného koryta, vhodnostné krivky, priečne profily

**Pod'akovanie:** Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. VV-MVP-24-0208 a grantovou agentúrou VEGA na základe zmluvy č. VEGA 1/0067/23.

## INTEGRATION OF LiDAR AND FIELD DATA FOR REFINING GEOMETRIC INPUTS IN HYDRAULIC AND HABITAT MODELING

Zuzana Štefunková <sup>1\*</sup>, Peter Ivan <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Civil Engineering, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic

<sup>2</sup> Slovak Water Management Enterprise, State Enterprise, Partizánska cesta 69, 974 98 Banská Bystrica, Slovak Republic

\*corresponding author: zuzana\_stefunkova@stuba.sk

### ABSTRACT

Accurate representation of river channel geometry is a fundamental prerequisite for reliable hydraulic and aquatic habitat modelling. Several studies have highlighted the importance of precise channel geometry representation in hydraulic modelling, riverbed bathymetry determination, and aquatic habitat quality assessment using LiDAR data. LiDAR data provide detailed topographic information with high spatial resolution; however, they are unable to capture riverbed bathymetry beneath the water surface. This limitation may be particularly significant in aquatic habitat assessment, where water depth and riverbed morphological structure play an important role. Therefore, the quality and accuracy of geometric input data significantly influence the representation of hydraulic conditions within the stream and the subsequent assessment of habitat suitability for aquatic organisms.

The study was conducted on a selected reach of the Osrblianka stream and focuses on testing the quality of geometric inputs derived from different data sources. Data obtained exclusively from field surveying are compared with field data subsequently corrected and supplemented using LiDAR data (LAS format). Special attention is given to the use of cross-sections surveyed in characteristic parts of the stream, which are subsequently interpolated and adjusted using areal LiDAR data in order to achieve the most realistic representation of river channel morphology and the surrounding area. This approach follows existing studies combining field measurements and LiDAR data for the development of detailed digital terrain models of river environments.

Generalized habitat suitability curves were used to assess aquatic habitat quality. Based on hydraulic characteristics such as water depth, flow velocity, and substrate composition, these curves enable the determination of habitat suitability for selected aquatic organisms. Habitat suitability curves represent a standard tool in habitat modelling, linking hydraulic and morphological stream characteristics with the ecological requirements of aquatic organisms. The results highlight the importance of accurate riverbed representation for hydraulic parameter simulation and subsequent habitat quality assessment. Supplementing field measurements with LiDAR data improves the accuracy of geometric inputs for hydraulic and habitat modelling. At the same time, the study indicates the potential of LiDAR data for identifying morphologically homogeneous and heterogeneous stream reaches, which may contribute to the targeted optimization of cross-section survey density.

**Keywords:** LiDAR, aquatic habitat, habitat modelling, river channel geometry, habitat suitability curves, cross-sections

**Acknowledgements:** This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under Contract No. VV-MVP-24-0208 and by the VEGA Grant Agency under Contract No. VEGA 1/0067/23.

## VZÁJOMNÝ VZŤAH TRANSPORTU PRVKOV PRI SEDIMENTÁCII V MALEJ VODNEJ NÁDRŽI BLATNÉ

Andrej Válek<sup>1,2\*</sup>, Tatiana Kaletová<sup>2</sup>, Ľuboš Jurík<sup>2</sup>, Marta Lentartowicz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Slovenský vodohospodársky podnik, š.p. Povodie Dunaja, odštepny závod, Martinská 49, 821 05 Bratislava

<sup>2</sup>Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra,  
Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: valek.andrej.svp@gmail.com

### ABSTRAKT

Sedimenty vodných nádrží sú výsledkom procesov v krajine. Zloženie a množstvo dnových sedimentov, ktoré sa hromadia v útvaroch povrchových vôd, ako sú vodné toky a nádrže, odráža ekologický stav územia. Poskytuje informácie nielen o vplyve ľudskej činnosti, ale aj o erózných procesoch prebiehajúcich v danom povodí. Sedimenty vo vodných nádržiach znižujú priestory nádrže, a tým ovplyvňujú ich pôvodnú funkciu, na ktorú boli vybudované. Na druhej strane môžu byť aj zdrojom živín a mikroprvkov nevyhnutných pre rast rastlín. Cieľom príspevku je analýza vzťahu podielu ílovitej zložky dnových sedimentov (častice pod 2 µm) s obsahom prvkov P, Ca, Ni, Zn a Mg v sedimentoch malej vodnej nádrže (MVN) Blatné. MVN Blatné sa nachádza v Bratislavskom kraji, okrese Senec. Bola budovaná v rokoch 1965 až 1968, kedy následnej bola spustená do trvalej prevádzky. Je vybudovaná na vodohospodársky významnom vodnom toku Stoličný potok. Povodie MVN má plochu 62,168 m<sup>2</sup> s priemerným sklonom 9,32 %, celková zatopená plocha je 15,76 ha a projektovaný zásobný objem 310 000 m<sup>3</sup>. Služi na intenzívny chov rýb, závlahu a vodné športy, najmä vodné lyžovanie.

Sedimenty boli odobrané po výlove v decembri roku 2023, v troch priečných líniách, v piatich bodoch, v dvoch hĺbkach 5 a 20 cm. Spolu bolo odobraných 30 vzoriek. Vzorky sme na analýzu pripravili sušením v laboratórnej sušiarňi pri teplote 105 °C do konštantnej hmotnosti, rozdrvením a preosiatím cez 2 mm sito. Pred samotnou analýzou bola vzorka homogenizovaná premiešaním a kvartovaním. Zrnitostné zloženie sedimentov sme merali pomocou analyzátoru pôdnych častíc Pario (Meter Group, Nemecko). PARIO používa metódu integrálnej suspenzie na určenie distribúcie veľkostí častíc z poklesu tlaku v hĺbke merania v suspenzii. Je založená na Stokesovom zákone. Samotné meranie prebiehalo pomocou softvéru PARIO control, kde ako vstupné údaje boli zadané merná hmotnosť vzorky a hmotnosť použitej vzorky. Spresnenie výsledkov bolo doplnené výsledkami mokrého sitovania pri veľkosti sít 500, 250 a 50 µm, pričom vysušené množstvo zachytených sedimentov na jednotlivých sítach bolo dopočítané na percentuálny podiel a zadané do softvéru. Na základe týchto údajov softvér vypočítal podiel frakcie piesku, prachu a ílu a určil pôdny druh podľa USDA klasifikácie. Prvky P, Ca, Ni, Zn a Mg v sedimentoch sme analyzovali za pomoci ručného, energetického, disperzného, röntgenového, fluorescenčného spektrometra (XRF) Vanta. Vysušené a homogenizované vzorky boli analyzované päťkrát, pričom boli medzi jednotlivými meraniami premiešané. Z vykonaných analýz bol vypočítaný aritmetický priemer, ktorý sme použili pri vyhodnocovaní. Výsledky laboratórnych analýz boli vyhodnotené pomocou štatistických metód. Pre porovnanie výsledkov v MVN sme použili Pearsonov korelačný koeficient a regresný koeficient. Pre interpretáciu Pearsonovho korelačného koeficientu sme použili hodnoty podľa Chajdiaka.

Výsledky korelácie a regresie ukazujú na pozitívnu strednú závislosť hodnôt podielu ílu a prvkov Ni a Zn, slabú závislosť pre P a žiadnu pre Mg. Prvok Ca má negatívnu slabú závislosť na podiele ílovitých častíc. Z výsledkov vyplýva, že mikroprvky majú väčšiu tendenciu byť viazané na jemné pôdne častice, zatiaľ čo makroprvky viac podliehajú transportu v rámci nádrže a uvoľňovaniu do vodného prostredia.

**Kľúčové slová:** sedimenty, antropogénny vplyv, priestory vodnej nádrže, závislosť

**Pod'akovanie:** Táto práca bola podporená projektom VEGA 1/0681/24.

## THE INTERRELATIONSHIP OF ELEMENT TRANSPORT DURING SEDIMENTATION IN THE BLATNÉ SMALL WATER RESERVOIR

Andrej Válek<sup>1,2\*</sup>, Tatiana Kaletová<sup>2</sup>, Ľuboš Jurík<sup>2</sup>, Marta Lentartowicz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Slovak Water Management Enterprise, s. e., Danube catchment, branch office, Martinská 49, 821 05 Bratislava, Slovakia

<sup>2</sup> Faculty of Horticulture and Landscape Engineering, Slovak University of Agriculture in Nitra, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovakia

\*corresponding author: valek.andrej.svp@gmail.com

### ABSTRACT

Sediments in water bodies are the result of processes occurring in the landscape. The composition and quantity of bottom sediments that accumulate in surface water bodies, such as watercourses and reservoirs, reflect the ecological condition of the area. It provides information not only on the impact of human activity but also on the erosion processes occurring in a given watershed. Sediments in water reservoirs reduce the reservoir's capacity, thereby affecting the original function for which they were built. On the other hand, they can also be a source of nutrients and trace elements essential for plant growth. The aim of this paper is to analyse the relationship between the proportion of the clay component of bottom sediments (particles under 2  $\mu\text{m}$ ) and the content of the elements P, Ca, Ni, Zn, and Mg in the sediments of the Blatné Small Water Reservoir (SWR). The SWR Blatné is in the Bratislava Region, Senec District. It was constructed between 1965 and 1968, after which it was put into permanent operation. It is built on the Stoličný potok, a watercourse of significant importance for water management. The reservoir's catchment area covers 62,168  $\text{m}^2$  with an average slope of 9.32%; the total flooded area is 15.76 ha, and the designed storage capacity is 310,000  $\text{m}^3$ . It is used for intensive fish farming, irrigation, and water sports, particularly water skiing.

Sediment samples were collected after the fish catching in December 2023 along three transects at five points and at two depths (5 and 20 cm). A total of 30 samples were collected. We prepared the samples for analysis by drying them in a laboratory oven at 105  $^{\circ}\text{C}$  to constant weight, crushing them, and sieving them through a 2 mm sieve. Before the analysis itself, the sample was homogenized by mixing and quartering. We measured the grain size composition of the sediments using a Pario soil particle analyser (Meter Group, Germany). PARIO uses the integral suspension method to determine the particle size distribution based on the pressure drop at the measurement depth in the suspension. It is based on Stokes' law. The measurement itself was performed using PARIO Control software, where the specific gravity of the sample and the mass of the sample used were entered as input data. The results were refined using wet sieving results with sieve sizes of 500, 250, and 50  $\mu\text{m}$ , where the dried mass of sediment retained on each sieve was calculated as a percentage and entered to the software. Based on all this data, the software calculated the proportions of sand, silt, and clay fractions and determined the soil type according to the USDA classification. The elements P, Ca, Ni, Zn, and Mg in the sediments were analysed using a Vanta handheld, energy-dispersive X-ray fluorescence (XRF) spectrometer. The dried and homogenized samples were analysed five times and were mixed between individual measurements. The arithmetic mean was calculated from the 5 analyses performed and used for the evaluation. The results of the laboratory analyses were evaluated using statistical methods. To compare the results in the SWR, we used Pearson's correlation coefficient and the regression coefficient. To interpret Pearson's correlation coefficient, we used values according to Chajdiak.

The correlation and regression results indicate a positive moderate dependence of the values of the clay fraction and the elements Ni and Zn, a weak dependence for P, and none for Mg. The element Ca has a weak negative dependence on the clay fraction. The results indicate that microelements tend to be more strongly bound to fine soil particles, while macroelements are more susceptible to water transport within the reservoir and release into the aquatic environment

**Keywords:** sediments, anthropogenic impact, storage area of small water reservoir, statistical relationship

**Acknowledgements:** This work was supported by the VEGA Grant Agency under Contract No. 1/0681/24 "Threat to small watercourses in the landscape".

## EUROPEAN FLOOD AWARENESS SYSTEM - VÝVOJ, NOVINKY A VÝZVY

Martin Halaj<sup>1\*</sup>, Beata Randusová<sup>2</sup>, Marcel Zvolenský<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Slovenský hydrometeorologický ústav, Zelená 5, 974 04 Banská Bystrica, Slovenská republika

<sup>2</sup> Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 2305/17, 831 01 Bratislava, Slovenská republika

<sup>3</sup> Slovenský hydrometeorologický ústav, Bôrická cesta 103, 011 13 Žilina, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: martin.halaj@shmu.sk

### ABSTRAKT

Európsky povodňový varovný systém (EFAS) predstavuje kľúčový nástroj v rámci európskeho systému včasného varovania pred povodňami, ktorého hlavnou úlohou je poskytovať hydrologické predpovede a informácie o povodňovom riziku národným hydrometeorologickým službám, orgánom civilnej ochrany a ďalším partnerom. Podpora včasného a efektívneho rozhodovania pri manažmente povodňových situácií na nadnárodnej úrovni, predovšetkým v povodiach presahujúcich hranice jednotlivých štátov prebieha v koordinácii so Spoločným výskumným centrom (JRC) patriacim pod Európsku komisiu. EFAS ako multi-ansámblový predpovedný systém, existujúci už takmer 15 rokov v nepretržitej operatívnej prevádzke je súčasťou Služby programu Copernicus pre krízové riadenie (CEMS) a svoje výstupy doručuje tiež Európskemu Koordinačnému centru pre reakcie na núdzové situácie (ERCC). Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ) je súčasťou konzorcia tvoriaceho Distribučné centrum zodpovedné za operatívnu prevádzku v štádiu spracovania predpovedných materiálov a tvorby k nim prislúchajúcich výstupov.

EFAS ako dynamický a neustále sa vyvíjajúci mechanizmus prešiel v uplynulých rokoch niekoľkými drobnými, ale aj zásadnými zmenami a inováciami, ktoré reagujú na požiadavky používateľov, dostupnosť a zvyšujúci sa počet vstupných dát, ale aj na rastúce extrémne spôsobené klimatickou zmenou. Aktualizácie sa zameriavajú najmä na zlepšenie presnosti predpovede, rozšírenie portfólia produktov a modernizáciu celého predpovedného cyklu. Posledná aktualizácia bola uvedená do prevádzky vo februári 2026 a zahŕňala novú vizualizáciu mapového prehliadača a webovej stránky EFAS-IS a tiež drobné vylepšenia ďalších produktov. Jedným z významných míľnikov v priebehu roka 2025 bola implementácia deterministického modelu ECMWF Artificial Intelligence Forecasting System (AIFS Single), ktorý dopĺňa existujúce vstupné údaje pre meteorologické predpovede (ansámblové predpovede IFS ENS a COSMO-LEPS a deterministickú predpoveď ICON). Tento model (AIFS) bol tiež zahrnutý do post-procesovaných hydrologických predpovedí. Ďalšie zmeny sa týkali integrácie satelitu Sentinel-1C do operácií Globálneho monitorovania povodní (Global Flood Monitoring - GFM), ktorý dopĺňa už existujúci satelit Sentinel-1A a úpravu metodiky post-procesingu, ktorá výrazne zlepšuje detekciu povodní menšieho rozsahu.

Európu počas minulého roka zasiahla celá škála zrážkových udalostí, od konvektívnych búrok až po rozsiahle tlakové nízke. Meteorologický úrad Spojeného kráľovstva, Met Éireann a organizácia KNMI (Holandsko) pomenovali v roku 2025 4 tlakové nízke v severozápadnej Európe. Dynamický vývoj poveternostných podmienok podmienil vznik časopriestorovo rozsiahlych povodňových udalostí na prelome rokov 2025/2026 v západnej a južnej Európe a v krajinách západného Balkánu, ktoré sa stali výzvou pre operatívnu prevádzku služieb EFASu. Práve počas takýchto situácií je jedným z kľúčových faktorov spolupráca operačných centier, no najmä komunikácia a spätná väzba partnerov. EFAS ako platforma zabezpečujúca včasné informácie o možnom výskyte povodní nemá za cieľ hydrometeorologickým službám konkurovať, ale poskytovať doplnkové informácie na základe robustnej ponuky produktov a služieb. EFAS partneri profitujú nielen z prístupu k hydrologickým predpovediam v reálnom čase, notifikáciám a satelitným produktom, ale aj z vytvárania sietí medzi EFAS partnermi a výmeny informácií, či inovácií.

**Kľúčové slová:** Európsky povodňový varovný systém (EFAS), AIFS Single, hydrologická predpoveď, satelitné snímkovanie

## EUROPEAN FLOOD AWARENESS SYSTEM - DEVELOPMENTS, NEWS AND CHALLENGES

Martin Halaj<sup>1\*</sup>, Beata Randusová<sup>2</sup>, Marcel Zvolenský<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Slovak Hydrometeorological Institute, Zelená 5, 974 04 Banská Bystrica, Slovak Republic

<sup>2</sup> Slovak Hydrometeorological Institute, Jeséniova 2305/17, 831 01 Bratislava, Slovak Republic

<sup>3</sup> Slovak Hydrometeorological Institute, Bôrická cesta 103, 011 13 Žilina, Slovak Republic

\* corresponding author: martin.halaj@shmu.sk

### ABSTRACT

The European Flood Awareness System (EFAS) is a key component of the European early warning system for floods, whose primary role is to provide hydrological forecasts and flood risk information to national hydrometeorological services, civil protection authorities, and other partners. Support for timely and effective decision-making in flood management at the transnational level, particularly in river basins that cross national borders, is provided in coordination with the Joint Research Centre (JRC) under the European Commission. EFAS, as a multi-ensemble forecasting system that has been in continuous operational use for nearly 15 years, is a part of the Copernicus Emergency Management Service (CEMS) and delivers its outputs to the European Emergency Response Coordination Centre (ERCC). The Slovak Hydrometeorological Institute (SHMI) is part of the consortium forming the Distribution Centre responsible for operational activities in the processing of forecast data and the generation of corresponding outputs.

As a dynamic and constantly evolving mechanism, EFAS has undergone several minor and major changes and innovations in recent years in response to user requirements, the availability and increasing volume of input data, as well as the growing frequency of extremes caused by climate change. Updates focus primarily on improving forecast accuracy, expanding the product portfolio, and modernizing the entire forecasting cycle. The latest update was released in February 2026 and included a new visualization of the map viewer and the EFAS-IS website, as well as minor improvements to other products. One of the significant milestones in 2025 was the implementation of the ECMWF Artificial Intelligence Forecasting System (AIFS Single) deterministic model, which complements existing input data for meteorological forecasts (IFS ENS and COSMO-LEPS ensemble forecasts and the ICON deterministic forecast). This model (AIFS) was also incorporated into post-processed hydrological forecasts. Other changes included the integration of the Sentinel-1C satellite into Global Flood Monitoring (GFM) operations, which complements the existing Sentinel-1A satellite, and an adjustment to the post-processing methodology, which significantly improves the detection of smaller-scale floods.

Over the past year, Europe has been hit by a wide range of precipitation events, from convective storms to extensive low-pressure systems. In 2025, the UK Met Office, Met Éireann, and the KNMI (Netherlands) identified four low-pressure systems in northwestern Europe. The dynamic evolution of weather conditions led to the occurrence of spatiotemporally extensive flooding events at the turn of 2025/2026 in western and southern Europe, as well as in the countries of the Western Balkan, which posed a challenge for the operational functioning of EFAS services. It is precisely during such situations that cooperation among operational centres is a key factor, but communication and partner's feedback are especially crucial. As a platform providing timely information on potential flooding, EFAS does not aim to compete with hydrometeorological services but to provide supplementary information based on a robust range of products and services. EFAS partners benefit not only from access to real-time hydrological forecasts, notifications, and satellite products, but also from networking among EFAS partners and the exchange of information and innovations.

**Keywords:** European Flood Awareness System (EFAS), AIFS Single, hydrological forecast, satellite imagery

## POVODIE DUNAJA Z POHLĀDU DRUŽICOVÝCH MISÍ GRACE a GRACE-FO

Juraj Janák<sup>1\*</sup>, Zuzana Danáčová<sup>2</sup>, Pavol Letko<sup>1</sup>, Lukáš Tátos<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Katedra globálnej geodézie a geoinformatiky, Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovenská republika

<sup>2</sup> Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 2305/17, 831 01 Bratislava, Slovenská republika

<sup>3</sup> Študent – Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: juraj.janak@stuba.sk

### ABSTRAKT

Družicové misie GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment 2002 – 2017) a nasledujúca Follow-on misia GRACE-FO (2018-doteraz) dokážu monitorovať zmeny celkového množstva vody na kontinentoch (Total Water Storage – TWS) pomocou merania zmien tiažového zrýchlenia. Základné produkty týchto družicových misií sú globálne modely tiažového poľa vo forme sférických harmonických koeficientov tiažového potenciálu, ktoré umožňujú priestorové rozlíšenie približne 220 km pri časovom kroku 1 mesiac. Zmeny tiažového poľa je možné, z dôvodu jednoduchšieho vnímania a interpretácie, transformovať na ekvivalentnú výšku vodného stĺpca (Equivalent Water Thickness – EWT) vyjadrenú v metrickej miere. Vzhľadom na to, že máme k dispozícii už viac než 20-ročný časový rad, je možné analyzovať nielen sezónne zmeny alebo extrémne udalosti, ale aj dlhodobý trend. Cieľom tohto príspevku je predstaviť analýzu časových zmien EWT v povodí Dunaja vypočítaných z dát misií GRACE/GRACE-FO a poukázať na to, aké udalosti sme schopní z týchto dát zachytiť. Ďalším cieľom je pozrieť sa na dosiahnuté výsledky pohľadom hydrologa a porovnať výsledky s vybranými „in situ“ hydrologickými meraniami vykonanými na slovenskej časti povodia Dunaja. Časový rad EWT bol modelovaný pomocou dekompozície na polynomický trend, sezónnu zložku s periódou 12 mesiacov a cyklické zložky, ktorých periódy boli odhadnuté pomocou periodogramu. Reziduálny časový rad bol následne ešte modelovaný pomocou Box-Jenkinsovej metodológie (modely ARIMA).

**Kľúčové slová:** družicová gravimetria, celkové množstvo vody na kontinentoch, ekvivalentná výška vodného stĺpca, analýza časových radov

**PodĀkovanie:** Táto práca bola podporená projektom VEGA 1/0516/24 s názvom „Výskum variácie vodných hmôt v povodí Dunaja pomocou meraní zmien tiažového poľa“.

## DANUBE RIVER BASIN AS IT IS SEEN FROM GRACE AND GRACE-FO SATELLITE MISSIONS

Juraj Janák <sup>1\*</sup>, Zuzana Danáčová <sup>2</sup>, Pavol Letko <sup>1</sup>, Lukáš Tátos <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Theoretical Geodesy and Geoinformatics, Faculty of Civil Engineering STU in Bratislava, Radlinského 11,  
810 05 Bratislava, Slovakia

<sup>2</sup> Slovak Hydrometeorological Institute, Jeséniova 2305/17, 831 01 Bratislava, Slovakia

<sup>3</sup> Student – Faculty of Civil Engineering STU in Bratislava, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovakia

\*corresponding author: juraj.janak@stuba.sk

### ABSTRACT

Satellite missions GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment 2002 – 2017) and its Follow-on mission GRACE-FO (2018-now) can monitor changes of continental Total Water Storage (TWS) by measuring the gravity changes. One of the main products of these missions are global gravity field models in form of spherical harmonic coefficients of gravity potential, which enables spatial resolution of about 220 km while temporal resolution (sampling rate) is 1 month. Gravity changes are usually transformed, due to more straightforward perception and interpretation, into Equivalent Water Thickness (EWT) quantity, expressed in a metric measure. Given that we already have more than 20-years' time series, we are able to analyse not only the seasonal changes or extreme events, but also long-term trend. Aim of this contribution is to introduce the EWT time series analysis averaged for the whole Danube River Basin based on GRACE/GRACE-FO data and point out what hydrological events we can detect. Next, we would like to check our results by selected in-situ hydrological measurements performed on Slovak part of the Danube River. EWT time series was modelled using decomposition into the polynomial trend, the seasonal component with 12 months period and the cyclic components where periods were estimated using Fourier periodogram. Consequently, the residual time series was modelled using Box-Jenkins methodology (ARIMA models).

**Keywords:** satellite gravimetry, total continental water storage, equivalent water thickness, time series analysis

**Acknowledgements:** This work was supported by the VEGA Grant Agency under Contract No. 1/0516/24 “Water mass variation research in Danube River basin using gravity field measurements”.

## MOŽNOSTI RIEŠENIA PROTIPOVODŇOVEJ OCHRANY INTRAVILÁNU OBCÍ POD MALÝMI KARPATMI

Andrej Šoltész<sup>1\*</sup>, Martin Orfánus<sup>1</sup>, Dana Baroková<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Stavebná fakulta Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: andrej.soltesz@stuba.sk

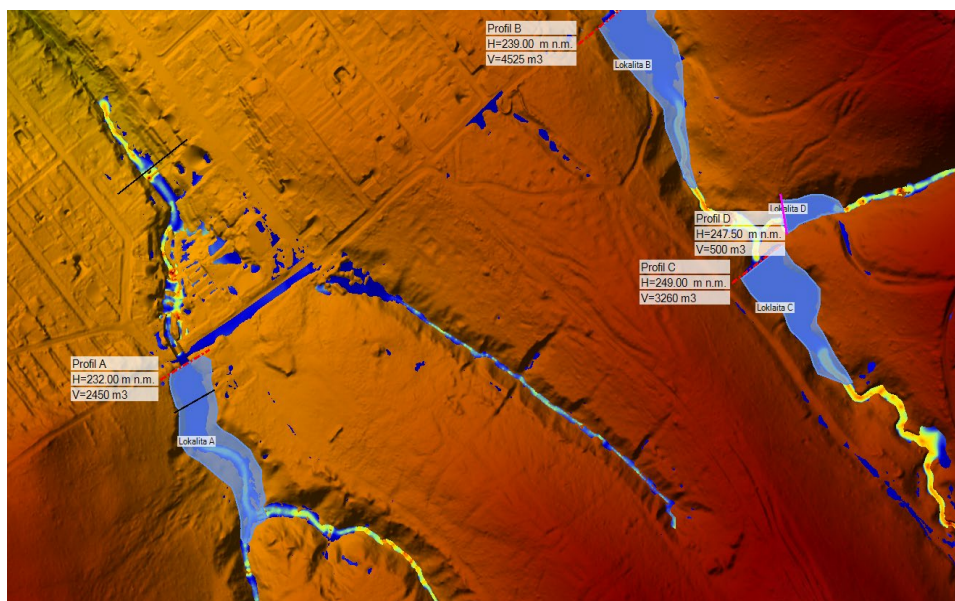
### ABSTRAKT

Predmetom príspevku je posúdenie aktuálneho stavu protipovodňovej ochrany obcí nachádzajúcich sa pod Malými Karpatmi na Záhori - konkrétne obce Marianka a mestská časť Záhorská Bystrica a jej príslušného územia na povodňové prietoky s dobou opakovania  $Q_{100}$  s následným návrhom opatrení. Táto analýza vznikla na základe objednávky starostov týchto obcí po povodňovej situácii, ktorá nastala v septembri 2024 a ohrozila veľkú časť Záhoria – Marianku a Záhorskú Bystricu nevyvímajúc.

Cieľom riešenia bola analýza súčasného stavu povrchových tokov a s tým súvisiace posúdenie povodňového ohrozenia obce v súčasných podmienkach, stanovenie priebehu povodňovej situácie v prípade prechodu povodňovej vlny  $Q_{100}$  obcou podľa podkladov SHMÚ v súčasnosti a návrh vodozádržných opatrení (suchých poldrov) na tokoch v území nad spomínanými obcami na zadržanie zrážkovej vody v lesoparku nad obcami. K splneniu týchto úloh boli v rámci riešenia vypracované 2D simulácie prúdenia povrchovej vody pre zadefinovanú povodňovú vlnu  $Q_{100}$  podľa podkladu SHMÚ a výpočet jej transformácie, t. j. sploštenia jej maximálnej hodnoty a časového oneskorenia.

Na určenie hladinového režimu uvedených potokov v záujmovej oblasti bol použitý dvojdimenzionálny matematický model HEC-RAS 2D v6.3.1. Pri numerickej analýze bola použitá metóda dynamickej vlny, známa ako Saint-Venantova rovnica, ktorá popisuje nestacionárne prúdenie v otvorených korytách. Model HEC-RAS 2D ju využíva v aproximovanej forme rovníc plytkej vody. V týchto rovniciach sa zanedbávajú vertikálne zložky rýchlosti a predpokladá sa nestlačiteľnosť kvapaliny s konštantnou hustotou.

Výsledkom analýzy prechodu povodňovej vlny obcou metódou matematického modelovania sú mapy záplavového územia, znázorňujúce rozsah zatopenia, hĺbky a rýchlosti prúdenia pre jednotlivé simulované prietoky  $Q_{100}$ , ako aj návrh vodozádržných opatrení znázornených na obrázku.



**Kľúčové slová:** protipovodňová ochrana, povodňová vlna, digitálny model reliéfu, HEC-RAS, polder

**Podakovanie:** Táto práca bola podporená projektom VEGA 1/0699/25.

## POSSIBILITIES OF FLOOD PROTECTION SOLUTION IN THE URBAN AREAS OF MUNICIPALITIES UNDER THE LITTLE CARPATHIAN MOUNTAINS

Andrej Šoltész<sup>1\*</sup>, Martin Orfánus<sup>1</sup>, Dana Baroková<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Radlinského 11,  
810 05 Bratislava, Slovak Republic

\*corresponding author: andrej.soltesz@stuba.sk

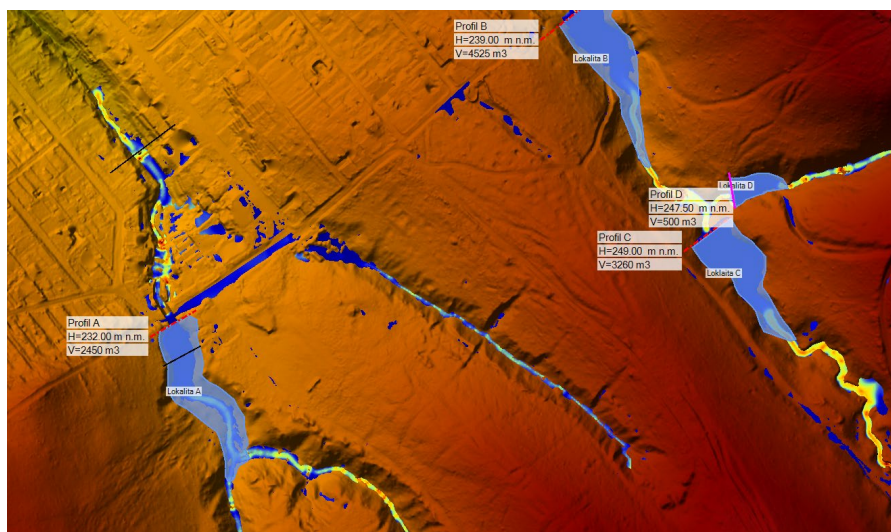
### ABSTRACT

The subject of the contribution is an assessment of the current state of flood protection of municipalities located below the Little Carpathians in Záhorie region - specifically the municipalities of Marianka and the urban district of Záhorská Bystrica and its adjacent area for flood flows with a recurrence period of  $Q_{100}$  with subsequent proposal of measures. This analysis was created based on the order of the mayors of these municipalities after the flood situation that occurred in September 2024 and threatened a large part of Záhorie - including Marianka and Záhorská Bystrica.

The goal of the solution was the analysis of the current state of surface flows and the related assessment of the flood threat to the municipality in current conditions, determination of the course of the flood situation in the event of a  $Q_{100}$  flood wave passing through the municipality according to the current SHMI data, and the design of water retention measures (dry polders) on the flows in the area above the aforementioned municipalities to retain rainwater in the forest park above the municipalities. To fulfil these tasks, 2D simulations of surface water flow for a defined flood wave  $Q_{100}$  according to the SHMÚ data and the calculation of its transformation, i.e. flattening of its maximum value and time delay, were developed within the solution.

To determine the water level regime of the mentioned streams in the area of interest, the two-dimensional mathematical model HEC-RAS 2D v6.3.1 was used. The numerical analysis used the dynamic wave method, known as the Saint-Venant equation, which describes unsteady flow in open channels. The HEC-RAS 2D model uses it in the approximate form of shallow water equations. In these equations, vertical velocity components are neglected and the incompressibility of the fluid with constant density is assumed.

The result of the analysis of the flood wave passage by the municipal method of mathematical modeling are maps of the floodplain, showing the extent of flooding, depth and flow velocity for individual simulated  $Q_{100}$  flows, as well as the design of water retention measures shown in the figure.



**Keywords:** flood protection, flood wave, digital relief model, HEC-RAS, detention reservoir

**Acknowledgement:** This work was supported by the VEGA Grant Agency under Contract No. 1/0699/25.

## VYUŽITIE MODELOV STROJOVÉHO UČENIA PRI ODHADE EVAPOTRANSPIRÁCIE A ICH EFEKTÍVNOSŤ V ZÁVLAHOVOM REŽIME

Milan Čistý<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 810 05, Slovenská republika.

\*korešpondenčný autor: milan.cisty@stuba.sk

### ABSTRAKT

Referenčná evapotranspirácia (ET<sub>0</sub>) je kľúčovou veličinou pri plánovaní závlah, pretože vyjadruje atmosférickú požiadavku na výpar a tvorí základ pre odhad potreby vody rastlinami. Metóda FAO-56 Penman–Monteith sa všeobecne považuje za referenčný postup, jej praktické využitie je však často obmedzené dostupnosťou meteorologických údajov (radiácie, vlhkosti vzduchu, rýchlosti vetra a teploty). V mnohých štúdiách tieto veličiny nie sú úplne dostupné. Preto sú potrebné zjednodušené metódy s menším počtom vstupov, pokiaľ si zachovajú dostatočnú presnosť pre riadenie závlah.

Táto štúdia hodnotí využitie umelej inteligencie a modelov strojového učenia pri odhade ET<sub>0</sub> v podmienkach obmedzenej dostupnosti údajov a analyzuje, ako sa chyby v odhade evapotranspirácie prenášajú do závlahového režimu. Ako referenčná metóda bola použitá FAO-56 Penman–Monteith. S ňou boli porovnané dva alternatívne prístupy: model strojového učenia CatBoost a modifikovaná empirická rovnica Hargreaves–Samani optimalizovaná pomocou diferenciálnej evolúcie. Oba prístupy využívali ako merané meteorologické vstupy iba dennú minimálnu a maximálnu teplotu vzduchu. V modeli strojového učenia boli navyše odvodené fyzikálne a sezónne prediktory, napríklad radiácia pri jasnej oblohe, rekonštruovaná vlhkosť, potenciálna evapotranspirácia podľa Oudina, deň v roku, cyklické transformácie sezónnosti a mesačné faktory.

Metodika bola aplikovaná na meteorologickú stanicu Hurbanovo za obdobie rokov 2006–2020. Ako modelová plodina bola použitá cukrová repa a závlahový režim bol simulovaný pomocou modelu pôdnej vodnej bilancie s prahom prípustného vyčerpania pôdnej vody. Závlahové režimy boli vytvorené samostatne z evapotranspiračných radov podľa FAO, modelu strojového učenia a metódy Hargreaves–Samani. Na posúdenie praktických dôsledkov zjednodušených odhadov evapotranspirácie boli získané závlahové režimy následne opätovne simulované pri použití evapotranspirácie podľa FAO. Tým bolo možné hodnotiť nielen štatistickú presnosť, ale aj vplyv na závlahové dávky, vyčerpanie pôdnej vody a vodný stres rastlín.

Výsledky ukázali, že oba zjednodušené prístupy reprodukovali FAO ET<sub>0</sub> s primeranou presnosťou, model strojového učenia však dosiahol lepšie výsledky. Mal nižšiu hodnotu RMSE, vyššie hodnoty R<sup>2</sup> a NSE a takmer nulové skreslenie. Hoci sezónne úhrny závlahy boli pri oboch zjednodušených prístupoch podobné, ich vplyv na spoľahlivosť závlah sa výrazne líšil. Režimy založené na metóde Hargreaves–Samani spôsobovali vyššiu závažnosť stresu, častejšie stresové dni, nižšie minimálne hodnoty stresového koeficienta FAO a dlhšie obdobia nadmerného vyčerpania pôdnej vody. Naopak, režimy odvodené z modelu strojového učenia boli bližšie referenčnému správaniu podľa FAO a viedli k nižšiemu stresu rastlín.

Štúdia ukazuje, že modely evapotranspirácie nemožno hodnotiť iba pomocou štatistických ukazovateľov, ako sú RMSE alebo skreslenie. V závlahovom hospodárstve je rozhodujúce aj časovanie a rozdelenie chýb, pretože aj mierne chyby evapotranspirácie sa môžu preniesť do pôdnej vodnej bilancie a ovplyvniť stres plodín. Výsledky naznačujú, že strojové učenie môže zlepšiť plánovanie závlah pri nedostatku meteorologických údajov a predstavuje perspektívnu alternatívu k empirickým teplotným rovniciam.

**Kľúčové slová:** Referenčná evapotranspirácia; strojové učenie; limitované klimatické údaje.

**Podakovanie:** Táto práca bola podporená grantovou agentúrou VEGA v rámci projektu č. 1/0724/26.

# THE USE OF MACHINE LEARNING MODELS IN ESTIMATING EVAPOTRANSPIRATION AND THEIR EFFECTIVENESS IN IRRIGATION

Milan Čistý<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Land and Water Resources Management, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic

\*Corresponding author: milan.cisty@stuba.sk

## ABSTRACT

Reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) is a key variable in irrigation planning because it represents atmospheric evaporative demand and forms the basis for estimating crop water requirements. The FAO-56 Penman–Monteith method is commonly accepted as the reference approach, but its application is often limited by the need for complete meteorological data (radiation, humidity, wind speed and temperature). In many operational or historical studies, these variables are not fully available. Therefore, simplified methods requiring fewer inputs are needed, especially if they can maintain sufficient accuracy for irrigation management.

This study evaluates the use of artificial intelligence and machine learning models for estimating ET<sub>0</sub> under limited-data conditions and analyses how errors in evapotranspiration estimation affect irrigation scheduling. The FAO-56 Penman–Monteith method was used as the benchmark. Two alternative approaches were compared with it: a CatBoost machine learning model and a modified Hargreaves–Samani empirical equation optimized by differential evolution. Both approaches used only daily minimum and maximum air temperature as measured meteorological inputs. In the machine learning model, additional physically based and seasonal predictors were derived, such as clear-sky radiation, reconstructed humidity, Oudin potential evapotranspiration, day of year, cyclic seasonal transformations and monthly factors.

The methodology was applied to the Hurbanovo meteorological station in southwestern Slovakia for the period 2006–2020. Sugar beet was used as the model crop, and irrigation scheduling was simulated using a soil water balance model with a management allowed depletion threshold. Irrigation schedules were generated separately from FAO-based, machine-learning-based and Hargreaves–Samani-based evapotranspiration series. To assess the practical consequences of simplified evapotranspiration estimates, the resulting irrigation schedules were then re-simulated under FAO evapotranspiration forcing. This allowed the evaluation of not only statistical accuracy, but also the effects on irrigation depth, soil water depletion and plant water stress.

The results showed that both simplified approaches reproduced the FAO reference evapotranspiration with reasonable accuracy, but the machine learning model performed better. It achieved lower RMSE, higher R<sup>2</sup> and NSE, and almost zero bias. Although seasonal irrigation totals were similar for both simplified approaches, their effects on irrigation reliability differed substantially. The Hargreaves–Samani-based schedules produced higher stress severity, more frequent stress days, lower minimum values of the FAO stress coefficient and longer periods of excessive soil water depletion. In contrast, the machine-learning-based schedules were closer to the FAO reference behaviour and led to lower plant stress.

The study demonstrates that evapotranspiration models should not be evaluated only by statistical indicators such as RMSE or bias. In irrigation management, the timing and distribution of errors are crucial because even moderate evapotranspiration errors may propagate into soil water balance and affect crop stress. The results indicate that machine learning can improve irrigation scheduling under limited-data conditions and represents a promising alternative to empirical temperature-based equations.

**Keywords:** Reference evapotranspiration; machine learning; limited climate data.

**Acknowledgements:** This research was funded by the VEGA Grant Agency under No. 1/0724/26.

# ON-DEMAND EXTREMES DIGITAL TWIN A JEHO POTENCIÁL PRE PREDPOVEDANIE POVODNÍ – SKÚSENOSTI Z PROJEKTU DESTINATION EARTH

Kateřina Hrušková \*, Hana Hlaváčiková, Zinaw Shenga

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeseniova 17, 833 15 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: katerina.hruskova@shmu.sk

## ABSTRAKT

Projekt Destination Earth (DestinE) je ambiciózna iniciatíva Európskej komisie zameraná na vytvorenie vysoko presného digitálneho modelu Zeme – tzv. digitálneho dvojčata. Jej cieľom je modelovať, monitorovať a simulovať prírodné javy, riziká a ich dopady na ľudské aktivity. Prvé dve digitálne dvojčata sú zamerané na simuláciu extrémov spôsobených počasím (Extremes DT) a adaptáciu na zmenu klímy (Climate Adaptation DT). Súčasťou Extremes DT je regionálny nástroj On-Demand Extremes DT (DEODE), ktorý umožňuje na požiadanie realizovať predpovede a analýzy extrémnych prejavov počasia nad Európou v subkilometrovom rozlíšení, zamerané na konkrétne udalosti, ako sú búrky, povodne, vlny horúčav a znečistenie ovzdušia. Odbor hydrologických predpovedí a výstrah (OHPaV) Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) sa zapojil do testovania pridanej hodnoty predpovedí zrážok s využitím hydrologických modelov prevádzkovaných v národnom predpovednom systéme. Pozornosť sa sústredila najmä na analýzu citlivosti hydrologických modelov na predpovede zrážok s vysokým rozlíšením (DT) a reanalýzu extrémnych povodňových udalostí.

V prvej fáze projektu (2022 – 2024) boli testované rôzne konfigurácie zrážkovo-odtokových modelov HBV a HEC-HMS, ako aj deterministické predpovede zrážok s rôznym priestorovým rozlíšením (ALADIN/ALARO 4,5 km, DT 2 km a DT 750 m). Cennú spätnú väzbu priniesol následný workshop, ktorý OHPaV zorganizovalo pre Slovenský vodohospodársky podnik, š.p., ako používateľa hydrologických predpovedí. Druhá fáza projektu (2024 – 2026) sa sústredila na problematiku neistôt v hydrologickom modelovaní a posun služby do pred-operatívnej fázy. Ako vstupy do hydrologického modelu boli použité ansámblové predpovede zrážok zo systému A-LAEF s rozlíšením 4,8 km a deterministická DT predpoveď s rozlíšením 750 m. Tá tvorila základ na vytvorenie ansámblovej predpovede prietokov v závislosti od meniacich sa počiatkových podmienok, ktoré reprezentovali rôzne úrovne nasýtenia krajiny pred povodňovou udalosťou. Záverečnou úlohou bolo definovanie spúšťacích kritérií (triggering) z pohľadu národnej služby, pri splnení ktorých by bolo možné automaticky vyžiadať DT predpoveď zrážok s vysokým rozlíšením.

Výsledky reanalýzy povodňových vln a hindcastových experimentov v povodiach horného Hrona v máji 2021 (1. fáza) a Kysuce v septembri 2024 (2. fáza) potvrdili, že hydrologické modely v operatívnej prevádzke sú vysoko citlivé na objem a priestorové rozloženie zrážok, ako aj počiatkové podmienky nasýtenia povodia pred povodňou. Hoci nové konfigurácie modelov nepriniesli okamžité výrazné zlepšenie, potvrdili potenciál DT dát pri simulácii vyšších prietokov a lepšom zachytení dynamiky povodňových vln.

Integrácia DT predpovedí do operatívnej praxe prináša viaceré metodické a technické nároky. Nevyhnutná je automatizácia celého procesu toku informácií a dát – od vyžiadania DT predpovedí cez ich spracovanie až po výslednú vizualizáciu. Výzvou zostáva aj priestorové rozlíšenie hydrologických predpovedných modelov, ktoré môže limitovať prínos meteorologických predpovedí s vysokým rozlíšením. V neposlednom rade významná bola aj spolupráca s európskymi predpovednými hydrologickými službami a vzájomná výmena skúseností.

**Kľúčové slová:** DestinE, predpoveď zrážok, vysoké rozlíšenie, hydrologické predpovede, neistoty, SHMÚ.

**PodĎakovanie:** Táto práca je financovaná Európskou úniou v rámci dohody DE\_330\_MF medzi ECMWF a Météo-France. Nástroj poskytovania výstupov na požiadanie, navrhnutý medzinárodným konzorciom vedeným Météo-France, predstavuje kľúčový komponent digitálneho dvojčata extrémnych meteorologických javov. ECMWF poskytuje túto službu v rámci jednotlivých fáz iniciatívy Destination Earth, ktorú zahájila Európska komisia.

## ON-DEMAND EXTREMES DIGITAL TWIN AND ITS POTENTIAL FOR FLOOD FORECASTING – LESSONS LEARNED FROM THE DESTINATION EARTH PROJECT

Kateřina Hrušková \*, Hana Hlaváčiková, Zinaw Shenga

Slovak Hydrometeorological Institute, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, Slovak Republic

\*corresponding author: katerina.hruskova@shmu.sk

### ABSTRACT

The Destination Earth (DestinE) project is an ambitious initiative of the European Commission aimed at creating a high-precision digital model of the Earth – a so-called digital twin. Its goal is to model, monitor, and simulate natural phenomena, hazards, and their impacts on human activities. The first two digital twins focus on the simulation of weather-induced extremes (Extremes DT) and climate change adaptation (Climate Adaptation DT). A key component of the Extremes DT is the regional On-Demand Extremes DT (DEODE) tool, which enables on-demand forecasts and analyses of extreme weather events over the European continent at sub-kilometre resolution, targeting specific events such as storms, floods, heatwaves, and air pollution. The Department of Hydrological Forecasts and Warnings (HFW) of the Slovak Hydrometeorological Institute (SHMÚ) has been involved in testing the added value of precipitation forecasts using hydrological models operated within the national forecasting system. Particular attention was paid to the sensitivity analysis of hydrological models to high-resolution (DT) precipitation forecasts and the reanalysis of extreme flood events. In the initial phase of the project (2022–2024), various configurations of the HBV and HEC-HMS rainfall-runoff models were evaluated, as well as deterministic precipitation forecasts with different spatial resolutions (ALADIN/ALARO 4.5 km, DT 2 km, and DT 750 m). Valuable feedback was provided by a subsequent workshop organised by HFW SHMÚ for the Slovak Water Management Enterprise (SVP) as a primary user of hydrological forecasts. The second phase of the project (2024–2026) focused primarily on the issue of uncertainties associated with hydrological modelling and the transition of the service into a pre-operational phase. To address these uncertainties, ensemble precipitation forecasts from the A-LAEF system (4.8 km resolution) and deterministic DT forecasts (750 m resolution) were used as forcing data for the hydrological models. The deterministic precipitation forecast served as the basis for creating ensemble discharge forecasts depending on varying initial conditions, which represented different levels of catchment saturation prior to the flood event. The final task was to define the triggering criteria from the perspective of the national service. An automated request would then be generated for high-resolution DT precipitation forecasts when these criteria were met.

Results from the reanalysis of flood waves and hindcast experiments in the upper Hron River basin (May 2021, Phase 1) and the Kysuca River basin (September 2024, Phase 2) highlighted that hydrological models deployed in operational use are highly sensitive to the volume and spatial distribution of precipitation, as well as to the initial saturation conditions of the catchment before a flood. Although the new model configurations did not bring immediate significant improvement in all metrics, they confirmed the potential of DT data in simulating higher peak flows and more accurately capturing dynamics of the flood waves.

The integration of DT forecasts into operational practice brings several methodological and technical demands. Firstly, it is essential to automate the entire information and data flow – from the triggering of DT forecasts through their processing to the final visualisation. The spatial resolution of hydrological forecasting models also remains a challenge, as it may limit the full potential of high-resolution meteorological data. Finally, international collaboration with European hydrological forecasting services and the sharing of knowledge and experience have proven to be of significant importance.

**Keywords:** DestinE, precipitation forecast, high resolution, hydrological forecast, uncertainties, SHMÚ

**Acknowledgements:** This work is funded by the EU under agreement DE\_330\_MF between ECMWF and Météo-France. The on-demand capability proposed by the Météo-France-led international partnership is a key component of the weather-induced extremes digital twin, which ECMWF delivers through different phases of Destination Earth, launched by the EC.

# SYSTEMATICKÉ POROVNANIE ARCHITEKTÚR HLBOKÉHO UČENIA S VLNKOVÝM PREDSPRACOVANÍM A BEZ NEHO PRE PREDPOVEĎ PRIETOKOV DUNAJA V BRATISLAVE NA VIACERÝCH HORIZONTOCH

Igor Leščešen<sup>1\*</sup>, Zbyněk Bajtek<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ústav hydrológie SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: lescesen@uh.savba.sk

## ABSTRAKT

Presné predpovedanie prietokov pre rôzne časy predstihu je kľúčové pre výstrahy pred povodňami, plánovanie režimu vodných elektrární a riadenie vodných zdrojov na významných európskych riekach. Táto štúdia predstavuje dôslednú, systematickú ablačnú analýzu siedmich architektúr hlbokého učenia (LSTM, GRU, RNN, CNN, CNN-LSTM, CNN-GRU a Transformer) aplikovaných na predpovedanie prietokov na 1, 7 a 30 dní vopred pre vodomernú stanicu Dunaj – Bratislava, s využitím 124-ročných denných záznamov (1901–2024). Hlavnou výskumnou otázkou je, či predspravovanie pomocou diskkrétnej vlnkovej transformácie (DWT) zlepšuje predikčné schopnosti naprieč architektúrami a horizontmi, alebo či je jej prínos špecifický pre konkrétnu architektúru a horizont.

Všetky modely boli trénované a vyhodnocované pomocou protokolu vnorenej krížovej validácie s posúvajúcim sa oknom, pričom optimalizácia hyperparametrov pomocou nástroja Optuna bola aplikovaná nezávisle pre každú kombináciu architektúry, sady príznakov a horizontu. Kvantifikácia neistoty bola riešená prostredníctvom hlbokých ensemblov a Monte Carlo Dropoutu. Schopnosť modelov sa hodnotila pomocou Nashovho-Sutcliffovho koeficientu účinnosti (NSE), Klingovej-Guptovej účinnosti (KGE) a skóre CRPS (Continuous Ranked Probability Score), ako aj pomocou stratifikovaných metrík NSE pre režimy nízkych a vysokých prietokov.

Výsledky odhaľujú výraznú priepasť vo výkonnosti medzi architektúrami. Architektúra CNN sa ukázala ako jednoznačne najlepšia pre 1-dňový horizont, pričom dosiahla priemerné NSE 0,848 so štandardnými príznakmi a 0,889 s vlnkovými príznakmi, čo predstavuje najvyššiu celkovú presnosť v experimente. Hydrogramy potvrdzujú, že CNN tesne sleduje sezónne recesné vetvy aj jednotlivé povodňové vrcholy, pričom vlnkové predspracovanie viditeľne znižuje časové chyby a zostružuje reprodukciu vrcholov. Transformer preukázal najväčší absolútny nárast vďaka vlnkovej dekompozícii pri 1-dňovom predstihu (+0,309 NSE, z 0,295 na 0,604), čím sa potvrdilo, že frekvenčná dekompozícia s viacnásobným rozlíšením môže výrazne kompenzovať ťažkosti mechanizmu pozornosti pri využívaní autokorelácie s krátkym posunom v časových radoch prietokov. Bodové grafy pre CNN aj Transformer pri 1-dňovom horizonte vykazujú vďaka vlnkovým príznakom užšie zhlukovanie okolo ideálnej čiary 1:1 a výrazne menej extrémnych nadhodnotení. Naopak, rekurentné architektúry (LSTM, GRU, RNN) a hybridné konvolučno-rekurentné modely (CNN-LSTM, CNN-GRU) nedosiahli kladné NSE na žiadnom horizonte ani kombinácii príznakov, pričom priemerné hodnoty NSE sa zoskupili blízko nuly alebo výrazne v záporných hodnotách. Tento výkonnostný kolaps je konzistentný naprieč všetkými tromi predikčnými horizontmi a vlnkové predspracovanie ho nezachraňuje; v niekoľkých prípadoch (napr. GRU, CNN-GRU na 30 dní) vlnky mierne znížili schopnosť modelu, pravdepodobne v dôsledku zvýšenej dimenzionality príznakov bez zodpovedajúcej kapacity spracovania sekvencií.

Zhoršenie výkonnosti so zvyšujúcim sa horizontom predpovede bolo univerzálne. Siet' CNN si udržala miernu úspešnosť pri 7 dňoch (NSE = 0,643 štandardne, 0,503 s vlnkami), ale pri 30 dňoch klesla takmer na nulu, čo je vzorec konzistentný so základným limitom predvídateľnosti autoregresných modelov založených iba na prietokoch. Transformer vykazoval vysoko variabilnú citlivosť na dĺžku horizontu: vlnkové príznaky zlepšili 7-dňové NSE o +0,687 (z -0,709 na -0,023), no pri 30 dňoch spôsobili vážny kolaps (-0,662 ΔNSE). Táto nestabilita naznačuje, že modely založené na pozornosti si vyžadujú opatrnejšiu regularizáciu špecifickú pre daný horizont a že únik vlnkových príznakov naprieč stupňami dekompozície môže zaviesť artefakty pri dlhších oneskoreniach.

Graf súhrnného vplyvu vlniek potvrdzuje, že žiadna architektúra neprofituje z DWT predspracovania rovnomerne naprieč všetkými horizontmi. Pozitívne účinky sú sústredené v CNN na 1-dňovom horizonte a v Transformátore na 1- a 7-dňových horizontoch; inde sú účinky neutrálne alebo škodlivé. Tieto zistenia varujú pred tým, aby sa vlnkové predspravovanie automaticky považovalo za univerzálne prospešné vylepšenie.

**Kľúčové slová:** Hlboké učenie, predpovedanie prietokov, diskrétna vlnková transformácia

**Pod'akovanie:** Tento výskum bol podporený projektom „Streamflow Drought Through Time“ financovaným z EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti Slovenskej republiky v rámci projektu č. 09I03-03-V04-00186.

# SYSTEMATIC COMPARISON OF DEEP LEARNING ARCHITECTURES WITH AND WITHOUT WAVELET PREPROCESSING FOR MULTI-HORIZON STREAMFLOW PREDICTION ON THE DANUBE AT BRATISLAVA

Igor Leščesen<sup>1\*</sup>, Zbyněk Bajtek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Hydrology SAS, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovak Republic

\*corresponding author: lescesen@uh.savba.sk

## ABSTRACT

Accurate streamflow forecasting across multiple lead times is critical for flood warning, hydropower scheduling, and water resource management along major European rivers. This study presents a rigorous, systematic ablation of seven deep learning architectures, LSTM, GRU, RNN, CNN, CNN-LSTM, CNN-GRU, and Transformer, applied to 1-, 7-, and 30-day ahead discharge forecasting at the Danube River gauging station at Bratislava, using 124 years of daily records (1901–2024). The central research question is whether Discrete Wavelet Transform (DWT) preprocessing, specifically a Daubechies-4 decomposition at level 4, consistently improves predictive skill across architectures and horizons, or whether its benefit is architecture- and horizon-specific.

All models were trained and evaluated under a nested rolling-window cross-validation protocol, with Optuna hyperparameter optimization applied independently for each architecture–feature–horizon combination. Uncertainty quantification was addressed through deep ensembles and Monte Carlo Dropout. Model skill was assessed using the Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE), Kling–Gupta Efficiency (KGE), and Continuous Ranked Probability Score (CRPS), as well as stratified NSE metrics for low- and high-flow regimes.

Results reveal a stark performance bifurcation between architectures. The CNN emerged as the clear top performer at the 1-day horizon, achieving a mean NSE of 0.848 with standard features and 0.889 with wavelet features, the highest overall skill in the experiment. Hydrographs confirm that the CNN closely tracks both seasonal recession limbs and individual flood peaks, with wavelet preprocessing visibly reducing timing errors and sharpening peak reproduction. The Transformer showed the largest absolute gain from wavelet decomposition at 1-day lead (+0.309 NSE, from 0.295 to 0.604), confirming that multi-resolution frequency decomposition can substantially compensate for the attention mechanism's difficulty in exploiting short-lag autocorrelation in discharge series. Scatter plots for both CNN and Transformer at the 1-day horizon show tighter clustering around the 1:1 line under wavelet features, with notably fewer extreme over-predictions.

By contrast, recurrent architectures (LSTM, GRU, RNN) and hybrid convolutional-recurrent models (CNN-LSTM, CNN-GRU) failed to produce positive NSE at any horizon or feature combination, with mean NSE values clustering near zero or substantially negative. This performance collapse is consistent across all three forecast horizons and is not rescued by wavelet preprocessing; in several cases (e.g., GRU, CNN-GRU at 30 days) wavelets slightly degraded skill, likely due to increased feature dimensionality without commensurate sequence-processing capacity.

Performance degradation with increasing forecast horizon was universal. The CNN retained moderate skill at 7 days (NSE = 0.643 standard, 0.503 wavelet), but dropped near zero at 30 days, a pattern consistent with the fundamental predictability limit of discharge-only autoregressive models. The Transformer exhibited highly variable horizon sensitivity: wavelet features improved 7-day NSE by +0.687 (from –0.709 to –0.023) yet caused a severe collapse at 30 days (–0.662  $\Delta$ NSE). This instability suggests that attention-based models require careful horizon-specific regularisation and that wavelet feature leakage across decomposition scales may introduce artefacts at longer lags.

The wavelet impact summary chart confirms that no architecture benefits uniformly from DWT preprocessing across all horizons. Positive effects are concentrated in CNN at the 1-day lead and Transformer at 1- and 7-day leads; elsewhere, effects are neutral or detrimental. These findings caution against treating wavelet preprocessing as a universally beneficial enhancement.

**Keywords:** Deep learning, streamflow forecasting, discrete Wavelet Transform

**Acknowledgements:** This research was supported by the “Streamflow Drought Through Time” project funded by the EU NextGenerationEU through the Recovery and Resilience Plan of the Slovak Republic within the framework of project no. 09I03-03-V04-00186.

## VPLYV PROCESOV VODNEJ ERÓZIE PÔDY NA FUNKCIU KANALIZAČNEJ SIETE A ODVODŇOVACÍCH KANÁLOV

Natália Gašparíková<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Ústav hydrológie Slovenskej akadémie vied, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

<sup>2</sup>Ústav krajinného inžinierstva, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Hospodárska 7, 949 76 Nitra, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: gasparikova@uh.savba.sk

### ABSTRAKT

V dôsledku klimatických zmien dochádza na území Slovenska k častejšiemu výskytu prívalových zrážok, ktoré výrazne ovplyvňujú hydrologický režim urbanizovaných území. V podhorských častiach Bratislavy predstavuje kombinácia vysokej sklonitosti reliéfu, urbanizácie a intenzívneho povrchového odtoku významný faktor vzniku vodnej erózie a následného zanášania kanalizačnej siete sedimentmi. Táto problematika sa prejavuje najmä v mestských častiach situovaných na úpätí Malých Karpát, kde dochádza k transportu pôdných častíc z lesných a svahovitých území do odvodňovacích objektov a kanalizačných systémov.

Cieľom práce bolo analyzovať vzťah medzi procesmi vodnej erózie pôdy a funkčnosťou kanalizačnej siete vo vybraných lokalitách Bratislavy a identifikovať kritické oblasti ohrozené akumuláciou sedimentov. Analýza bola realizovaná na šiestich čiastkových povodiach predstavujúcich zdrojové oblasti povrchového odtoku smerujúceho ku kritickým bodom kanalizačnej siete. Súčasťou práce bola terénna pasportizácia problémových lokalít, analýza využitia územia podľa CORINE Land Cover 2018, hodnotenie sklonitosti reliéfu a vyhodnotenie potenciálnej eróznej ohrozenosti podľa STN 75 4501 a zákona č. 220/2004 Z. z.

Výsledky analýzy poukázali na výraznú morfológickú členitosť územia a vysoký erózný potenciál najmä v povodí č. 5 s rozlohou 8 800,52 ha. Grafické vyhodnotenie sklonitosti ukázalo, že viac ako 57 % územia patrí do rizikových kategórií sklonu. Mapy potenciálnej erózie zároveň potvrdili, že strmé lesné svahy predstavujú hlavné zdrojové oblasti sedimentov transportovaných do urbanizovaného prostredia. Terénny prieskum preukázal výrazné zanášanie vtokových objektov, prítomnosť sedimentov a degradáciu hydraulikkej kapacity kanalizačnej siete.

Na základe výsledkov boli navrhnuté opatrenia zamerané na zníženie transportu sedimentov a zlepšenie funkčnosti odvodňovacieho systému. V lesných častiach územia ide najmä o budovanie priečných odvodňovacích jarkov a prehrádzok na spomalenie povrchového odtoku. Na rozhraní lesa a mesta sa odporúča realizácia sedimentačných nádrží a lapačov splavenín. V urbanizovanom prostredí sa navrhuje implementácia prvkov modro-zelenej infraštruktúry, modernizácia vtokových objektov a zavedenie inteligentného monitoringu kanalizačnej siete. Výsledky práce poukazujú na potrebu komplexného manažmentu povrchového odtoku v podhorských urbanizovaných územiach v podmienkach meniacej sa klímy.

**Kľúčové slová:** vodná erózia pôdy, povrchový odtok, sedimenty, kanalizačná sieť, Bratislava, Malé Karpaty, erózna ohrozenosť

**Pod'akovanie:** Táto štúdia bola podporená grantom Slovenskej akadémie vied (projekt VEGA č. 2/0140/24 s názvom "Optimalizácia adaptačných opatrení na extrémne prívalové dažde v urbanizovaných povodiach").

## IMPACT OF SOIL WATER EROSION PROCESSES ON THE FUNCTION OF SEWER NETWORKS AND DRAINAGE CHANNELS IN THE FOOTHILL AREAS OF BRATISLAVA

Natália Gašpariková<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Institute of Hydrology Slovak academy of sciences, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovak Republic

<sup>2</sup> Institute of Landscape Engineering, Faculty of Horticulture and Landscape Engineering  
Slovak University of Agriculture, Hospodárska 7, 949 76 Nitra, Slovak Republic

\*corresponding author: gasparikova@uh.savba.sk

### ABSTRACT

Due to climate change, Slovakia has been experiencing an increasing occurrence of intense short-term rainfall events, significantly affecting the hydrological regime of urbanized areas. In the foothill parts of Bratislava, the combination of steep terrain, urbanization, and intensive surface runoff represents an important factor contributing to soil water erosion and subsequent sediment accumulation in sewer systems. This issue is particularly evident in urban districts located on the slopes of the Little Carpathians, where eroded soil particles are transported from forested and sloping areas into drainage structures and sewer networks.

The aim of this study was to analyse the relationship between soil-water erosion processes and the functionality of sewer systems in selected localities of Bratislava and to identify critical areas at risk of sediment accumulation. The analysis was carried out within six sub-catchments representing source areas of surface runoff directed towards critical points of the sewer infrastructure. The study included field inventory of problematic localities, land use analysis based on CORINE Land Cover 2018, slope analysis, and evaluation of potential erosion risk according to STN 75 4501 and Act No. 220/2004 Coll.

The results revealed significant morphological variability and high erosion potential, particularly in catchment No. 5 with an area of 8,800.52 ha. Slope analysis showed that more than 57% of the territory belongs to high-risk slope categories. Potential erosion maps confirmed that steep forested slopes represent the main source areas of sediments transported into urbanized zones. Field investigations also revealed severe sediment accumulation in drainage inlets and degradation of the hydraulic capacity of sewer infrastructure.

Based on the results, several measures were proposed to reduce sediment transport and improve the functionality of drainage systems. In forested areas, the proposed measures include the construction of transverse drainage ditches and small retention barriers to slow down surface runoff. At the forest–urban interface, sedimentation basins and debris traps are recommended. In urban areas, the implementation of blue-green infrastructure elements, modernization of drainage inlets, and intelligent sewer monitoring systems are proposed. The study highlights the necessity of integrated surface runoff management in foothill urbanized areas under changing climatic conditions.

**Keywords:** soil water erosion, surface runoff, sediments, sewer network, Bratislava, Little Carpathians, erosion risk

**Acknowledgements:** This study was supported by a grant from the Slovak Academy of Sciences (project VEGA No. 2/0140/24 entitled "Optimisation of adaptation measures for extreme torrential rainfall in urbanized catchments").

## INTEGRÁCIA SEGMENTÁCIE KRAJINNÉHO POKRYVU POMOCOU DEEP LEARNINGU DO HYDRODYNAMICKÝCH MODELOV

Marián Dobranský<sup>1\*</sup>, Martina Zeleňáková<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ústav technológie, ekonomiky a manažmentu v stavebníctve, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>2</sup>Ústav environmentálneho inžinierstva, Stavebná fakulta, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: marian.dobransky.2@tuke.sk

### ABSTRAKT

Priestorová parametrizácia hydraulického drsnosti predstavuje jeden z najvýznamnejších zdrojov neistoty pri 2D hydrodynamickom modelovaní povodní a následnom hodnotení rozsahu inundácie. Súčasný rozvoj diaľkového prieskumu Zeme, vysoko rozlišovacích orto-foto snímok a metód automatizovanej segmentácie založených na deep learningu umožňuje efektívnu tvorbu detailných vrstiev krajinného pokryvu využiteľných pri príprave priestorovo distribuovaných máp drsnosti. Napriek vysokej geometrickej presnosti segmentácie však zostáva otvorenou otázkou hydraulická relevancia identifikovaných objektov a ich fyzikálne správna interpretácia v podmienkach neustáleného prúdenia. Predložená štúdia sa zameriava na integráciu automatizovanej segmentácie krajinného pokryvu do procesu parametrizácie hydraulického drsnosti pre 2D hydrodynamické modelovanie inundácie nížinného riečného systému. Segmentácia orto-fotografických snímok bola realizovaná pomocou nástroja Deepness implementovaného v prostredí QGIS, pričom výstupné triedy krajinného pokryvu boli transformované na počítačové mapy Manningových drsnostných súčiniteľov. Drsnosť aktívneho riečného koryta bola parametrizovaná samostatne na základe batymetrických údajov, morfológie toku a odborného hydraulického posúdenia.

Metodika bola aplikovaná na inundované územie historického ramena Stará Tisa, charakteristického výraznou meandrujúcou geometriou, komplexnou konektivitou inundácie a heterogénnym vegetačným pokryvom. Hydrodynamické simulácie boli realizované v prostredí HEC-RAS 6.6 pre neustálené 2D prúdenie s cieľom analyzovať hydraulickú odozvu modelu na rôzne stratégie parametrizácie drsnosti. Výsledky ukázali, že priame využitie automatizovanej segmentácie môže viesť k systematickému nadhodnoteniu hydraulického odporu, najmä v oblastiach brehových porastov, kde geometricky správne klasifikované vegetačné prvky nereprezentujú reálny odpor prúdenia. Na elimináciu uvedených efektov boli definované hydraulicky informované kalibračné oblasti, v ktorých boli automaticky priradené hodnoty drsnosti selektívne upravené na základe hydraulického interpretácie prúdenia, morfológie koryta a inundácie. Zavedenie týchto oblastí viedlo k stabilnejšej a fyzikálne konzistentnejšej hydraulickému odozve modelu pri zachovaní priestorovej variability drsnosti získanej automatizovanou segmentáciou. Výsledky zároveň potvrdzujú, že geometrická správnosť klasifikácie krajinného pokryvu automaticky neimplikuje jej hydraulický význam.

Štúdia demonštruje, že automatizovaná segmentácia predstavuje efektívny nástroj pre inicializáciu máp hydraulického drsnosti, avšak nenahrádza potrebu hydraulicky informovanej interpretácie a expertného zásahu. Navrhnutý pracovný postup predstavuje praktický prístup k integrácii metód deep learningu do hydrodynamického modelovania pri zachovaní fyzikálnej interpretovateľnosti výsledkov a môže predstavovať vhodný základ pre ďalší výskum zameraný na hydraulicky orientovanú segmentáciu krajinného pokryvu a redukcii neistôt pri modelovaní povodní.

**Kľúčové slová:** 2D hydrodynamické modelovanie, hydraulická drsnosť, deep learning, segmentácia krajinného pokryvu, inundácia povodní

**Podakovanie:** Táto práca bola podporená projektom VEGA 1/0588/24 „Výskum extrémnych hydroklimatických javov v povodiach vodných tokov a návrhy zmiernenia prírody blízkymi riešeniami“.

## INTEGRATION OF DEEP-LEARNING-BASED LAND COVER SEGMENTATION INTO HYDRODYNAMIC MODELS

Marián Dobranský<sup>1\*</sup>, Martina Zeleňáková<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Technology, Economics and Management in Construction, Technical University of Košice, 040 00 Košice, Slovak Republic

<sup>2</sup> Department of Environmental Engineering, Technical University of Košice, 040 00 Košice, Slovak Republic

\*corresponding author: marian.dobransky.2@tuke.sk

### ABSTRACT

Spatial parameterization of hydraulic roughness represents one of the most significant sources of uncertainty in 2D hydrodynamic flood modelling and subsequent flood inundation assessment. Recent advances in remote sensing, high-resolution Ortho imagery, and automated deep-learning-based segmentation methods enable the efficient generation of detailed land-cover layers applicable to the preparation of spatially distributed roughness maps. Despite the high geometric accuracy of segmentation outputs, the hydraulic relevance of identified objects and their physically consistent interpretation under unsteady flow conditions remain open research questions. The presented study focuses on the integration of automated land-cover segmentation into the hydraulic roughness parameterization process for 2D hydrodynamic modelling of a lowland river floodplain system. Ortho-photographic imagery was segmented using the Deepness tool implemented within the QGIS environment, while the resulting land-cover classes were transformed into initial Manning's roughness coefficient maps. Roughness of the active river channel was parameterized independently based on bathymetric data, channel morphology, and expert hydraulic assessment.

The methodology was applied to the inundated area of the historical Stará Tisa channel, characterized by highly meandering geometry, complex floodplain connectivity, and heterogeneous vegetation cover. Hydrodynamic simulations were performed in HEC-RAS 6.6 under unsteady 2D flow conditions to evaluate the hydraulic response of the model to different roughness parameterization strategies. The results demonstrated that direct application of automated segmentation may lead to systematic overestimation of hydraulic resistance, particularly in riparian vegetation zones where geometrically correct classification does not necessarily represent the actual flow resistance. To mitigate these effects, hydraulically informed calibration zones were defined, in which automatically assigned roughness values were selectively modified based on hydraulic interpretation of flow behaviour, channel morphology, and floodplain connectivity. The implementation of these calibration zones resulted in a more stable and physically consistent hydraulic response while preserving the spatial variability of roughness derived from automated segmentation. The findings further confirm that geometric correctness of land-cover classification does not automatically imply hydraulic relevance.

The study demonstrates that automated segmentation represents an efficient tool for the initialization of hydraulic roughness maps; however, it does not eliminate the need for hydraulically informed interpretation and expert intervention. The proposed workflow provides a practical framework for integrating deep learning methods into hydrodynamic modelling while preserving the physical interpretability of results and may serve as a suitable basis for future research focused on hydraulically oriented land-cover segmentation and uncertainty reduction in flood modelling.

**Keywords:** 2D hydrodynamic modelling, hydraulic roughness, deep learning, land-cover segmentation, flood inundation

**Acknowledgements:** This work was supported by the VEGA Grant Agency under Contract No. 1/0588/24 "Research of extreme hydroclimatic phenomena in watersheds and mitigation proposals in the context of natural based solutions".

## SMEROM K CEZHRANIČNEJ SYNERGII: HARMONIZÁCIA EKOLOGICKÉHO STATUSU A RETENČNÉHO POTENCIÁLU NÁDRŽÍ V POVODÍ DUNAJA

Zbyněk Bajtek<sup>1\*</sup>, Peter Rončák<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ústav hydrológie SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: bajtek@uh.savba.sk

### ABSTRAKT

Povodne predstavujú v povodí Dunaja jeden z najzávažnejších prírodných hazardov s opakujúcimi sa katastrofálnymi dôsledkami pre obyvateľstvo, infraštruktúru aj ekosystémy. Efektívne riadenie povodňového rizika v tomto medzinárodnom povodí si vyžaduje koordinovaný prístup presahujúci hranice jednotlivých štátov – prístup, ktorý v súčasnosti naráža na zásadnú prekážku v podobe nekompatibility národných hodnotiacich rámcov a fragmentácie hydrologických dát. Vodné nádrže a jazerá pritom predstavujú jeden z kľúčových nástrojov protipovodňovej ochrany: ich schopnosť zachytiť, zadržať a časovo rozložiť povodňovú vlnu môže rozhodujúcim spôsobom ovplyvniť rozsah škôd v zasiahnutých územiach. Plné využitie tohto potenciálu je však podmienené hlbším poznaním fungovania nádrží nielen z hydrologického, ale aj z ekologického hľadiska. Predkladaný príspevok sa zameriava na dva vzájomne podmienené aspekty tejto problematiky. Prvým je kvantifikácia retenčného potenciálu nádrží ako priameho nástroja manažmentu povodňových rizík – teda ich kapacity tlmiť a transformovať povodňové vlny v závislosti od prevádzkového režimu, morfológie a hydrologických podmienok povodí. Druhým je hodnotenie ekologického statusu nádrží v zmysle Rámcovej smernice o vode, ktoré podmieňuje udržateľnosť ich dlhodobej prevádzky a ovplyvňuje rozsah prípustných zásahov. Príspevok argumentuje, že synchronne posudzovanie oboch dimenzií je nevyhnutným predpokladom pre efektívne a cezhraničné riadenie povodňového rizika v povodí Dunaja.

Prezentované výsledky vychádzajú z výskumných aktivít Ústavu hydrológie SAV v rámci projektu LAREDAR (LAKes and REservoirs in the DANube River basin, Interreg Danube Region Programme, 2025–2027), ktorého primárnym cieľom je zlepšenie manažmentu povodní prostredníctvom harmonizovaného cezhraničného rámca pre hodnotenie a prevádzku nádrží a jazier. Príspevok Ústavu hydrológie SAV spočíva v analýze a komparácii existujúcich národných klasifikačných metodík, identifikácii kritérií vhodných na harmonizáciu v kontexte povodia Dunaja a v modelovaní transformácie povodňových vln na vybraných pilotných lokalitách. Výsledky sú overované v partnerskej sieti jedenástich krajín dunajského regiónu. Výstupy príspevku poskytujú vedecký základ pre aktualizáciu Dunajského plánu manažmentu povodia a implementáciu Dunajského plánu riadenia povodňových rizík. Harmonizovaná typológia nádrží a modelové výstupy transformácie povodňových vln predstavujú priamo využiteľné podklady pre koordinovanú prevádzku nádrží v čase povodňových udalostí, posilnenie inštitucionálnej spolupráce vodohospodárskych orgánov a zvýšenie celkovej odolnosti dunajského regiónu voči hydrologickým extrémom v podmienkach klimateckej zmeny.

**Kľúčové slová:** ekologický status, retenčný potenciál, vodné nádrže, povodie Dunaja, harmonizácia klasifikácie, manažment povodňových rizík, cezhraničná spolupráca, klimatecká adaptácia

**Pod'akovanie:** Tento príspevok vznikol v rámci projektu LAREDAR (LAKes and REservoirs in the DANube River basin), projektu programu Interreg Danube Region spolufinancovaného Európskou úniou a projektom MVTS “LAREDAR”.

## TOWARDS CROSS-BORDER SYNERGY: HARMONISATION OF ECOLOGICAL STATUS AND RETENTION POTENTIAL OF RESERVOIRS IN THE DANUBE RIVER BASIN

Zbyněk Bajtek<sup>1</sup>, Peter Rončák<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Hydrology SAS, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovak Republic

\* corresponding author: bajtek@uh.savba.sk

### ABSTRACT

Flooding represents one of the most severe natural hazards in the Danube River Basin, with recurring catastrophic consequences for populations, infrastructure and ecosystems alike. Effective flood risk management in this international basin demands a coordinated approach that transcends the boundaries of individual states — an approach that is currently impeded by the incompatibility of national assessment frameworks and the fragmentation of hydrological data. Reservoirs and lakes constitute one of the principal instruments of flood protection: their capacity to capture, retain and temporally redistribute flood waves can decisively influence the extent of damage in affected areas. Fully realising this potential, however, requires a thorough understanding of reservoir functioning not only from a hydrological perspective, but from an ecological one as well. This contribution addresses two interrelated aspects of this issue. The first concerns the quantification of reservoir retention potential as a direct instrument of flood risk management — that is, the capacity of reservoirs to attenuate and transform flood waves as a function of operational regime, morphology and catchment hydrological conditions. The second concerns the assessment of the ecological status of reservoirs in accordance with the Water Framework Directive, which conditions the sustainability of long-term reservoir operation and determines the scope of permissible management interventions. The contribution argues that the concurrent assessment of both dimensions is an essential precondition for effective and transboundary flood risk governance in the Danube Basin.

The results presented draw from the research activities of the Institute of Hydrology of the Slovak Academy of Sciences within the LAREDAR project (LAKes and REservoirs in the DANube River basin, Interreg Danube Region Programme, 2025–2027), whose primary objective is the improvement of flood management through a harmonised transboundary framework for the assessment and operation of reservoirs and lakes. The contribution of the Institute of Hydrology SAS encompasses the analysis and comparison of existing national classification methodologies, the identification of criteria suitable for harmonisation in a basin-wide context, and the modelling of flood wave transformation at selected pilot sites. Results are validated within a partnership network spanning eleven countries of the Danube region. The outputs of this contribution provide a scientific basis for updating the Danube River Basin Management Plan and implementing the Danube Flood Risk Management Plan. The harmonised reservoir typology and flood wave routing model outputs constitute directly applicable inputs for the coordinated operation of reservoirs during flood events, the strengthening of institutional cooperation among water management authorities, and the enhancement of overall regional resilience to hydrological extremes under conditions of climate change.

**Keywords:** ecological status, retention potential, reservoirs, Danube River Basin, classification harmonisation, flood risk management, transboundary cooperation, climate adaptation

**Acknowledgements** This paper was supported as part of LAREDAR (LAKes and REservoirs in the DANube River basin), an Interreg Danube Region Programme project co-funded by the European Union and MVTs, “LAREDAR”.

## MĚŘENÍ PRŮTOKŮ POMOCÍ DRONŮ – LSPIV

Karel Kněžínek<sup>1\*</sup>, Libor Ducháček<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 00 Praha, Česká republika

\*korešpondenční autor: karel.knezinek@chmi.cz

### ABSTRAKT

Příspěvek představuje možnosti využití bezpilotních prostředků a metody Large-Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV) pro měření povrchových rychlostí a odhad průtoků vodních toků v podmínkách hydrologické služby Českého hydrometeorologického ústavu. Potřeba rozvoje alternativních metod měření vychází zejména z omezení konvenčních postupů při extrémních hydrologických situacích, kdy může být kontaktní měření průtoků obtížné, nebezpečné nebo technicky neproveditelné. Využití dronů umožňuje rychlé, bezkontaktní a bezpečné získání dat i v těžko přístupných profilech vodních toků.

Metoda LSPIV je založena na analýze videozáznamů pořízených dronem a sledování pohybu charakteristických struktur na hladině toku. Těmito strukturami mohou být přirozené tracers, například pěna, turbulence nebo plovoucí materiál, případně uměle přidané částice. Z časového posunu jednotlivých struktur mezi snímky jsou následně vypočteny vektory povrchových rychlostí. Výsledná data jsou filtrována, prostorově průměrována a využita pro odhad průtoků v měřeném profilu.

V rámci testování bylo dosud provedeno přibližně 40 měření v různých hydrologických podmínkách, která byla zpracována v open source softwaru Fudaa-LSPIV. Výsledky ukazují, že LSPIV může dosahovat při vhodných podmínkách pro měření odchylky kolem  $\pm 5\%$  oproti referenčním metodám. Nejlepších výsledků je dosahováno při vyšších rychlostech proudění a dostatečné přítomnosti tracerů na hladině, tedy často právě během povodňových situací. Naopak omezením metody může být absence dobře rozpoznatelných struktur na hladině, nevýhodou je také nutnost doměřování příčného profilu nebo vyšší nároky na zkušenosti při zpracování dat.

Významnou výhodou využití dronů je možnost rychlého nasazení přímo v terénu a získání prostorově detailních informací o proudění v celém měřeném profilu. Kromě samotného odhadu průtoků lze pořízená data využít také pro dokumentaci hydrologických situací, mapování rozlivů nebo tvorbu podkladů pro hydraulické modelování. Bzpilotní prostředky tak nabízí širší využití nejen při operativních hydrologických měřeních, ale také při výzkumu a analýze extrémních hydrologických jevů. V budoucnu lze očekávat další rozvoj automatizace zpracování dat, zpřesňování metodiky i širší integraci bezpilotních prostředků do hydrologické praxe.

Příspěvek shrnuje základní principy metody, zkušenosti z dosavadního testování a porovnání s konvenčními metodami měření průtoků, zejména metodou ADCP. Součástí je také ukázka workflow zpracování dat v softwaru Fudaa a výsledky pilotních měření na vybraných profilech. Dosavadní zkušenosti potvrzují, že LSPIV nepředstavuje náhradu standardních hydrometrických metod, ale vhodný doplněk pro měření v extrémních nebo obtížně přístupných podmínkách. Testování a rozvoj metody má za cíl posoudit možnosti jejího budoucího využití v operativní hydrologické praxi ČHMÚ.

**Klíčové slová:** LSPIV, drony, měření průtoků, hydrometrie, povodně

**Pod'akovanie:** Tento výsledek vznikl za podpory institucionálních prostředků na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace.

## DISCHARGE MEASUREMENT USING DRONES – LSPIV

Karel Kněžínek<sup>1\*</sup>, Libor Ducháček<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Czech Hydrometeorological Institute, Na Šabatce 2050/17, 143 00 Praha, Czech Republic

\* corresponding author: karel.knezinek@chmi.cz

### ABSTRACT

The contribution presents the possibilities of using unmanned aerial vehicles (UAVs) and the Large-Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV) method for measuring surface flow velocities and estimating river discharge within the hydrological service of the Czech Hydrometeorological Institute. The need for the development of alternative measurement methods arises mainly from the limitations of conventional approaches during extreme hydrological events, when contact discharge measurements may be difficult, dangerous, or technically impossible. The use of drones enables rapid, non-contact, and safe data acquisition even in hard-to-access river cross-sections.

The LSPIV method is based on the analysis of video recordings acquired by a drone and the tracking of characteristic structures on the water surface. These structures may consist of natural tracers such as foam, turbulence, or floating material, or alternatively artificially introduced particles. Surface velocity vectors are subsequently calculated from the temporal displacement of individual structures between consecutive frames. The resulting data are filtered, spatially averaged, and used for discharge estimation in the measured profile. Approximately 40 measurements under various hydrological conditions have been carried out so far, and the data were processed using the open-source software Fudaa-LSPIV. The results indicate that, under suitable measurement conditions, the LSPIV method can achieve deviations of around  $\pm 5\%$  compared to reference methods. The best results are obtained at higher flow velocities and with a sufficient presence of tracers on the water surface, conditions that frequently occur during flood events. On the other hand, limitations of the method include the absence of clearly recognizable surface structures, the need for additional cross-sectional surveying, and higher demands on operator experience during data processing.

A significant advantage of drone deployment is the possibility of rapid field operation and the acquisition of spatially detailed information about flow patterns across the entire measured profile. In addition to discharge estimation, the acquired data can also be used for documenting hydrological situations, flood inundation mapping, or generating inputs for hydraulic modelling. UAVs therefore offer broader applications not only for operational hydrological measurements, but also for research and the analysis of extreme hydrological events. Further development of automated data processing, methodological improvements, and wider integration of UAVs into hydrological practice can be expected in the future.

The contribution summarizes the basic principles of the method, experience gained from current testing, and comparisons with conventional discharge measurement methods, especially ADCP. It also includes an example of the data-processing workflow in the Fudaa software and results from pilot measurements at selected river profiles. Current experience confirms that LSPIV is not intended to replace standard hydrometric methods, but rather to complement them in extreme or difficult-to-access conditions. The ongoing testing and development of the method aim to assess its potential future use in the operational hydrological practice of the Czech Hydrometeorological Institute.

**Keywords:** LSPIV, drones, discharge measurement, hydrometry, floods

**Acknowledgements:** This result was supported by institutional funding for the long-term conceptual development of the research organization.



**Sekcia 4 Uplatnenie nových poznatkov hydrológie v súčasnej VH praxi**

**Section 4 Application of new hydrological knowledge in current water management practice**

# HYDROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY V PRAXI - NEISTOTY VÝPOČTU ZMIEŠAVACIEHO POMERU Z POHĽADU HYDROLÓGIE POVRCHOVÝCH VÔD

Katarína Jeneiová<sup>1\*</sup>, Katarína Melová<sup>1</sup>, Zuzana Danáčová<sup>1</sup>, Jana Poórová<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 2305/17, 831 01 Bratislava, Slovenská republika

\* korešpondenčný autor: katarina.jeneiova@shmu.sk

## ABSTRAKT

Príspevok sa zaoberá uplatnením hydrologických charakteristík pri hodnotení zmiešavacieho pomeru komunálnych odpadových vôd v recipientoch. Analýza vychádza z požiadaviek Smernice Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2024/3019 z 27. novembra 2024 o čistení komunálnych odpadových vôd, ktorá zavádza potrebu identifikácie oblastí citlivých na znečistenie mikropolutantmi a zavádzanie kvartérneho stupňa čistenia v aglomeráciách nad 10 000 ekvivalentných obyvateľov.

Zmiešavací pomer je definovaný ako pomer priemerného ročného prietoku recipienta v mieste vypúšťania za posledných päť rokov k priemernému ročnému objemu vypúšťaných komunálnych odpadových vôd do povrchových vôd za posledných päť rokov. Pre vybrané čistiarne odpadových vôd na Slovensku bol zmiešavací pomer hodnotený za obdobie rokov 2020 až 2024. Posudzovaných bolo 85 čistiarní odpadových vôd na území Slovenska, zmiešavací pomer bolo možné vyhodnotiť pre 70 profilov, pričom z nich nevyhovelo 15 profilov. Pri hodnotení na základe hodnoty  $Q_{355}$ , ktorá reprezentuje malú vodnosť a stanovili sme ju pre 78 profilov, sa počet rizikových profilov ešte výrazne zvyšuje až na 40 profilov, čo zdôrazňuje význam takéhoto hodnotenia z hľadiska ochrany kvality povrchových vôd, keďže pri nízkych prietokoch dochádza k výraznému poklesu samočistiacej schopnosti tokov, čím sa zvyšuje vplyv vypúšťaných odpadových vôd na recipient.

Analýza tiež poukazuje na neistoty hydrologických údajov. V mnohých prípadoch sú prietokové charakteristiky odvodené metódami hydrologickej analógie, pričom miera neistoty odvodených údajov závisí aj od dostupnosti meraní, aktuálnosti hydrologických podkladov a správnosti lokalizácie profilov.

Výsledky hodnotenia boli porovnané aj s mapami zraniteľnosti územia Slovenska na nedostatok vody. Časť hodnotených profilov sa nachádza v oblastiach stredne až silno zraniteľných na nedostatok vody, pričom niektoré profily s vyhovujúcim zmiešavacím pomerom pre obdobie 2020 až 2024 sú situované v rizikových oblastiach. V kontexte klimatickej zmeny je možné očakávať zvyšujúcu sa frekvenciu a intenzitu suchých období, čo bude mať priamy dopad na prietokový režim a tým aj na vypočítané zmiešavacie pomery.

**Kľúčové slová:** zmiešavací pomer, 5-ročný priemerný ročný prietok, neistoty, hydrologická analógia

**PodĎakovanie:** Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. VV-MVP-24-0208.

## HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS IN PRACTICE – UNCERTAINTIES IN THE CALCULATION OF THE DILUTION RATIO FROM THE PERSPECTIVE OF SURFACE WATER HYDROLOGY

Katarína Jeneiová<sup>1\*</sup>, Katarína Melová<sup>1</sup>, Zuzana Danáčová<sup>1</sup>, Jana Poórová<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Slovak Hydrometeorological Institute, Jeseniova 2305/17, 831 01 Bratislava, Slovak Republic

\* corresponding author: katarina.jeneiova@shmu.sk

### ABSTRACT

The contribution addresses the application of hydrological characteristics in assessing the dilution ratio of treated municipal wastewater in receiving water bodies. The analysis is based on the requirements of the Directive (EU) 2024/3019 of the European Parliament and of the Council of 27 November 2024 concerning urban wastewater treatment, which introduces the need to identify areas sensitive to micropollutant pollution and to implement quaternary treatment in agglomerations exceeding 10,000 population equivalents.

Dilution ratio is defined as the ratio of the average over the last five years of annual flow of the receiving waters at the point of discharge to the average over the last five years of the annual discharge volume of urban wastewater into surface waters. For selected wastewater treatment plants in Slovakia, the dilution ratio was evaluated for the period 2020–2024. A total of 85 wastewater treatment plants were included in the assessment, while the dilution ratio could only be evaluated for 70 profiles, of which 15 did not meet the required criteria. When assessed using the  $Q_{355}$  value, representing low-flow conditions which we were able to calculate for 78 profiles, the number of at-risk profiles increased significantly. Under this approach, up to 40 profiles would fail to comply, highlighting the importance of such assessments for the protection of surface water quality, as low flows substantially reduce the self-purification capacity of streams and increase the impact of discharged wastewater on the receiving waters.

The analysis also highlights uncertainties in hydrological data. In many cases, the characteristics are derived using hydrological analogy methods, and the level of uncertainty depends on data availability, the timeliness of hydrological inputs, and the correct localization of profiles.

The results were also compared with maps of areas vulnerable to the water shortage in Slovakia. A portion of the assessed profiles is located in areas classified as moderately to highly vulnerable to water shortage, and even some profiles with compliant dilution ratios are situated in more at risk regions. In the context of climate change, an increasing frequency and intensity of drought periods can be expected, which will directly affect flow regimes and consequently the calculated dilution ratios.

**Keywords:** dilution ratio, 5-year average annual flow, uncertainties, hydrological analogy

**Acknowledgements:** This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under Contract No. VV-MVP-24-0208.

## AKTUALIZACE N-LETÝCH PRŮTOKŮ NA ZÁKLADĚ POZOROVANÝCH DAT DO ROKU 2025

Miloň Boháč<sup>1</sup>, Vojtěch Svoboda<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, Česká republika

\*korešpondenční autor: vojtech.svoboda@chmi.cz

### ABSTRAKT

N-leté průtoky vyjadřují statistickou pravděpodobnost výskytu velkých průtoků. Stávající metodika doporučuje pro jejich odvození využití co nejdělsích řad ročních kulminačních průtoků, což je jistě správný přístup pro odvození N-letých průtoků s dlouhou dobou opakování a vysokou nejistotou ( $Q_{100}$  a větší). V podmínkách klimatické změny se však již nyní v mnoha vodoměrných stanicích začínají projevovat trendy v řadách ročních kulminačních průtoků, např. klesající tam, kde převládají povodně zimního typu. Tudíž vyvstává otázka, zda je využití co nejdělsích řad vhodné i pro odvození častěji se vyskytujících průtoků (ca  $Q_1$  až  $Q_{10}$ ). Jelikož jsou N-leté průtoky poskytovány jako návrhová data pro budoucí využití, měly by co nejlépe reprezentovat skutečný, co nejaktuálnější stav v povodí, reflektovat antropogenní ovlivnění, ale i změnu klimatu.

Dalším problémem je odvození v profilech výrazně ovlivněných vodními díly, kde řady ročních kulminací nejsou homogenní. Z toho důvodů norma ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod uvádí, že N-leté průtoky jsou zpracovány na podkladě dat, ze kterých je pokud možno eliminováno výrazné a prokazatelné ovlivnění provozem vodních děl. Avšak dodává, že pokud existuje pod vodním dílem vodoměrná stanice s delší dobou pozorování, která reprezentuje odtokový režim pod nádrží, mohou být poskytnuty i N-leté průtoky ovlivněné. Způsob odvozování s eliminací ovlivnění měl své opodstatnění v případech krátkého pozorování pod vodními díly, dnes již však zpravidla existují více než 50leté řady pozorování i ve stanicích pod vodními díly.

Existence odlišných postupů při stanovení N-letých průtoků napříč územím republiky, dlouhá doba od posledního plošného zpracování a problematická eliminace ovlivnění (odovlivňování) kulminačních průtoků vyústily ve snahu navrhnout nový a jednotný metodický postup, který by splňoval zásadu vycházet z pozorovaných a co možná nejvíce homogenních dat.

Aktualizovaná metodika odvození  $Q_N$  ve vodoměrných stanicích sestává ze tří kroků: 1) odvození N-letých průtoků  $Q_{20}$  až  $Q_{100}$  (případně  $Q_{500}$ ) z celé (verifikované) řady ročních kulminačních průtoků, včetně odhadu historických povodní (jsou-li k dispozici), 2) odvození N-letých průtoků  $Q_1$  až  $Q_{10}$  z posledního 50letého období (1976–2025) s přihlédnutím k historickým povodním, 3) odvození výsledných kompletních N-letých průtoků jako kombinace obou přístupů.

Pro odvození se využívá tříparametrické logaritmicke-normální teoretické rozdělení pravděpodobnosti (LN3) s odvozením parametrů metodou L-momentů nebo maximální věrohodnosti (MLE) a zahrnutím libovolného počtu historických povodní. Potřebné procedury jsou naprogramovány v interní aplikaci QNStat.

Z dosavadního zpracování vyplývá, že povodně s vyšší pravděpodobností výskytu (ca  $Q_1$  až  $Q_{10}$ ) mohou v současné době vykazovat výrazně jiný režim než v minulosti a v mnoha stanicích je patrný pokles jejich hodnot. U velkých povodní (ca  $Q_{100}$  a větší) toto tvrdit nelze, což se ukázalo i při poslední extrémní povodni v září 2024, která zasáhla téměř identické oblasti jako povodeň v červenci 1997. Výsledkem zpracování budou aktualizované N-leté průtoky odvozené jednotnou metodikou pro celou Českou republiku, které by měly lépe charakterizovat současný povodňový režim.

**Klíčové slová:** kulminační průtok, povodňový režim, historická povodeň, návrhová data

**Pod'akovanie:** Tato práce vznikla za podpory Dlouhodobé koncepce rozvoje výzkumné organizace ČHMÚ pro období 2023–2027 (DKRVO) a projektu TAČR PERUN (SS02030040).

## UPDATE OF T-YEAR PEAK FLOWS BASED ON OBSERVED DATA UP TO 2025

Miloň Boháč<sup>1</sup>, Vojtěch Svoboda<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Czech Hydrometeorological Institute, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, Czech Republic

\*corresponding author: vojtech.svoboda@chmi.cz

### ABSTRACT

T-year return period flows express the statistical probability of high flow occurrences. Current methodology recommends using the longest possible time series of annual peak flows for their derivation. This is undoubtedly a correct approach for estimating long return period T-year flows characterized by high uncertainty ( $Q_{100}$  and greater). Under climate change conditions, however, trends are already emerging in annual peak flow series at numerous gauging stations, for instance, decreasing trends where winter-type floods predominate. Consequently, the question arises whether using the longest possible series is also appropriate for deriving more frequent flows (approx.  $Q_1$  to  $Q_{10}$ ). Since T-year flows serve as design data for future applications, they should best represent the current, actual state of the catchment, reflecting both anthropogenic impacts and climate change.

Another challenge involves deriving these flows at profiles significantly affected by hydraulic structures, where annual peak flow series lack homogeneity. For this reason, the Czech technical standard ČSN 75 1400 (Hydrological Data of Surface Waters) states that T-year flows should be processed using data from which any significant and verifiable influence of water reservoir operations has been eliminated as far as possible. However, it adds that if a gauging station with a longer observation period is located downstream of a reservoir and represents the runoff regime, influenced T-year flows may also be provided. The derivation method based on eliminating these influences was justified in cases with short observation periods downstream of reservoirs; today, however, data series exceeding 50 years are generally available even below these structures.

The existence of inconsistent approaches for determining T-year flows across the country, the long period since the last comprehensive regional assessment, and the problematic elimination of reservoir influences from peak flows have driven efforts to propose a new, unified methodological framework. This framework is based on observed and the most homogeneous data possible.

The updated methodology for deriving  $Q_N$  at gauging stations consists of three steps: 1) deriving T-year flows from  $Q_{20}$  to  $Q_{100}$  (potentially  $Q_{500}$ ) from the entire verified annual peak flow series, including historical flood estimates where available; 2) deriving T-year flows from  $Q_1$  to  $Q_{10}$  from the recent 50-year period (1976–2025), accounting for historical floods; and 3) deriving the final complete set of T-year flows by combining both approaches.

The derivation is based on the three-parameter log-normal theoretical probability distribution (LN3), with parameters estimated using the method of L-moments or maximum likelihood estimation (MLE), and incorporating an arbitrary number of historical floods. The required procedures are programmed within the internal application QNStat.

The analysis indicates that floods with a higher probability of occurrence (approx.  $Q_1$  to  $Q_{10}$ ) may currently exhibit a significantly different regime than in the past, with a noticeable decrease in their values observed at many gauging stations. This cannot be stated for high-magnitude floods (approx.  $Q_{100}$  and greater), as demonstrated by the recent extreme flood in September 2024, which affected almost identical areas as the flood of July 1997. The outcome of this assessment will be updated T-year flows derived using a unified methodology for the entire Czech Republic, which should better characterize the current flood regime.

**Keywords:** peak discharge, flood regime, historical flood, design flood data

**Acknowledgements:** This work was supported by the Long-term Concept for the Development of the Research Organization of the Czech Hydrometeorological Institute for the period of 2023–2027 and by the PERUN Competence Centre (TAČR project SS02030040).

## ODHAD EXTRÉMNYCH ( $N \gg 100$ ROKOV) PRIETOKOV POMOCOU SYNTETICKÝCH METEOROLOGICKÝCH RADOV A KONTINUÁLNEHO ZRÁŽKOVO-ODTOKOVÉHO MODELOVANIA

Peter Valent <sup>1,2\*</sup>, Adam Brziak <sup>1</sup>, Silvia Kohnová <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 810 05,  
Slovenská republika

<sup>2</sup> Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, Technische Universität Wien, Viedeň, Rakúsko

\*korešpondenčný autor: [valent@hydro.tuwien.ac.at](mailto:valent@hydro.tuwien.ac.at)

### ABSTRAKT

Spôľahlivý odhad extrémnych návrhových prietokov s dobou opakovania výrazne presahujúcou 100 rokov predstavuje jednu z kľúčových výziev súčasnej inžinierskej hydrologie. Dostupné rady pozorovaných prietokov v stredoeurópskom priestore majú zvyčajne dĺžku 30 - 80 rokov, čo pri klasickej frekvenčnej analýze vedie k vysokým štatistickým neistotám práve v oblasti povodní s nízkou pravdepodobnosťou výskytu. Príspevok predstavuje komplexný modelovací rámec, ktorý tieto obmedzenia prekonáva kombináciou stochastického generovania meteorologických vstupov, priestorovo distribuovaného kontinuálneho zrážkovo-odtokového modelovania a cieľenej korekcie systematických chýb simulovaných extrémov.

Stochastický generátor počasia (SWG) vyvinutý na Technickej univerzite vo Viedni v rámci projektu Wetrax+ generuje dlhé syntetické časové rady denných zrážok a teplôt vzduchu pre oblasť s rozlohou cca 330 000 km<sup>2</sup>, pričom zohľadňuje rôzne typy atmosférickej cirkulácie vrátane budúcich klimatických projekcií. Denné rady sú disagregované na hodinový časový krok, ktorý je nevyhnutný pre správnu simuláciu krátkodobých povodňových udalostí. Tieto rady slúžia ako vstup do priestorovo distribuovaného zrážkovo-odtokového modelu typu HBV s rozlíšením gridu 2 × 2 km, ktorý zahŕňa snehový submodel, submodel nasýtenosti a generovania odtoku a submodel transformácie odtoku prostredníctvom Nashovej kaskády. Model bol kalibrovaný a validovaný na období 2007 - 2016 na šiestich kontrastných povodiach - troch horských (Dráva, Enns, Inn) a troch nížinných (Naab, Pfreimd, Amper) - s výsledkami NSE 0,86 - 0,93 a KGE 0,87 - 0,95 naprieč všetkými profilmi. Napriek dobrej celkovej zhode bolo zistené systematické podhodnocovanie maximálnych simulovaných prietokov, ktoré je dôsledkom priestorovej interpolácie zrážok a obmedzenej hustoty meraní vo vysokohorských oblastiach. Táto odchýlka bola odstránená navrhnutou automatickou korekciou systematických chýb simulácie, v rámci ktorej sú všetky prietoky s dobou opakovania väčšou ako 1 rok navýšené o hodnotu  $\Delta Q$  stanovenú na základe empirických čiar prekročenia pozorovaných a simulovaných prietokov.

Porovnanie pozorovaných a simulovaných empirických čiar prekročenia maximálnych ročných prietokov ukazuje, že syntetické 10 000-ročné rady prietokov po aplikácii korekcie dobre kopírujú tvar pozorovaných čiar aj v oblasti udalostí s nízkou pravdepodobnosťou výskytu. Navrhnutý hybridný prístup poskytuje spoľahlivý rámec pre odhad návrhových prietokov výrazne presahujúcich dostupné pozorovania, je aplikovateľný v regiónoch s krátkou alebo riedkou pozorovacou sieťou a po úpravách ho možno využiť aj na hodnotenie dopadov zmeny klímy. Výsledky sú priamo využiteľné v inžinierskej praxi pri návrhu protipovodňových opatrení a vodohospodárskych stavieb.

**Kľúčové slová:** návrhová povodeň, stochastický generátor počasia, zrážkovo-odtokový model HBV, frekvenčná analýza prietokov, korekcia systematických chýb simulácie

**Pod'akovanie:** Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmlúv č. APVV-23-0332 a VV-MVP-24-0208 a grantovou agentúrou VEGA v rámci projektu č. 1/0577/23.

## ESTIMATION OF EXTREME ( $N \gg 100$ YEARS) DISCHARGES USING SYNTHETIC METEOROLOGICAL SERIES AND CONTINUOUS RAINFALL-RUNOFF MODELLING

Peter Valent <sup>1,2\*</sup>, Adam Brziak <sup>1</sup>, Silvia Kohnová <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Land and Water Resources Management, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic

<sup>2</sup> Institute of Hydraulic and Water Resources Engineering, Vienna University of Technology, Vienna, Austria

\*corresponding author: valent@hydro.tuwien.ac.at

### ABSTRACT

Reliable estimation of extreme design discharges with return periods far exceeding 100 years represents one of the key challenges of contemporary engineering hydrology. Available observed discharge series in the Central European region typically span 30 - 80 years, which in classical frequency analysis leads to high statistical uncertainties precisely in the domain of low-probability flood events. The paper presents a comprehensive modelling framework that overcomes these limitations by combining stochastic generation of meteorological inputs, spatially distributed continuous rainfall-runoff modelling, and targeted correction of systematic errors in simulated extremes.

The Stochastic Weather Generator (SWG) developed at the Vienna University of Technology within the Wetrex+ project generates long synthetic time series of daily precipitation and air temperature for a catchment area of approximately 330 000 km<sup>2</sup>, accounting for various atmospheric circulation types including future climate projections. The daily series are disaggregated to an hourly time step, which is essential for accurate simulation of short-duration flood events. These series serve as input to a spatially distributed HBV-type rainfall-runoff model with a 2 × 2 km grid resolution, comprising a snow submodel, a soil saturation and runoff generation submodel, and a runoff routing submodel based on the Nash cascade. The model was calibrated and validated for the period 2007 - 2016 on six contrasting catchments - three alpine (Drava, Enns, Inn) and three lowland (Naab, Pfreimd, Amper) - achieving NSE values of 0.86 - 0.93 and KGE values of 0.87 - 0.95 across all gauging profiles. Despite the overall good agreement, a systematic underestimation of simulated peak discharges was identified, attributed to spatial interpolation of precipitation and limited gauge density in high-mountain areas. This bias was removed by the proposed automatic bias correction procedure, in which all discharges with a return period exceeding one year are increased by a value  $\Delta Q$  determined from the difference between the empirical exceedance curves of observed and simulated discharges.

A comparison of observed and simulated empirical exceedance curves of annual maximum discharges shows that the synthetic 10 000-year discharge series, after applying the correction, closely reproduce the shape of the observed curves even in the domain of low-probability events. The proposed hybrid approach provides a reliable framework for estimating design discharges well beyond the length of available observations, is applicable in regions with short or spatially sparse observational networks, and can be adapted to assess the impacts of climate change. The results are directly applicable in engineering practice for the design of flood protection measures and water management infrastructure.

**Keywords:** design flood, stochastic weather generator, HBV rainfall-runoff model, flood frequency analysis, simulation bias correction

**Acknowledgements:** This work was funded by the Slovak Research and Development Agency under contract numbers APVV 23-0332 and VV-MVP-24-0208, and by the VEGA Grant Agency under grant number 1/0577/23.

# IDENTIFIKACE URBANIZOVANÝCH ÚZEMÍ OHROŽENÝCH PŘÍVALOVÝMI POVODNĚMI V ČESKÉ REPUBLICE

Martin Caletka <sup>1\*</sup>, Karel Drbal <sup>1</sup>, Pavla Štěpánková <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Mojžírovo náměstí 16, 612 00 Brno, Česká republika

\*korespondenční autor: martin.caletka@vuv.cz

## ABSTRAKT

Přívalové povodně představují v podmínkách České republiky významný hydrologický extrém, který každoročně způsobuje materiální škody, ohrožení obyvatel a narušení infrastruktury zejména v urbanizovaných územích. Vzhledem k vysoké prostorové variabilitě konvektivních srážek a rychlé odezvě malých povodí je klíčové přesné vymezení lokalit s predispozicí ke koncentraci povrchového odtoku směrem do zastavěných území. Cílem této práce bylo aktualizovat metodiku identifikace tzv. kritických bodů, původně vytvořenou v roce 2009, a zpřesnit vymezení jejich přispívajících ploch s využitím nových datových zdrojů a postupů.

Aktualizace metodiky vychází z analýzy detailního digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G), aktualizovaného vymezení zastavěných území a nově také bodových a liniových objektů databáze ZABAGED® významně ovlivňujících koncentraci povrchového odtoku (zejména propustků a zatrubněných úseků vodních toků). Analýza byla provedena v prostředí ESRI ArcGIS s využitím nadstavby ArcHydro a doplňkově též pomocí programovacího jazyka Python. Metodika byla aplikována na území celé České republiky.

Výsledkem jsou dvě sady aktualizovaných vrstev kritických bodů a jejich přispívajících ploch reprezentujících dva mezní stavy funkčnosti preferenčních cest povrchového odtoku – průtočné a neprůtočné – během extrémních srážkových epizod. Zohlednění těchto objektů umožnilo detailnější reprezentaci skutečných podmínek odtoku a v řadě lokalit vedlo ke změně polohy identifikovaných kritických bodů i rozsahu přispívajících ploch.

Aktualizované vrstvy kritických bodů byly následně propojeny s Indikátorem přívalových povodní (Flash Flood Indicator – FFI) provozovaným Českým hydrometeorologickým ústavem. Kombinace statických charakteristik predispozice území s aktuálními radarovými a nowcastovými srážkovými daty umožňuje zpřesnění časoprostorové identifikace oblastí s aktuálně zvýšeným nebezpečím přívalových povodní. Výstupy metodiky tak mohou sloužit nejen pro územní plánování a návrh opatření ke snižování rizik v urbanizovaných oblastech, ale také pro hydrometeorologickou předpovědní službu a podporu systému včasného varování.

Příspěvek představuje principy aktualizované metodiky kritických bodů na příkladech konkrétních lokalit, včetně diskuse limitů metodiky ve vazbě na dostupné datové podklady.

**Klíčové slová:** digitální model terénu, intravilán, kritické body, povrchový odtok, přívalové povodně

**Pod'akovanie:** Tato práce byla podpořena projektem TAČR SS06010059 Zvýšení připravenosti urbanizovaných lokalit v ČR propojením metody kritických bodů s indikátorem přívalových povodní a projektem TAČR SS02030027 Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu.

## IDENTIFICATION OF URBAN AREAS SUSCEPTIBLE TO FLASH FLOODS IN THE CZECH REPUBLIC

Martin Caletka <sup>1\*</sup>, Karel Drbal <sup>1</sup>, Pavla Štěpánková <sup>1</sup>

<sup>1</sup> T. G. Masaryk Water Research Institute, p. r. i., Mojžírovo náměstí 16, 612 00 Brno, Czech Republic

\*corresponding author: martin.caletka@vuv.cz

### ABSTRACT

Flash floods represent a significant hydrological extreme in the Czech Republic, causing material damage, threatening human lives, and disrupting infrastructure every year, particularly in urbanized areas. Due to the high spatial variability of convective precipitation and the rapid hydrological response of small catchments, the precise identification of locations predisposed to concentrated surface runoff directed towards built-up areas is of key importance. The aim of this study was to update the methodology for identifying so-called critical points, originally developed in 2009, and to refine the delineation of their contributing areas using new data sources and analytical approaches.

The updated methodology is based on the analysis of the fifth-generation Digital Relief Model of the Czech Republic (DMR 5G), updated delineation of built-up areas, and newly also on point and linear features from the ZABAGED® geodatabase significantly influencing the concentration of surface runoff, particularly culverts and culverted stream sections. The analysis was carried out in the ESRI ArcGIS environment using the ArcHydro extension and additionally supported by the Python programming language. The methodology was applied across the entire territory of the Czech Republic.

The results consist of two sets of updated layers of critical points and their contributing areas representing two boundary conditions of the functionality of preferential surface runoff pathways – passable and impassable – during extreme rainfall events. Incorporating these features enabled a more detailed representation of actual runoff conditions and, in many locations, resulted in changes in both the position of identified critical points and the extent of their contributing areas.

The updated critical point layers were subsequently integrated with the Flash Flood Indicator (FFI) operated by the Czech Hydrometeorological Institute. The combination of static characteristics describing the predisposition of the territory with current radar and nowcasting precipitation data enables a more accurate spatio-temporal identification of areas currently exposed to increased flash flood hazard. The outputs of the methodology can therefore serve not only for spatial planning and the design of risk reduction measures in urbanized areas, but also for operational hydrometeorological forecasting and support of early warning systems.

The contribution presents the principles of the updated critical point methodology using examples from selected localities and includes a discussion of the methodological limitations related to the availability and quality of input data.

**Keywords:** concentrated surface runoff, critical points, digital terrain model, flash floods, urban areas

**Acknowledgements:** This work was supported by the Technology Agency of the Czech Republic (TA CR) under project SS06010059 Increasing the preparedness of urbanised areas in the Czech Republic by linking the critical points method with the flash flood indicator and project SS02030027 Water systems and water management in the Czech Republic in conditions of climate change.

## ODVOZENÍ ZÁKLADNÍCH HYDROLOGICKÝCH ÚDAJŮ (M-DENNÍCH PRŮTOKŮ) ZA REFERENČNÍ OBDOBÍ 1991–2020

Ladislav Budík<sup>1</sup>, Pavel Kukla<sup>2\*</sup>, Jiří Mudra<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Český hydrometeorologický ústav, Kroftova 2578/43, 616 67 Brno, Česká republika

<sup>2</sup> Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, Česká republika

<sup>3</sup> Český hydrometeorologický ústav, Antala Staška 1177/32, 370 07 České Budějovice, Česká republika

\* korespondenční autor: pavel.kukla@chmi.cz

### ABSTRAKT

Príspevek predstavuje inovované metodické prístupy použité pri odvození základných hydrologických údajů (*M*-denních průtoků) pro nepozorovaná povodí v České republice pro referenční období 1991–2020. Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) je pověřenou státní organizací pro zpracování a ověřování standardních hydrologických údajů v souladu s požadavky normy ČSN 75 1400 – Hydrologické údaje povrchových vod. Mezi základní hydrologické údaje náleží plocha povodí, dlouhodobá průměrná roční výška srážek, dlouhodobý průměrný průtok, *M*-denní průtoky a *N*-leté maximální průtoky.

Aktualizace vymezení rozvodnic povodí 1. až 4. řádu probíhala v období 2018–2023 na základě digitálního modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G) a zpřesněných dat vodních toků státního mapového díla ZABAGED©. Aktualizace probíhala primárně na úrovni povodí 4. řádu, z nichž jsou následně hierarchicky odvozována povodí vyšších řádů. Nové vymezení rozvodnic vedlo ke zpřesnění hranic povodí, zejména v nížinných a rovinatých oblastech, a ke změnám plošných charakteristik především u menších povodí a dílčích mezipovodí. Aktualizovaná datová sada rozvodnic je dostupná veřejnosti prostřednictvím otevřených dat ČHMÚ.

Dlouhodobá průměrná roční výška srážek na povodí je zpracována jako základní klimaticko-hydrologická charakteristika pro referenční období 1991–2020. Její stanovení je založeno na geografických informačních systémech, konkrétně na prostorovém překryvu polygonů povodí s rastrovou vrstvou dlouhodobých srážkových úhrnů, interpolovaných z bodových měření srážkoměrných a klimatologických stanic včetně stanic zahraničních. Použitá metoda orografické interpolace zohledňuje vliv reliéfu a umožňuje jednotné hodnocení srážkových poměrů i v případech přeshraničních povodí.

Dlouhodobý průměrný průtok je v profilech s vodoměrným pozorováním stanoven jako průměr průměrných denních průtoků za referenční období. V nepozorovaných profilech je odvozován na základě vztahů mezi dlouhodobou průměrnou výškou srážek, potenciální evapotranspirací a odtokovou výškou, a to pomocí regresního modelu dle Oudina. Výsledné hodnoty jsou dále optimalizovány s ohledem na pozorovaná data ve vodoměrných stanicích a velikost antropogenního ovlivnění vodního režimu.

*M*-denní průtoky popisující variabilitu odtokového režimu jsou odvozovány za referenční období 1991–2020 s využitím matematického prokládání křivek překročení průměrných denních průtoků modifikovaným 5-ti parametrickým logaritmicko-normálním rozdělením mLN5. Pro metodické postupy jednotného statistického zpracování *M*-denních průtoků a jejich extrapolace do nepozorovaných povodí, které rovnoměrně pokrývají celou říční síť, se používá označení „katastr vodnosti“. Metodika odvození *M*-denních průtoků pro nepozorovaná povodí kombinuje regionalizaci regresních odhadů parametrů mLN5 na základě fyzicko-geografických charakteristik povodí a optimalizaci vůči pozorovaným profilům, přičemž jsou zohledněny vlivy evidovaného antropogenního ovlivnění, výparu z vodních ploch a funkce říčních niv.

Výsledkem zpracování je komplexní a aktuální databáze základních hydrologických údajů pro povodí 4. řádu za referenční období 1991–2020, která představuje spolehlivý podklad pro vodohospodářské rozhodování, plánovací procesy a dlouhodobé hodnocení vodního režimu území České republiky.

**Klíčová slova:** hydrologické charakteristiky, rozvodnice, dlouhodobý průměrný průtok, *M*-denní průtoky

**Poděkování:** Tato práce byla podpořena projektem Dlouhodobá koncepce rozvoje výzkumné organizace na období 2023–2027.

## DERIVATION OF BASELINE HYDROLOGICAL DATA (M-DAY DISCHARGES) FOR THE 1991–2020 REFERENCE PERIOD

Ladislav Budík<sup>1</sup>, Pavel Kukla<sup>2\*</sup>, Jiří Mudra<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Czech Hydrometeorological Institute, Kroftova 2578/43, 616 67 Brno, Czech Republic

<sup>2</sup> Czech Hydrometeorological Institute, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, Czech Republic

<sup>3</sup> Czech Hydrometeorological Institute, Antala Staška 1177/32, 370 07 České Budějovice, Czech Republic

\* corresponding author: pavel.kukla@chmi.cz

### ABSTRACT

This paper presents innovated methodological approaches used to derive baseline hydrological data (*M*-day discharges) for ungauged catchments in the Czech Republic for the 1991–2020 reference period. The Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) is the authorized state organization responsible for processing and verifying standard hydrological data in accordance with the requirements of the ČSN 75 1400 standard – Hydrological Data of Surface Waters. Baseline hydrological data include catchment area, long-term average annual precipitation depth, long-term average discharge, *M*-day discharges, and *N*-year peak discharges.

Update of the delineation of 1st to 4th-order catchment divides took place between 2018 and 2023, based on the 5th generation digital elevation model (DMR 5G) and refined watercourse data from the state mapping series ZABAGED©. The update was primarily carried out at the 4th-order catchment level, from which higher-order catchments are subsequently derived hierarchically. The new delineation of divides led to more precise catchment boundaries, particularly in lowland and flat areas, and to changes in spatial characteristics, especially for smaller catchments and sub-catchments. The updated dataset of catchment divides is available to public via CHMI open data.

The long-term average annual precipitation depth in a catchment is processed as a baseline climatic-hydrological characteristic for the 1991–2020 reference period. Its determination is based on geographic information systems, specifically on the spatial overlay of catchment polygons with a raster layer of long-term precipitation totals interpolated from point measurements of rain-gauge and climatological stations, including foreign stations. The orographic interpolation method used accounts for the effect of terrain relief and allows for a uniform evaluation of precipitation conditions, even in the case of transboundary catchments.

At gauged cross-sections, the long-term average discharge is determined as the mean of average daily discharges over the reference period. At ungauged cross-sections, it is derived based on the relationships between long-term average precipitation depth, potential evapotranspiration, and runoff depth, utilizing a regression model according to Oudin. The resulting values are further optimized regarding observed data at gauging stations and the extent of anthropogenic influence on the water regime.

*M*-day discharges, that describe the variability of the runoff regime, are derived for the 1991–2020 reference period using mathematical curve fitting of flow-duration curves of average daily discharges with a modified 5-parameter log-normal distribution (mLN5). The methodology for deriving *M*-day discharges for ungauged catchments combines the regionalization of mLN5 parameter regression estimates based on the physical-geographic characteristics of the catchment and optimization against gauged cross-sections, considering the effects of recorded anthropogenic impact, evaporation from water bodies, and the function of floodplains.

Result of this processing is a comprehensive and up-to-date database of baseline hydrological data for 4th-order catchments for the 1991–2020 reference period, that represents a reliable foundation for water management decision-making, planning processes, and long-term assessment of the water regime in the Czech Republic.

**Keywords:** hydrological characteristics, watershed, long-term mean discharge, *M*-day discharges

**Acknowledgements:** This work was supported by the project Long-term Concept of Development of a Research Organization for the Period 2023–2027.

## PRÍPRAVA ŠTÚDIE USKUTOČNITEĽNOSTI PVE MÁLINEC-LÁTKY

Andrej Kasana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, Karloveská 2, 842 04 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: andrej.kasana@vzb.sk

### ABSTRAKT

Na základe uznesenia vlády SR č. 799/2024 zo dňa 18.12.2024 s názvom „Potenciál výstavby prečerpávacích vodných elektrární na Slovensku“ pripravuje Vodohospodárska výstavba, štátny podnik, štúdiu uskutočniteľnosti Prečerpávacej vodnej elektrárne (PVE) Málinec – Látky. Posudzovaný investičný projekt bude pozostávať hlavne z výstavby a prevádzky priehrady a hornej nádrže Látky, prečerpávacej vodnej elektrárne Málinec - Látky vrátane jej hydraulického obvodu (podzemné privádzače), rozvodne, 400 kV vyvedenia výkonu, inovácie a modernizácie existujúcej priehrady a dolnej nádrže Málinec a vyvolaných investícií. Cieľom projektu je vybudovať a prevádzkovať nový zdroj pre akumuláciu elektrickej energie a poskytovanie flexibility pre elektrizačnú sústavu Slovenska, ktorý bude súčasťou stabilizačných prvkov sústavy, PVE Málinec – Látky bude predstavovať trvalo-udržateľné riešenie špičkového a vyrovnávacieho energetického zdroja, ktorého funkciou je využívanie elektrickej energie v čase jej prebytku (čerpaním vody do hornej nádrže PVE) a výrobou elektrickej energie v PVE v čase jej nedostatku. Objem hornej aj dolnej nádrže by mal byť cca 23 až 25 mil. m<sup>3</sup> a z toho by mal byť objem využiteľný na účely PVE cca 11 až 15 mil. m<sup>3</sup> a rozdiel prevádzkových hladín medzi nádržami je cca 500 m. PVE by mala byť budovaná a uvádzaná do prevádzky v dvoch fázach a po etapách (Fáza 1 = PVE I s inštalovaným výkonom 1200 MW, 1. etapa 2x150 MW + 1x300 MW, 2. etapa 2x300 MW; Fáza 2 = PVE II s inštalovaným výkonom 1200 MW, 3. etapa 2x300 MW, 4. etapa 2x300 MW). Štúdie a analýzy by mali byť realizované do roku 2027, projektová príprava by mala trvať do roku 2030 a výstavba by mala byť ukončená do roku 2035.

Obec Látky patrí medzi najvyššie položené obce Slovenska. Stred obce má výšku 830 m n. m., najvyšší bod k. ú. tvorí vrch Bykovo s výškou 1110 m n. m., najnižší bod je v mieste, kde potok Smolná opúšťa k. ú., má výšku 540 m n. m. Samotná stavba priehrady a priestor hornej nádrže budú situované v časti Čechánky, kde sa nachádza rozptýlené laznícke osídlenie (v priestore nádrže a v prvom stupni ochranného pásma vodárenského zdroja je k pobytu prihlásených 12 obyvateľov). Zaujímavá oblasť spadá do 3 stupňa ochranného pásma vodárenského zdroja VN Málinec. Cez záujmové územie preteká potok Smolná, ktorý ústi do VN Málinec.

Výzvy a identifikované riziká: prioritné zabezpečenie dodávky pitnej vody, ktoré vyžaduje obnoviť prepojenie vodárenskej infraštruktúry medzi VN Hriňová, VN Málinec a VN Klenovec, zvýšenie kapacity úpravnej vody v Hriňovej, Málinci a v Klenovci, zrealizovať sanácie súčasných nedostatkov na priehradách Hriňová, Klenovec a Málinec, vybudovanie vodárenského odberu priamo z toku Ipeľ nad VN Málinec, zachovanie vodárenského účelu VN Málinec, zaistenie vodárenského účelu aj pre hornú nádrž Látky, vybudovanie vodovodu a kanalizácie v obciach v ochranných pásmach vodárenského zdroja VN Málinec. Analýzy riešia stanovenie potenciálnej maximálnej potreby pitnej vody, pri uvažovaní pripojenie 100% obcí v záujmovom regióne a pri uvažovaní demografického rastu predpokladaného do roku 2030. Analýzy taktiež riešia vplyv klimateckej zmeny na povrchové aj podzemné zdroje pitnej vody s najaktuálnejšími scenármi a modelmi s výhľadom až do roku 2100.

Uznesením vlády SR č. 57/2026 z 11. februára 2026 vláda schválila projektu PVE Málinec – Látky status významnej investície v zmysle zákona č. 371/2021 Z. z. o významných investíciách, ktorý by mal okrem iného zabezpečiť, aby súčasťou štúdie uskutočniteľnosti bolo aj zrealizovanie geologického prieskumu vrátane prieskumných vrtov.

**Kľúčové slová:** Prečerpávacia vodná elektráreň, VN Málinec, PVE Málinec-Látky, vodárenský zdroj, Ipeľ

## PREPARATION OF THE FEASIBILITY STUDY FOR THE MÁLINEC–LÁTKY PUMPED STORAGE HYDROPOWER PLANT

Andrej Kasana<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Water Management Construction, State Enterprise, Karloveská 2, 842 04 Bratislava, Slovak Republic

\*corresponding author: andrej.kasana@vzb.sk

### ABSTRACT

Based on Resolution of the Government of the Slovak Republic No. 799/2024 of December 18, 2024, entitled “Potential for the Construction of Pumped Storage Hydropower Plants in Slovakia,” Water Management Construction, State Enterprise, is preparing a feasibility study for the Málinec–Látky Pumped Storage Hydropower Plant (PSPP). The assessed investment project will primarily consist of the construction and operation of the Látky dam and upper reservoir, the Málinec–Látky pumped storage hydropower plant including its hydraulic circuit (underground waterways), a substation, a 400 kV power transmission connection, modernization and upgrading of the existing Málinec dam and lower reservoir, as well as associated investments. The objective of the project is to develop and operate a new facility for electricity storage and the provision of flexibility to the Slovak power system. It will serve as a stabilizing element of the system. The Málinec–Látky PSPP will represent a sustainable solution for peak and balancing energy supply, utilizing electricity during periods of surplus (by pumping water into the upper reservoir) and generating electricity during periods of shortage. The volume of both the upper and lower reservoirs is expected to be approximately 23 to 25 million m<sup>3</sup>, of which about 11 to 15 million m<sup>3</sup> will be usable for PSPP purposes. The difference in operating water levels between the reservoirs is approximately 500 m.

The PSPP is planned to be constructed and commissioned in two phases and several stages (Phase 1 = PSPP I, installed capacity 1.200 MW, Stage 1: 2 × 150 MW + 1 × 300 MW, Stage 2: 2 × 300 MW; Phase 2 = PSPP II, installed capacity 1.200 MW, Stage 3: 2 × 300 MW, Stage 4: 2 × 300 MW).

Studies and analyses should be completed by 2027, project preparation by 2030, and construction by 2035.

The municipality of Látky is one of the highest located municipalities in Slovakia. The center of the village lies at an elevation of 830 m above sea level. The highest point of the cadastral area is Bykovo peak at 1.110 m above sea level, and the lowest point is where the Smolná stream leaves the cadastral area, at an elevation of 540 m above sea level. The dam structure and the space of the upper reservoir will be located in the Čechánky area, characterized by dispersed rural settlement (within the reservoir area and the primary protection zone of the water supply source, 12 residents are registered for permanent residence). The area of interest lies within the third protection zone of the Málinec water supply reservoir. The Smolná stream flows through the area and discharges into the Málinec reservoir.

Challenges and Identified Risks: priority water supply security, requiring restoration of interconnections between Hriňová, Málinec, and Klenovec reservoirs; increasing capacity of water treatment plants in Hriňová, Málinec, and Klenovec; remediation of current deficiencies in the Hriňová, Klenovec, and Málinec dams, construction of a water intake directly from the Ipeľ River upstream of the Málinec reservoir, preservation of the water supply function of the Málinec reservoir, ensuring the water supply function of the Látky upper reservoir, development of water supply and sewerage infrastructure in municipalities within the protection zones of the Málinec water source. The analyses address the determination of the potential maximum demand for drinking water, assuming 100% connection of municipalities in the region and projected demographic growth until 2030. They also assess the impact of climate change on surface and groundwater drinking water sources using the latest scenarios and models up to the year 2100. By Government Resolution No. 57/2026 of February 11, 2026, the project Málinec–Látky PSPP was granted the status of a significant investment under Act No. 371/2021 Coll. on significant investments. Among other things, this ensures that the feasibility study will include geological investigations, including exploratory drilling.

**Keywords:** Pumped Storage Hydropower Plant, Málinec Reservoir, Málinec–Látky PSPP, water supply source, Ipeľ River

## VLIV INUNDAČNÍCH ÚZEMÍ VE SRÁŽKODTOKOVÉM MODELOVÁNÍ V OPERATIVNÍ PRAXI

Alena Kamínková<sup>1\*</sup>, Šárka Zemanová<sup>2</sup>, Lucie Březková<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Regionální předpovědní pracoviště ČHMÚ, K Myslivně 3/2182, 708 00, Ostrava-Poruba, Česká republika

<sup>2</sup>Regionální předpovědní pracoviště ČHMÚ, Kroftova 43, 616 67, Brno, Česká republika

<sup>3</sup> Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1/1665, 613 00, Brno, Česká republika

\*korešpondenční autor: alena.kaminkova@chmi.cz

### ABSTRAKT

Průběh rozsáhlejších povodní v nížinných oblastech bývá často spojen s významnými rozlivy do okolní krajiny. V těchto územích dochází k přirozené transformaci povodňové vlny, která se projevuje zejména zpomalením nárůstu průtoků a zpravidla také snížením kulminačního průtoků. Inundační oblasti, v nichž se dočasně akumuluje značné množství vody a které mnohdy zasahují i do zastavěných území, lze zjednodušeně chápat jako přirozené nádrže, jejichž napouštění a následné vypouštění se řídí určitými pravidly. V rámci Předpovědní povodňové služby Českého hydrometeorologického ústavu jsou v současnosti využívány jednorozměrné srážko-odtokové modely (HYDROG, Aqualog), pomocí nichž jsou rutinně počítány předpovědi průtoků ve vybraných vodoměrných stanicích. Tyto modely však neumožňují detailní simulaci samotného procesu rozlivu v konkrétních lokalitách, na rozdíl od dvourozměrných modelů, jako jsou např. HEC-RAS nebo MIKE. Přesnost předpovědi průtoků pro vodoměrné stanice situované pod rozsáhlými inundačními územími tak může být významně ovlivněna. Na základě zkušeností z průběhu povodní na dolním toku Moravy byly proto v roce 2010 do srážko-odtokového modelu HYDROG zavedeny inundační oblasti ve formě bočních nádrží. Toto řešení umožnilo zpřesnit předpovědi průtoků ve stanicích Kroměříž, Spytihněv, Strážnice a Lanžhot. Vyhodnocení povodně ze září 2024 však poukázalo na potřebu revize a doplnění těchto inundačních oblastí, a to zejména v povodí horní Moravy a Opavy.

Pro každou inundaci (resp. nádrž) byl zadán celkový objem a způsob plnění a prázdňení. Kalibrace těchto hodnot byla provedena podle průchodu povodně ze září 2024. Při následné verifikaci byly využity všechny dostupné významné povodňové epizody (z let 1997, 2006, 2007, 2010, 2020 aj.). Pro operativní využití modelu byl kladen důraz na minimalizaci počtu těchto prvků při zachování dostatečné přesnosti.

Simulace rozlivů výše uvedeným způsobem pochopitelně probíhá za podmínek značné neurčitosti. Analýzou minulých povodňových událostí bylo zjištěno, že plnění inundací i jejich celkový objem není při každé povodni zcela totožný. To je dáno jednak změnami v terénu, ale i chybou vstupních dat (průtoků, srážek), která může činit jednotky až desítky procent. Samotný rozliv pak do určité míry tyto chyby kompenzuje.

Praktické zkušenosti, a to konkrétně povodňová událost na soutoku Moravy a Bečvy (oblast Troubek) v září 2024, potvrdily výhody, jaký tento jednoduchý způsob zavedení inundací do jednorozměrných modelů přináší. Díky možnosti operativní úpravy parametrů rozlivů v průběhu povodně, u již zavedených inundačních území, bylo možné podrobně analyzovat predikci průtoků, což bylo klíčové při rozhodování povodňových orgánů o evakuaci obyvatel domova seniorů v Kroměříži.

Další analýzy potvrdily význam inundačních území pro transformaci povodňových vln. Například oblast Litovelského Pomoraví zásadně ovlivňuje průtoky v Olomouci, přičemž po zaplnění inundace dochází k jejímu částečnému zpětnému vypouštění. V určitých situacích (např. při zaplnění inundace ještě před kulminací) může tento proces vést i ke zhoršení povodňové situace níže po toku. V povodí Opavy bylo prokázáno, že přirozené rozlivy významně ovlivňují průběh povodně již při relativně nízkých průtocích.

Závěrem lze konstatovat, že vhodně zařazená inundační území představují klíčový prvek pro zpřesnění modelování povodňových průtoků. Jejich zahrnutí do modelu HYDROG významně přispívá ke kvalitě předpovědi a tím i ke zvýšení efektivity protipovodňové ochrany.

**Klíčové slová:** inundační území, povodně, srážko-odtokový model, HYDROG

**Pod'akovanie:** Tento příspěvek vznikl v rámci institucionální podpory Dlouhodobé koncepce rozvoje výzkumné organizace na období 2023–2027.

## THE IMPACT OF FLOODPLAINS IN RAINFALL-RUNOFF MODELLING IN PRACTICAL APPLICATIONS

Alena Kamínková<sup>1\*</sup>, Šárka Zemanová<sup>2</sup>, Lucie Březková<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Regional Forecasting Office CHMI, K Myslivně 3/2182, 708 00, Ostrava-Poruba, Czech Republic

<sup>2</sup> Regional Forecasting Office CHMI, Kroftova 43, 616 67. Brno, Czech Republic

<sup>3</sup> Faculty of AgriSciences, Mendel University in Brno, Zemědělská 1/1665, 613 00, Brno, Czech Republic

\* corresponding author: alena.kaminkova@chmi.cz

### ABSTRACT

The course of major floods in lowland areas is often associated with significant overflow into the surrounding landscape. Here, a natural transformation of the flood wave occurs, which is manifested primarily by a slowing of the rise in discharge and, as a rule, also by a reduction in peak discharge. Floodplains, where large amounts of water temporarily accumulate and which often extend into built-up areas, can be simply understood as natural reservoirs whose filling and emptying are governed by certain rules. The Flood Forecasting Service of the CHMI currently uses 1D rainfall-runoff models (HYDROG, Aqualog) to routinely calculate flow forecasts at selected gauging stations. However, these models do not allow for a detailed simulation of the actual flooding process in specific locations, unlike 2D models, such as HEC-RAS or MIKE. The accuracy of flow forecasts for gauging stations located downstream of extensive floodplains can thus be significantly affected. Based on experience from the 2010 floods on the lower Morava River, flood areas were therefore incorporated into the HYDROG model in the form of lateral reservoirs. This solution made it possible to improve the accuracy of flow forecasts at the stations in Kroměříž, Spytihněv, Strážnice, and Lanžhot. However, the evaluation of the September 2024 flood also highlighted the need to revise and expand these flood areas, particularly in the upper Morava and Opava river basins. For each floodplain, the total volume and the filling and emptying patterns were specified. These values were calibrated based on the flood event of September 2024. All available significant flood events (from 1997, 2006, 2007, 2010, 2020, etc.) were used in the subsequent verification. For the operational use of the model, emphasis was placed on minimizing the number of these elements while maintaining sufficient accuracy. Flood simulations conducted in the manner described above naturally take place under conditions of considerable uncertainty. Analysis of past flood events has shown that the extent of inundation and the total volume of floodwater are not the same in every flood. This is due in part to changes in the terrain, but also to errors in the input data (discharge, precipitation), which can range from a few to tens of percent. The flooding itself then compensates for these errors to a certain extent. Practical experience, specifically the flood event at the confluence of the Morava and Bečva rivers (Troubky area) in September 2024, confirmed the advantages of this simple method of incorporating floodplains into 1D models. Thanks to the ability to dynamically adjust floodplain parameters for existing floodplains during the flood, it was possible to conduct a detailed analysis of flow predictions, which was crucial in the flood management authorities' decision to evacuate residents of a senior care facility in Kroměříž. Further analyses have confirmed the importance of floodplains in the transformation of flood waves. For example, the Litovelské Pomoraví has a significant impact on discharge rates in Olomouc, and once the floodplain is filled, some of the water is discharged back downstream. In certain situations (e.g., when the floodplain fills up before the peak), this process can even lead to a worsening of the flood downstream. In the Opava basin, it has been demonstrated that natural overflows significantly influence the course of a flood even at relatively low discharge rates. In conclusion, it can be stated that appropriately incorporated floodplains represent a key element for refining the modelling of flood flows. Their inclusion in the HYDROG model significantly contributes to the quality of forecasts and thus to increasing flood protection.

**Keywords:** floodplain, floods, rainfall-runoff model, HYDROG

**Acknowledgements:** This article was produced as part of institutional support for the Long-Term Development Plan of the research organization for the period 2023–2027.

## ANALÝZA VLIVU VODNÍCH NÁDRŽÍ V POVODÍ SVITAVY NA PRŮCHOD POVODNÍ REGIONÁLNÍHO TYPU

Lucie Březková\*, Jan Tomšík, Dominik Viskot

Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1/1665, 613 00, Brno, Česká republika

\*korešpondenční autor: lucie.brezkova@mendelu.cz

### ABSTRAKT

Při hodnocení potenciálního vlivu vodního díla v daném povodí na transformaci povodňové vlny u povodní regionálního typu je jedním z důležitých kritérií **velikost vlastního povodí nádrže** v kontextu celého povodí. Pro menší vodní nádrže nacházející se na přítoku, jejich řídicí plocha tvoří jen několik procent celkové plochy povodí, očekáváme pro transformaci povodňových průtoků na hlavním toku menší přínos, než by tomu bylo u vodní nádrže nacházející se přímo na hlavním toku s řídicí plochou podstatně větší. Tento intuitivní a logicky opodstatněný údaj však může být zavádějící, jak dokládá předkládaná studie vlivu VD Boskovice na průběh povodně v povodí Svitavy v září 2024.

VD Boskovice, jež se nachází na toku Bělá v povodí Svitavy, je menší vodárenská nádrž s celkovým objemem 7,37 mil. m<sup>3</sup>. Plocha povodí nad nádrží činí pouhých 56 km<sup>2</sup>. K profilu vodoměrné stanice Bílovice na toku Svitavy tvoří tedy řídicí plocha VD Boskovice pouhých **5 % z celkové plochy povodí** (1120 km<sup>2</sup>). Přesto vlivem této nádrže došlo ke snížení kulminačních průtoků v Bílovicích o **více než 20 procent** a toto snížení průtoků se v absolutní hodnotě propagovalo i po soutoku se Svratkou, jak dokládá simulace srážkoodtokovým modelem HYDROG. Tento překvapivý účinek byl způsoben ideálním načasováním příčinné srážky (kulminační přítok do nádrže činil přibližně 46 m<sup>3</sup>/s, tedy odpovídal Q<sub>200</sub>), které korelovalo s kulminací povodně na hlavním toku, i **výrazným předpuštěním nádrže** před příchodem povodně. VD Letovice situované na Křetínce s řídicí plochou 126 km<sup>2</sup> a objemem 11.2 mil. m<sup>3</sup> mělo na průběh povodně zanedbatelný vliv, jelikož příčinná srážka způsobila vzestup přítoku do nádrže pouze na úroveň Q<sub>2</sub>-Q<sub>5</sub>.

**Operativní řízení menších vodních nádrží**, pro které nejsou standardně počítány předpovědi přítoků, lze realizovat jako **včasné předpuštění nádrže** před příchodem povodně **regionálního typu**. V případě povodně ze září 2024 byly na základě včasného varování předpuštěny téměř všechny nádrže v ČR. Předkládaná studie dokládá význam tohoto předpuštění – transformační účinek VD Boskovice by byl bez něj asi poloviční. Situace na VD Letovice zároveň ukazuje, že případné obavy ze ztráty vody na straně vodohospodářů nejsou v případě regionálních srážek oprávněné, neboť hladina v nádrži dosáhla vlivem (mírně) zvýšeného přítoku rychle původní hodnoty.

Teoretický účinek včasného předpuštění nádrží VD Boskovice a VD Letovice byl analyzován dále na povodňové situaci z **července 1997**. Při této události pravděpodobně překročil přítok do VD Letovice hodnotu Q<sub>100</sub> (hodnota není přesně známa, odtok z nádrže však kulminoval na hodnotě 45 m<sup>3</sup>/s). Pokud by došlo před příchodem povodně ke snížení hladiny v nádrži analogicky s rokem 2024, s velkou pravděpodobností by odtok z nádrže nepřesáhl neškodný odtok 7 m<sup>3</sup>/s (kapacita spodních výpustí). Podobně by tomu bylo i v případě VD Boskovice, kdy by vlivem včasného předpuštění činil odtok z nádrže 8 m<sup>3</sup>/s místo původní kulminace 17 m<sup>3</sup>/s. V profilu Bílovice by pak kulminační průtok klesl přibližně na hodnotu 95 m<sup>3</sup>/s (původně 125 m<sup>3</sup>/s), tedy téměř o 25 procent.

Vliv menších vodních nádrží na průběh povodní způsobených **regionálními srážkami** tedy nelze podceňovat, neboť za určitých okolností mohou mít překvapivě velký význam i v kontextu velkých povodí. Včasné předpuštění těchto nádrží před příchodem povodně se však pro tento účel ukazuje jako nezbytné.

**Klíčové slová:** regionální povodně, operativní řízení, předpuštění nádrže, srážkoodtokový model, HYDROG

**Pod'akovanie:** Tato práce byla vytvořena za podpory Grantové agentury České republiky v rámci projektu č. 26-20462N s názvem "The utilisation of hydrological forecasts for the control of outflow from water reservoirs during floods".

## ANALYSIS OF THE IMPACT OF WATER RESERVOIRS IN THE SVITAVA RIVER BASIN ON REGIONAL FLOOD PROPAGATION

Lucie Březková\*, Jan Tomšík, Dominik Viskot

Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1/1665, 613 00, Brno, Česká republika

\* corresponding author: lucie.brezkova@mendelu.cz

### ABSTRACT

When assessing the influence of a water reservoir on flood wave transformation during regional-type floods, an important criterion is the size of the **reservoir's catchment area** relative to the entire basin. Smaller reservoirs located on tributaries, whose contributing area represents only a few percent of the total basin area, are generally expected to have a limited effect on flood transformation along the main river. However, this assumption may be misleading, as demonstrated by the presented study of the Boskovice Reservoir during the September 2024 flood event in the Svitava River basin.

The Boskovice Reservoir, located on the Bělá stream, is a small reservoir with a total storage capacity of 7.37 million m<sup>3</sup> and a catchment area of only 56 km<sup>2</sup>. Relative to the Bílovice gauging station on the Svitava River, its contributing area represents just **5% of the total basin area** (1,120 km<sup>2</sup>). Nevertheless, the reservoir reduced peak discharges at Bílovice by **more than 20%**, with this reduction propagating downstream even below the confluence with the Svatka River, as demonstrated by HYDROG rainfall–runoff model simulations. This effect resulted from the favourable timing of the rainfall event (peak inflow reached approximately 46 m<sup>3</sup>/s, corresponding to Q200), coinciding with the flood peak on the main river, together with **significant pre-release operations** before the flood.

The Letovice Reservoir on the Křetínka River, with a contributing area of 126 km<sup>2</sup> and a storage capacity of 11.2 million m<sup>3</sup>, had only a negligible effect on the flood event because inflows increased merely to the Q2–Q5 level.

**Operational management of smaller water reservoirs**, for which inflow forecasts are not routinely calculated, can be implemented through **timely pre-release operations prior to regional-type floods**. During the September 2024 flood event, nearly all reservoirs in the Czech Republic were pre-released based on early warnings. The present study demonstrates the importance of these operations – without pre-release, the flood attenuation effect of the Boskovice Reservoir would have been approximately half as large. At the same time, the situation at the Letovice Reservoir indicates that concerns about water loss are unfounded in the case of regional rainfall events, since the reservoir level quickly recovered due to increased inflow.

The theoretical effect of timely pre-release operations at the Boskovice and Letovice reservoirs was further analysed for the July 1997 flood event. During this event, inflow into the Letovice Reservoir likely exceeded Q<sub>100</sub>, while reservoir outflow peaked at 45 m<sup>3</sup>/s. If the reservoir level had been lowered in advance similarly to 2024, the outflow would likely not have exceeded the safe discharge of 7 m<sup>3</sup>/s (bottom outlet capacity). A similar effect would have occurred at the Boskovice Reservoir, where pre-release would have reduced outflow from peak discharge 17 m<sup>3</sup>/s to 8 m<sup>3</sup>/s. Consequently, the peak discharge at the Bílovice profile would have decreased from 125 m<sup>3</sup>/s to approximately 95 m<sup>3</sup>/s, i.e. by nearly 25%.

The influence of smaller reservoirs on floods caused by **regional precipitation** should therefore not be underestimated, as under certain conditions they may significantly affect flood development even within large river basins. Timely pre-release operations before flood arrival appear to be essential for achieving this effect.

**Keywords:** regional floods, operational management, reservoir pre-release, rainfall–runoff model, HYDROG

**Acknowledgements:** This work was supported by the Czech Science Foundation under Project No. 26-20462N entitled “The utilisation of hydrological forecasts for the control of outflow from water reservoirs during floods”.

## STANOVENIE KONTROLNÝCH POVODŇOVÝCH VĹN POMOCOU PROCESNE ORIENTO VANÉHO VIACROZMERNÉHO PRAVDEPODOB NOSTNÉHO RÁMCA PRE HODNOTENIE BEZPEČNOSTI VODNEJ NÁDRŽE LIPTOVSKÁ MARA, SLOVENSKO

Roman Výleta <sup>1\*</sup>, Anna Liová <sup>2</sup>, Peter Valent <sup>1,3</sup>, Tomáš Bacigál <sup>4</sup>, Michaela Danáčová <sup>1</sup>, Kamila Hlavčová <sup>1</sup>, Zuzana Danáčová <sup>2</sup>, Silvia Kohnová <sup>1</sup>, Ján Szolgay <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 810 05, Slovenská republika

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

<sup>3</sup> Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, Technische Universität Wien, Viedeň, 1040, Rakúsko

<sup>4</sup> Katedra matematiky a deskriptívnej geometrie, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovenská republika

\* korešpondenčný autor: roman.vyleta@stuba.sk

### ABSTRAKT

Hodnotenie aktuálnej úrovne bezpečnosti vodných stavieb, ktoré boli pôvodne navrhované na základe historických hydrologických údajov s obmedzenou dĺžkou a kvalitou záznamov, môže viesť k neistotám pri odhade povodňového rizika. Tento problém je zvlášť významný v podmienkach meniaceho sa hydrologického režimu, rastúcej variability extrémnych prietokov a prejavov klimatickej zmeny. Tradičné prístupy sa často opierajú o jednorozmernú frekvenčnú analýzu, ktorá poskytuje informáciu najmä o pravdepodobnosti výskytu extrémnych kulminačných prietokov, no nezohľadňuje viacrozmernú povahu povodňových udalostí. Pri hodnotení povodňového zaťaženia nádrže je však rozhodujúce zohľadniť aj vzájomné väzby medzi kulminačným prietokom, objemom, trvaním a tvarom hydrogramu. Viacrozmerná frekvenčná analýza založená na modelovaní spoločného pravdepodobnostného rozdelenia týchto charakteristík môže predstavovať metodický posun smerom k realistickejšiemu hodnoteniu bezpečnosti vodných stavieb.

Cieľom práce je poskytnúť analytikom rizika konzistentný procesne orientovaný viacrozmerný pravdepodobnostný rámec na stanovenie súboru kontrolných povodňových hydrogramov, ktorý rešpektuje a opisuje závislostné štruktúry medzi kulminačnými prietokmi, objemami a trvaniami povodní. Navrhovaný postup využíva štatistický prístup založený na viacrozmernej frekvenčnej analýze prostredníctvom teórie kopúl, ktorý umožňuje modelovať spoločné rozdelenie uvedených charakteristík a ich vzájomné väzby. Vstupnými údajmi do viacrozmernej analýzy sú pozorované prietoky v profile vodnej nádrže Liptovská Mara, z ktorých sú pomocou softvéru FloodSep separované jednotlivé povodňové udalosti a určené ich základné charakteristiky. Vzhľadom na rozdielny charakter povodní počas roka je sezónnosť zohľadnená samostatným hodnotením letného a zimného obdobia. Na základe modelovania sú zostrojené kontrolné povodňové hydrogramy definované kombináciou kulminačného prietoku, objemu a trvania s príslušnou pravdepodobnosťou prekročenia. Hodnotenie bezpečnosti nádrže je realizované prostredníctvom analýzy hydrogramov a podmienených spoločných pravdepodobností prekročenia objemu a trvania povodne pri danom kulminačnom prietoku. Navrhnutý postup umožňuje zostaviť kontrolné povodňové hydrogramy, ktoré lepšie vystihujú prirodzenú variabilitu povodňových udalostí a ich viacrozmerný charakter. Výsledky predstavujú podklad pre následnú transformáciu povodní v nádrži, hodnotenie maximálnych hladín a posúdenie bezpečnosti vodného diela Liptovská Mara počas extrémneho povodňového zaťaženia. Aplikácia postupu zároveň poukazuje na jeho využiteľnosť pri technicko-bezpečnostnom dohľade nad vodnými stavbami a pri podpore rozhodovania v oblasti manažmentu povodňového rizika.

**Kľúčové slová:** prístup založený na kopulách, kontrolné povodňové hydrogramy; Liptovská Mara; povodňové riziko, viacrozmerná frekvenčná analýza

**Pod'akovanie:** Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmlúv č. APVV-23-0332 a VV-MVP-24-0208 a grantovou agentúrou VEGA v rámci projektu č. 1/0577/23.

## DETERMINATION OF CONTROL FLOOD HYDROGRAPHS USING A PROCESS-ORIENTED MULTIVARIATE PROBABILISTIC FRAMEWORK FOR SAFETY ASSESSMENT OF THE LIPTOVSKÁ MARA WATER RESERVOIR, SLOVAKIA

Roman Výleta <sup>1\*</sup>, Anna Liová <sup>2</sup>, Peter Valent <sup>1,3</sup>, Tomáš Bacigál <sup>4</sup>, Michaela Danáčová <sup>1</sup>, Kamila Hlavčová <sup>1</sup>, Zuzana Danáčová <sup>2</sup>, Silvia Kohnová <sup>1</sup>, Ján Szolgay <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Land and Water Resources Management, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic

<sup>2</sup> Slovak Hydrometeorological Institute, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, Slovak Republic

<sup>3</sup> Institute of Hydraulic Engineering and Engineering Hydrology, Technische Universität Wien, Vienna, 1040, Austria

<sup>4</sup> Department of Mathematics and Constructive Geometry, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic

\*Corresponding author: roman.vyleta@stuba.sk

### ABSTRACT

The assessment of the current safety level of hydraulic structures that were originally designed based on historical hydrological data with limited record length and quality may lead to uncertainties in flood risk estimation. This issue is particularly important under conditions of a changing hydrological regime, increasing variability of extreme flows, and the manifestations of climate change. Traditional approaches often rely on univariate frequency analysis, which mainly provides information on the probability of occurrence of extreme flood peaks, but does not account for the multivariate nature of flood events. However, in assessing the flood loading of a reservoir, it is essential to consider the interdependencies among the flood peak, volume, duration, and hydrograph shape. Multivariate frequency analysis based on modelling the joint probability distribution of these characteristics may represent a methodological step towards a more realistic assessment of the safety of hydraulic structures.

The aim of this study is to provide risk analysts with a consistent, process-oriented multivariate probabilistic framework for determining a set of control flood hydrographs that respects and describes the dependence structures among flood peaks, volumes, and durations. The proposed procedure applies a statistical approach based on multivariate frequency analysis using copula theory, which enables the joint distribution of these characteristics and their mutual dependencies to be modelled. The input data for the multivariate analysis consist of observed discharge records in the profile of the Liptovská Mara water reservoir, from which individual flood events are separated using the FloodSep software and their basic characteristics are determined. Considering the different nature of floods throughout the year, flood seasonality is accounted for by separate analyses of the summer and winter periods. Based on the modelling, control flood hydrographs are constructed as combinations of flood peak, volume, and duration with the corresponding probability of exceedance. Reservoir safety assessment is carried out through hydrograph analysis and conditional joint probabilities of exceedance of flood volume and duration given a specified flood peak. The proposed procedure enables the construction of control flood hydrographs that better capture the natural variability of flood events and their multivariate character. The results provide a basis for the subsequent flood routing in the reservoir, the assessment of maximum water levels, and the safety assessment of the Liptovská Mara water reservoir under extreme flood loading. The application of the procedure also demonstrates its usefulness for technical safety supervision of hydraulic structures and for supporting decision-making in flood risk management.

**Keywords:** copula-based approach, control flood hydrographs; Liptovská Mara reservoir; flood risk, flood seasonality, multivariate frequency analysis

**Acknowledgements:** This research was funded by the Slovak Research and Development Agency under contract Nos. APVV 23-0332 and VV-MVP-24-0208, and by the VEGA Grant Agency under No. 1/0577/23

## TRANSFORMÁCIA POVODŇOVEJ VLNY V UPRAVENÝCH RIEČNYCH KORYTÁCH: MODELOVÁ ŠTÚDIA ŠTYROCH RIEK Z ČESKEJ REPUBLIKY

Stanislav Ruman<sup>1\*</sup>, Jiří Jakubínský<sup>2</sup>, Martin Pavel<sup>3</sup>, Jiří Schneider<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Katedra fyzické geografie a geokologie, Přírodovědecká fakulta, Ostravská univerzita, Chittussiho 10, 71000, Ostrava, Česká republika

<sup>2</sup> Oddělení analýz ekosystémových funkcí krajiny, Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, Česká republika

<sup>3</sup> STERPLAN, Pod dráhou 1637/4, Holešovice, 170 00 Praha 7, Česká republika

<sup>4</sup> Ústav environmentalistiky a přírodních zdrojů, Fakulta regionálního rozvoje a mezinárodních studií, Mendelova univerzita v Brně, tř. Generála Píky 7, 61300 Brno, Česká republika

\* korešpondenční autor: stanislav.ruman@osu.cz

### ABSTRAKT

Úpravy vodných tokov, ako sú napriamovanie koryt, ich prehĺbovanie a budovanie ochranných hrádzí, významne zmenili morfológiu riek a hydrodynamické procesy vo viacerých európskych krajinách. Tieto zásahy sa všeobecne považujú za faktory znižujúce retenčnú kapacitu inundácií a urýchľujúce šírenie povodňových vln po prúde. Táto štúdia skúma vplyv historických úprav koryt na transformáciu povodňových vln pomocou dvojdimenzionálneho hydraulického modelu HEC-RAS. Model bol aplikovaný na štyri riečne úseky v Českej republike: rieky Bečva, Morava, Stropnice a Trkmanka. Súčasná topografia riečnych koryt a nív bola odvodená z digitálneho modelu reliéfu (DMR) s vysokým rozlíšením. Historické trasy koryt boli rekonštruované na základe historických máp a implementované do terénneho modelu nahradením súčasnej geometrie koryt rekonštruovaným historickým korytom. Kapacita historických koryt bola odhadnutá pomocou Manningovej rovnice a upravená tak, aby približne zodpovedala 1-ročnému prietoku. Topografia nív a ich drsnosť boli ponechané identické so súčasným stavom s cieľom izolovať vplyv geometrie koryt na povodňovú dynamiku. Transformácia povodňových vln bola simulovaná pre povodne s N-ročnosťou 2 a 20 rokov a vyhodnotená v priečných profiloch situovaných na konci modelovaných úsekov. Súčasná antropogénne upravená korytá vo všeobecnosti vykazovali vyššie priemerné (+33,25 %) a maximálne (+39,76 %) rýchlosti prúdenia, menší rozsah záplavy (-180 %) a vyššie priemerné (+18,3 %) aj maximálne (+18,6 %) hĺbky zaplavenia v porovnaní s historickými podmienkami. Napriek týmto výrazným rozdielom v hydraulických charakteristikách zostala transformácia povodňových vln v dolných častiach väčšiny skúmaných úsekov obmedzená, pričom boli zaznamenané iba malé zmeny kulminačných prietokov a času kulminácie. Výsledky naznačujú, že zaplavované nivy fungujú prevažne ako hydraulicky prepojené transportné zóny, a nie ako efektívne retenčné priestory. Hoci obnova prepojenia nivy a koryta zvyšuje rozsah záplavy a znižuje rýchlosti prúdenia, voda sa naďalej efektívne šíri po prúde v dôsledku zachovanej hydraulickej konektivity a pozdĺžneho sklonu inundácií. V dôsledku toho zostáva efekt tlmenia povodňových vln slabý. Zistenia tejto štúdie naznačujú, že obnova historickej morfológie koryt nemusí nevyhnutne viesť k významnej redukcii kulminačných prietokov na úrovni riečného úseku, keďže hydrodynamika inundácií závisí predovšetkým od rovnováhy medzi retenčnou kapacitou a efektívnosťou transportu vody v smere toku.

**Kľúčové slová:** transformácia povodňovej vlny, hydraulické modelovanie, HEC-RAS, doba opakovania

**Pod'akovanie:** Táto práca bola podporená projektom TAČR č. SS07010080.

## FLOOD WAVE TRANSFORMATION IN MODIFIED RIVER CHANNELS: A COMPARATIVE MODELLING STUDY OF FOUR RIVERS FROM CZECH REPUBLIC

Stanislav Ruman <sup>1\*</sup>, Jiří Jakubínský <sup>2</sup>, Martin Pavel <sup>3</sup>, Jiří Schneider <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of Physical geography and Geoecology, Faculty of Sciences, University of Ostrava, Chittussiho 10, 71000, Ostrava, Czech Republic

<sup>2</sup> Department of Ecosystem Functional Analysis of the Landscape, Global Change Research Institute of the Czech Academy of Sciences, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, Czech Republic

<sup>3</sup> STERPLAN, Pod dráhou 1637/4, Holešovice, 170 00 Praha 7, Czech Republic

<sup>4</sup> Department of Environmental Science and Natural Resources, Faculty of Regional Development and International Studies, Mendel university in Brno, tř. Generála Píky 7, 61300 Brno, Czech Republic

\* corresponding author: stanislav.ruman@osu.cz

### ABSTRACT

Channel modifications such as channel straightening, deepening, and embankment construction have substantially altered river morphology and hydrodynamic processes across many European rivers. These alterations are commonly assumed to reduce floodplain retention capacity and accelerate downstream flood propagation. This study investigates the influence of historical channel modifications on flood wave transformation using the two-dimensional hydraulic model HEC-RAS.

The model was applied to four river reaches in the Czech Republic: Bečva River, Morava River, Stropnice River, and Trkmanka River. Present-day river and floodplain topography were derived from a high-resolution digital terrain model (DTM). Historical channel courses were reconstructed from historical maps and incorporated into the terrain model by replacing the present-day channel geometry with the reconstructed historical channel. Historical channel capacity was estimated using Manning's equation and adjusted to correspond approximately to the 1-year return period discharge. Floodplain topography and land cover were kept identical to present-day conditions to isolate the effect of channel geometry on flood dynamics. Flood wave transformation was simulated for 2-year and 20-year return period flood events and evaluated at downstream cross-sections.

Present-day modified channels generally exhibited higher mean (+33.25%) and maximum (+39.76%) flow velocities, smaller inundation extent (-180%), and higher mean (+18.3%) and maximal (+18.6%) flood depths compared to historical conditions. Despite these substantial differences in hydraulic conditions, downstream flood wave transformation remained limited in most river reaches, with only minor changes in peak discharge and peak timing. The results suggest that inundated floodplains function predominantly as hydraulically connected conveyance zones rather than as effective retention areas. Although floodplain reconnection increases inundation extent and reduces flow velocities, water continues to propagate efficiently downstream due to maintained hydraulic connectivity and longitudinal floodplain slope. Consequently, flood attenuation effects remain weak. These findings indicate that restoration of historical channel morphology does not necessarily lead to significant flood peak reduction at the reach scale, as floodplain hydrodynamics depend primarily on the balance between storage capacity and downstream conveyance efficiency.

**Keywords:** Flood wave transformation, hydraulic modelling, HEC-RAS, return period

**Acknowledgements:** This work was supported by the TAČR project nr. SS07010080.

## VYHODNOTENIE MEDZINÁRODNEJ POVODNE V SEPTEMBRI 2024

**Tomáš Borároč<sup>1\*</sup>, Daniel Košťál<sup>1</sup>, Vladimír Majerský<sup>1</sup>, Martin Havlík<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Odbor kvantita povrchových vôd, Úsek Hydrologická služba, Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 831 01  
Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: tomas.boraros@shmu.sk

### ABSTRAKT

V prvej polovici septembra 2024 sa nad severným Talianskom, na postupujúcom studenom fronte, vyvinula a postupne prehĺbila tlaková níz, ktorá v nasledujúcich troch dňoch priniesla na Slovensko intenzívne a vytrvalé zrážky, pričom ich celkové úhrny dosahovali od 120 až do 250 mm, na náveterných stranách pohorí miestami aj podstatne viac. K výraznému zhoršeniu hydrologickej situácie došlo najmä počas víkendu 14. a 15. septembra 2024. Najviac sa to prejavilo na slovenskom úseku riek Morava a Dunaj, v povodí Myjavy, na menších tokoch z Malých Karpát a v oblasti Kysúc. Po rýchlom nasýtení územia vodou začali hladiny tokov prudko stúpať, pričom dosahovali 1. až 3. stupeň povodňovej aktivity. Na všetkých sledovaných profiloch na Morave a Dunaji boli dosiahnuté kulminačné hladiny hodnoty výrazne presahujúce 3. stupeň povodňovej aktivity. Vykonávanie priamych meraní prietokov počas povodne sa sústredilo hlavne na hlavný tok Moravy, kde sa očakávali po výdatných zrážkach v juhovýchodnej oblasti Českej republiky rýchle a vysoké vzostupy vodných hladín. Následne sa pozornosť upriamila aj na Dunaj kde dlhšie trvajúce kulminácie v Devíne a Bratislave (rovnako aj na profiloch pod vodným dielom Gabčíkovo) boli spôsobené súbežným prítokom povodňových vln z dolného Rakúska a z povodia Moravy. Vysoké stavy na Dunaji následne vyvolali spätné vzdutie na dolných úsekoch riek Váh, Nitra a Ipeľ.

**Kľúčové slová:** povodne, povodie Dunaja, povodie Moravy, september 2024

**Pod'akovanie:** Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-23-0332. Príspevok vznikol za podpory projektu „Udržiteľné hospodarení s podzemnými vodami v česko-slovenském příhraničí“, ITMS21+: 403201DNJ4, Interreg Slovensko-Česko 2021-2027 spolufinancovaného Európskou úniou.

## ASSESSMENT OF THE TRANSBOUNDARY FLOOD EVENT IN SEPTEMBER 2024

Tomáš Borároš<sup>1\*</sup>, Daniel Košťál<sup>1</sup>, Vladimír Majerský<sup>1</sup>, Martin Havlík<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Surface Water Quantity, Hydrological Service Division, Slovak Hydrometeorological Institute, Jeseniova 17,  
831 01 Bratislava, Slovak Republic

\* corresponding author: tomas.boraros@shmu.sk

### ABSTRACT

In early September 2024, a low-pressure system formed over northern Italy along an advancing cold front and subsequently intensified. For three days, it brought intense and persistent precipitation to Slovakia, with total rainfall amounts ranging from 120 to 250 mm, with higher totals on the windward sides of mountain ranges. A significant deterioration in hydrological conditions occurred, particularly during the weekend of 14–15 September 2024. This was most evident along the Slovak parts of the Morava and Danube rivers, in the Myjava River basin, in smaller streams draining the Little Carpathian Mountains, and in the Kysuce region. Due to the rapid catchment saturation, water levels of rivers increased rapidly and exceeded the lowest (1<sup>st</sup>) to the highest (3<sup>rd</sup>) flood activity levels. At all monitored water gauging stations in the Morava and Danube River basins, peak water levels exceeded the 3<sup>rd</sup> flood activity level thresholds. Direct discharge measurements during the flood event were primarily focused on the Morava River, where rapid and high-water level increases were expected due to intense precipitation in the south-eastern part of the Czech Republic. Subsequently, attention was also directed to the Danube River, where prolonged peak stages at Devín and Bratislava (as well as at water gauging stations downstream of the Gabčíkovo hydropower scheme) were caused by the synchronous superposition of flood waves from Lower Austria and the Morava River basin. High water levels on the Danube River subsequently induced backwater effects in the lower Váh, Nitra, and Ipel' rivers.

**Keywords:** flood events, Danube River basin, Morava River basin, September 2024

**Acknowledgements:** This work was supported as part of project „Udržitelné hospodaření s podzemními vodami v česko-slovenském příhraničí“, ITMS21+: 403201DNJ4“ an Interreg Slovensk-Česko 2021-2027 Programme project co funded by the European Union.

## VYUŽÍVÁNÍ HYDROLOGICKÝCH VÝSTUPŮ VE VODOHOSPODÁŘSKÉ PRAXI PŘI PROVOZU A NÁVRHU VODNÍCH NÁDRŽÍ

Tomáš Kendík<sup>1\*</sup>, Pavel Fošumpaur<sup>2</sup>, Karel Březina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5 – Smíchov, Česká republika

<sup>2</sup> České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, Česká republika

\* korespondenční autor: tomas.kendik@pvl.cz

### ABSTRAKT

Hydrologie poskytuje v současnosti mnoho výstupů, které jsou následně používány v inženýrské praxi. Jedná se například o veličiny, které slouží k navrhování vodních děl – vodních nádrží a jejich následnému provozu. Jsou to například údaje sloužící k zajištění bezpečnosti hrází vodních nádrží, tedy k návrhu takových zařízení, které převedou povodňové průtoky bez ohrožení bezpečnosti hradícího objektu. Dále jsou to hydrologické údaje sloužící k návrhu hospodaření s vodou ve vlastní vodní nádrži a tím k zajištění požadovaných účelů těchto vodních děl. Nedílnou součástí dlouhodobého provozu vodních nádrží je průběžné ověřování těchto návrhových veličin, a to včetně výhledu do budoucnosti. Toto je nezbytné jednak pro vlastní provoz vodního díla a jednak pro případný návrh dalších opatření, která umožní zajištění bezpečnosti a požadovaných účelů vodních nádrží v budoucnosti. Současný vývoj v klimatologii a meteorologii směřuje k vytváření výstupů, které zachycují a kvantifikují neurčitost při odhadu budoucího vývoje pomocí ansámbly scénářů s různou mírou pravděpodobnosti. Výsledkem je pak „vějíř možných trajektorií“, který reprezentuje široké spektrum pravděpodobného budoucího vývoje. Pokud je však tento rozptyl příliš široký, stává se takový výstup obtížně využitelný pro návrh konkrétních opatření. Inženýrská praxe naproti tomu vyžaduje stanovení jednoznačné návrhové hodnoty či scénáře, na jehož základě jsou technická opatření navržena.

Vodní dílo Orlík je z hlediska objemu největší vodní nádrží v České republice. Dle platné legislativy je nutné, aby hráz vodního díla bezpečně převedla povodeň s dobou opakování 10 000 let. V příspěvku bude ukázáno použití metod a podkladů pro odhad tohoto údaje, který je i vzhledem k délce použitých pozorovaných dat, zatížen značnou mírou nejistoty. Byť byl v době návrhu opatření na hrázi k dispozici velmi široký rozptyl možného odhadu této návrhové veličiny, bylo nutno vybrat konkrétní hodnotu, na kterou je vodní dílo Orlík zajištěno, vybudováním nového doplňkového bezpečnostního přelivu.

V současnosti jsou významné vodní nádrže v České republice posuzovány z hlediska spolehlivosti zajištění zásobní funkce (odběry vody, zajištění MZP atd.) nejenom pro současné hydrologické podmínky, ale i pro klimatické podmínky vzdálenějších časových horizontů až do roku 2100. Současné klimatické modely a socioekonomické scénáře poskytují široký rozptyl možného budoucího vývoje. V roce 2018 bylo připraveno komplexní vodohospodářské řešení vodních nádrží v povodí Rakovnického potoka a Blšanky. Cílem tohoto řešení byla analýza spolehlivosti dodávek vody pro závlahy chmele a zajištění minimálních zůstatkových průtoků pro budoucí časové horizonty klimatické změny dle ansámbly 34 klimatických modelů a klimatických scénářů. Analýza kvantifikovala propagaci neurčitosti klimatických scénářů do nejistot hydrologické a vodohospodářské bilance. Rozptyl nároků na velikost zásobního objemu pro jednotlivé scénáře v rámci simulovaného ansámbly se ukázal tak vysoký, že výsledky analýzy byly prakticky nepoužitelné pro rozhodovací proces. Vznikla proto potřeba přípravy jednoho návrhového scénáře, který s určitou mírou bezpečnosti bude reprezentovat klimatické a hydrologické podmínky v budoucích časových horizontech. Tento tzv. střední scénář klimatické změny pro vodní hospodářství v České republice zpracoval na objednávku státních podniků Povodí Výzkumný ústav vodohospodářský v letech 2019 až 2020. Následně je tento používán v České republice pro potřeby vodního hospodářství. Významné vodárenské nádrže jsou často hlavním zdrojem vody pro rozsáhlá území a jejich plné nahrazení není možné. Proto je potřeba jejich návrhu z pohledu zabezpečení věnovat mimořádnou pozornost.

Příspěvek diskutuje použití hydrologických podkladů se značnou mírou nejistoty pro návrh významných vodních děl, jejichž následný provoz má zcela zásadní vliv na společnost.

**Klíčové slová:** návrhové veličiny, bezpečnost vodních děl, vodohospodářské řešení akumulární nádrže, klimatická změna

**Podakovanie:** Autoři si dovoluují vyslovit poděkování nedávno zesnulému prof. Ing. Vojtěchu Brožovi za jeho celoživotní přínos vodnímu hospodářství a v tomto případě zejména proto, že jeho celostní přístup k řešení technických a organizačních problémů byl inspirací pro přípravu tohoto příspěvku.

## USE OF HYDROLOGICAL OUTPUTS IN WATER MANAGEMENT PRACTICE IN THE OPERATION AND DESIGN OF WATER RESERVOIRS

Tomáš Kendík<sup>1\*</sup>, Pavel Fošumpaur<sup>2</sup>, Karel Březina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Povodí Vltavy, state enterprise, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5 – Smíchov, Czech Republic

<sup>2</sup> Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, Czech Republic

\* corresponding author: tomas.kendik@pvl.cz

### ABSTRACT

Hydrology currently provides a wealth of data that is subsequently used in engineering practice. This includes, for example, parameters used in the design of water structures—such as reservoirs—and their subsequent operation. These include, for example, data used to ensure the safety of reservoir dams, i.e., to design structures capable of handling flood flows without compromising the safety of the dam. Additionally, there are hydrological data used to plan water management within the reservoir itself, thereby ensuring the intended purposes of these water structures. An integral part of the long-term operation of reservoirs is the ongoing verification of these design parameters, including projections into the future. This is necessary both for the actual operation of the waterworks and for the potential design of additional measures that will ensure the safety and intended purposes of reservoirs in the future. Current developments in climatology and meteorology are moving toward the creation of outputs that capture and quantify uncertainty in estimating future developments using an ensemble of scenarios with varying degrees of probability. The result is a “range of possible trajectories” that represents a broad spectrum of likely future developments. However, if this range is too wide, such an output becomes difficult to use for proposing specific measures. Engineering practice, on the other hand, requires the determination of a clear design value or scenario on the basis of which technical measures are proposed.

The Orlik Dam is the largest reservoir in the Czech Republic in terms of volume. Under current legislation, the dam must be capable of safely withstanding a flood with a 10,000-year return period. This paper will demonstrate the use of methods and data to estimate this parameter, which is subject to a significant degree of uncertainty, particularly given the length of the observed data used. Although a very wide range of possible estimates for this design parameter was available at the time the measures for the dam were proposed, it was necessary to select a specific value to which the Orlik dam is secured by the construction of a new supplementary safety spillway.

Currently, major reservoirs in the Czech Republic are being assessed in terms of the reliability of their storage function (water withdrawals, ensuring minimum water levels, etc.) not only for current hydrological conditions but also for climate conditions over longer time horizons, extending up to the year 2100. Current climate models and socioeconomic scenarios provide a wide range of possible future developments. In 2018, a comprehensive water management solution was prepared for reservoirs in the Rakovnický stream and Blšanka river basins. The objective of this solution was to analyze the reliability of water supplies for hop irrigation and to ensure minimum residual flows for future time horizons of climate change based on an ensemble of 34 climate models and climate scenarios. The analysis quantified the propagation of uncertainty from climate scenarios into uncertainties in the hydrological and water management balance. The variation in storage volume requirements across individual scenarios within the simulated ensemble proved so high that the analysis results were practically unusable for the decision-making process. Consequently, there arose a need to develop a single design scenario that would, with a certain degree of safety, represent climatic and hydrological conditions in future time horizons. This so-called “medium” climate change scenario for water management in the Czech Republic was developed by the Water Research Institute at the request of the state-owned Povodí water management companies between 2019 and 2020. It is subsequently used in the Czech Republic for water management purposes. Major water reservoirs are often the primary source of water for large areas, and their complete replacement is not possible. Therefore, their design must be given special attention from a safety perspective. This paper discusses the use of hydrological data with a significant degree of uncertainty in the design of major water infrastructure projects, the subsequent operation of which has a profound impact on society.

**Keywords:** design parameters, safety of hydraulic structures, water management solutions for storage reservoirs, climate change

**Acknowledgements:** The authors would like to express their gratitude to the late Prof. Ing. Vojtěch Broža for his lifelong contributions to water management, and in this particular case, especially because his holistic approach to solving technical and organizational problems served as an inspiration for the preparation of this paper.

## SEZÓNNE ROZDIELY HYDROLOGICKÝCH EXTRÉMOV: REGIONALIZÁCIA NA ZÁKLADE JEDNOTNÉHO FREKVENČNÉHO PRÍSTUPU PRE POVODIA SLOVENSKÝCH RIEK

Veronika Bačová Mitková<sup>1\*</sup>, Pavla Pekárová<sup>1</sup>, Dana Halmová<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ústav hydrológie SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: mitkova@uh.savba.sk

### ABSTRAKT

Frekvenčná analýza umožňuje hodnotiť hydrologické extrémny (minimá i maximá) a ich pravdepodobnostné charakteristiky. Presnosť frekvenčnej analýzy je na jednej strane ovplyvnená zmenami v povodiach a na druhej strane variabilitou klímy. Navyše, výrazná orografická a klimatická rôznorodosť spôsobuje na Slovensku značnú priestorovú variabilitu extrémnych prietokov, čo komplikuje regionalizáciu vzťahov medzi extrémnymi prietokmi, ich sezónnym výskytom a dobou opakovania. Cieľom tejto práce bolo odvodiť pravdepodobnostné vlastnosti 1-denných maximálnych a 7-denných minimálnych špecifických odtokov v povodiach slovenských riek pre dve sezóny: pre letno-jesenné (SA, máj–október) a zimno-jarné (WS, november–apríl) obdobie, a pokúsiť sa o odvodenie empirických vzťahov medzi  $N$ -ročnými extrémnymi špecifickými odtokmi a nadmorskou výškou stanice.

V štúdiu sme vychádzali z dlhodobých radov priemerných denných prietokov z 26 vodomerných staníc pokrývajúcich obdobie 90 hydrologických rokov (1930/31–2019/20). Na zabezpečenie porovnateľnosti výsledkov bol použitý jednotný matematický prístup odhadu  $N$ -ročných 1-denných maximálnych a 7-denných minimálnych špecifických odtokov. Zvolené bolo teoretické rozdelenie pravdepodobnosti Log-Pearsonovho III. typu, ktoré sa vyznačuje dobrou flexibilitou v horných aj dolných okrajoch teoretickej krivky pomocou parametra šikmosti.

Výsledky analýzy dňa výskytu 1-denných maxim ukázali, že v posledných tridsiatich rokoch (1990/91 – 2019/20) sa maximá vyskytovali v WS sezóne skôr, a v SA sezóne neskôr. Ďalej, z analýzy dlhodobých trendov vyplýva, že významný vzostupný trend 1-denných maxim bol v období rokov 1930/31–2019/20 pozorovaný na 17-tich staniách počas SA sezóny a na deviatich staniách počas WS sezóny. Výsledky aplikácie jednej teoretickej funkcie rozdelenia pravdepodobnosti, LP III, ukázali, že 1-dňové maximálne špecifické prietoky sú v SA sezóne vyššie, v porovnaní s WS sezónou.

Porovnanie dňa výskytu 7-denných minim ukázalo ich skorší nástup v oboch sezónach. Za celé obdobie od roku 1930/31–2019/20 sa 7-dňové minimá zvýšili o 12,8 až 3,5% v severnej a východnej časti Slovenska, zatiaľ čo v strednej časti (nížinaté oblasti) klesli o 16% a v južnej časti (nížinaté oblasti) Slovenska dokonca o 23%. Rast minimálnych prietokov bol pravdepodobne ovplyvnený nárastom úhrnov zrážok po roku 1996, ako aj dotovaním prietokov v riekach počas období sucha pomocou nádrží.

Z výsledkov vyplýva, že odhadnuté  $N$ -ročné 1-denné maximálne a 7-denné minimálne špecifické odtoky vykazujú nelineárne závislosti na dlhodobom priemernom špecifickom odtoku a na nadmorskej výške vodomernej stanice. Na základe týchto závislostí sme odvodili empirické regresné vzťahy (v tvare S-krivky) samostatne pre obe sezóny, ktoré umožňujú rýchly nepriamy odhad  $N$ -ročných 7-dňových minimálnych a 1-dňových maximálnych špecifických odtokov na Slovensku.

**Kľúčové slová:** vysoké a nízke prietoky, sezonalita odtokového režimu, klimatické zmeny, pravdepodobnostné rozdelenie, priamy a nepriamy odhad doby opakovania prietokov

**Pod'akovanie:** Táto práca bola podporená projektom VEGA 2/0015/23 a projektom MVTs "WATSIM II".

## SEASONAL DIFFERENCES IN HYDROLOGICAL EXTREMES: REGIONALIZATION WITHIN A UNIFIED FREQUENCY APPROACH FOR SLOVAK RIVER BASINS

Veronika Bačová Mitková<sup>1\*</sup>, Pavla Pekárová<sup>1</sup>, Dana Halmová<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Hydrology SAS, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovak Republic

\* corresponding author: mitkova@uh.savba.sk

### ABSTRACT

Frequency analysis makes it possible to evaluate hydrological extremes (both minima and maxima) and their probabilistic characteristics. The accuracy of frequency analysis is influenced, on the one hand, by changes in river basins and, on the other hand, by climate variability. Moreover, significant orographic and climatic diversity in Slovakia causes considerable spatial variability of extreme flows, which complicates the regionalization of relationships between extreme flows, their seasonal occurrence, and return periods.

The aim of this study was to derive the probabilistic characteristics of 1-day maximum and 7-day minimum specific runoff in Slovak river basins for two seasons: the summer–autumn (SA, May–October) and winter–spring (WS, November–April) periods, and to attempt to derive empirical relationships between N-year extreme specific runoff and the elevation of the gauging station.

The study was based on long-term series of mean daily discharges from 26 gauging stations covering a period of 90 hydrological years (1930/31–2019/20). To ensure comparability of the results, a unified mathematical approach was used for estimating N-year 1-day maximum and 7-day minimum specific runoff. The theoretical Log-Pearson Type III probability distribution was selected, as it is well suited for modelling both the upper and lower tails of the theoretical distribution through the skewness parameter.

The results of the analysis of the occurrence date of 1-day maxima showed that during the last thirty years (1990/91–2019/20), maxima occurred earlier in the WS season and later in the SA season. Furthermore, the analysis of long-term trends indicated that a significant increasing trend in 1-day maxima during the period 1930/31–2019/20 was observed at 17 stations during the SA season and at nine stations during the WS season. The results of applying the LP III theoretical probability distribution function showed that 1-day maximum specific flows are higher in the SA season compared to the WS season.

The comparison of the occurrence date of 7-day minima showed their earlier onset in both seasons. Over the entire period from 1930/31–2019/20, 7-day minima increased by 12.8% to 3.5% in the northern and eastern parts of Slovakia, while in the central part (lowland areas) they decreased by 16%, and in the southern part (lowland areas) of Slovakia even by 23%. The increase in minimum flows was probably influenced by higher precipitation totals after 1996, as well as by flow support in rivers during drought periods through reservoirs. The results indicate that the estimated N-year 1-day maximum and 7-day minimum specific runoff show nonlinear relationships with the long-term mean specific runoff and with the elevation of the gauging station. Based on these relationships, empirical regression equations (in the form of an S-curve) were derived separately for both seasons, enabling a rapid indirect estimation of N-year 7-day minimum and 1-day maximum specific runoff in Slovakia.

**Keywords:** high and low flows; flow regime seasonality; climate change; probability, distribution; return period discharge estimation; direct and indirect approaches

**Acknowledgements:** This work was supported by the VEGA Grant Agency under Contract No. 2/0015/23 “Comprehensive analysis of the quantity and quality of water regime development in streams and their mutual dependence in selected Slovak basins” and by project MVTs, “WATSIM II”.

## PRIESTOROVÁ VARIABILITA OBSAHU TEKUTEJ VODY V SNEHOVEJ POKRÝVKE NA LOKALITE ČERVENEC

Ema Pavlíková<sup>1\*</sup>, Michal Danko<sup>2</sup>, Martin Jančo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra vodného hospodárstva krajiny Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 810 05,  
Slovenská republika

<sup>2</sup>Ústav hydrológie SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: [xpavlikovae@stuba.sk](mailto:xpavlikovae@stuba.sk)

### ABSTRAKT

Obsah tekutej vody (LWC – Liquid Water Content) v snehovej pokrývke predstavuje jeden z kľúčových parametrov ovplyvňujúcich fyzikálne vlastnosti snehovej pokrývky, procesy metamorfózy snehu a hydrológiu horských povodí najmä počas obdobia topenia. Cieľom príspevku je analyzovať priestorovú variabilitu LWC v snehovej pokrývke a identifikovať distribúciu tekutej vody v profile v rôznych častiach zimnej sezóny.

Terénny výskum prebieha na lokalite Červenec v Západných Tatrách (1 500 m n. m.) počas zimnej sezóny 2025/2026. Obsah tekutej vody a hustota snehu boli merané pomocou dielektrického prístroja Toikka SnowFork a použité boli dve metodiky merania vo vertikálnych a horizontálnych profiloch. K meraniam patrilo aj vyhodnotenie snehomerných profilov, opis stratigrafie, tvaru a veľkosti zín, tvrdosti vrstiev a teplotných pomerov v snehovej pokrývke. Predbežné výsledky vychádzajú z troch meraní realizovaných v mesačnom odstupe v priebehu zimnej sezóny.

Porovnanie hustoty snehu stanovenej prístrojom SnowFork a manuálnym meraním pomocou snehomernej rúry preukázalo dobrú zhodu výsledkov, čo potvrdzuje vhodnosť použitej metodiky pre terénne aplikácie. Počas meraní v januári a februári boli zaznamenané nízke hodnoty LWC, pričom snehová pokrývka bola zložená z prevažne suchého snehu. Naopak jarne aprílové meranie zachytilo výrazný nárast obsahu tekutej vody v izotermickom snehovom profile. Najvyššie hodnoty LWC boli zaznamenané vo vrchnej vrstve nového snehu a v spodných firnových horizontoch, kde dochádzalo k akumulácii vody. Výsledky zároveň poukázali na význam ľadových vrstiev, ktoré môžu ovplyvňovať vertikálny transport vody a vytvárať zóny lokálnej akumulácie.

Predbežné výsledky potvrdzujú výraznú priestorovú variabilitu obsahu tekutej vody v snehovej pokrývke a poukazujú na význam kombinácie dielektrických meraní a detailného profilového výskumu pri štúdiu procesov transportu a redistribúcie vody v snehu. Pokračujúci monitoring umožní detailnejšie vyhodnotiť sezónny vývoj LWC a jeho vzťah k zmenám štruktúry snehovej pokrývky počas obdobia topenia.

**Kľúčové slová:** tekutý obsah vody v snehovej pokrývke, udalosti typu dážď na sneh, snehomerný profil

**PodĎakovanie:** Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmlúv č. APVV-23-0332 a VV-MVP-24-0208.

## SPATIAL VARIABILITY OF LIQUID WATER CONTENT IN SNOW AT THE ČERVENEC RESEARCH SITE

Ema Pavlíková<sup>1\*</sup>, Michal Danko<sup>2</sup>, Martin Jančo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Land and Water Resources Management, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic.

<sup>2</sup> Institute of Hydrology SAS, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovak Republic

\* corresponding author: xpavlikovae@stuba.sk

### ABSTRACT

Liquid Water Content (LWC) in snow is one of the key parameters influencing the physical properties of snow, snow metamorphism processes, and the hydrology of mountain catchments, particularly during the snowmelt period. The aim of this study is to analyse the spatial variability of LWC within the snowpack and to identify the distribution of liquid water in snow profiles during different stages of the winter season.

Field measurements were conducted at the Červenec site in the Western Tatra Mountains (1,500 m a.s.l.) during the 2025/2026 winter season. Liquid water content and snow density were measured using the dielectric instrument Toikka SnowFork. Two measurement approaches were applied, consisting of vertical and horizontal snow profile observations. The study also included detailed snow pit analyses, including snow stratigraphy, grain shape and size classification, layer hardness assessment, and snow temperature measurements. Preliminary results are based on three field campaigns conducted at monthly intervals throughout the winter season.

A comparison between snow density measured by the SnowFork instrument and manual measurements obtained using a snow tube showed good agreement, confirming the suitability of the applied methodology for field applications. Measurements conducted in January and February showed low LWC values, with the snowpack consisting predominantly of dry snow. In contrast, observations from April captured a significant increase in liquid water content within an isothermal snow profile. The highest LWC values were recorded in the upper layer of new snow and in the lower firn layer, where liquid water accumulation occurred. The results also highlighted the importance of ice layers, which may influence the vertical transport of water and create zones of local water accumulation within the snowpack.

The preliminary results confirm substantial spatial variability in liquid water content within the snowpack and demonstrate the value of combining dielectric measurements with detailed snow profile observations for investigating water transport and redistribution processes in snow. Continued monitoring will enable a more comprehensive assessment of the seasonal evolution of LWC and its relationship to changes in snowpack structure during the snowmelt period.

**Keywords:** liquid water content in snow cover, rain-on-snow events, snow profile

**Acknowledgements:** This research was funded by the Slovak Research and Development Agency under contract Nos. APVV 23-0332, VV-MVP-24-0208.

## CYKlickÉ ZMENY MINIMÁLNÝCH ŠPECIFICKÝCH ODTOKOV V HORSKÝCH POVODIACH HORNÉHO HRONA A VÁHU

Dana Halmová<sup>1\*</sup>, Veronika Bačová Mitková<sup>1</sup>, Katarína Jeneiová<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ústav hydrologie SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

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

\*korešpondenčný autor: halmova@uh.savba.sk

### ABSTRAKT

Príspevok je zameraný na hodnotenie variability, cyklickosti a frekvenčných charakteristík minimálnych prietokov v štyroch relatívne neovplyvnených horských povodiach horného Hrona a Váhu: Vajskovský potok v profile Dolná Lehota, Bystrianka v profile Bystrá, Štiavnička v profile Mýto pod Ďumbierom a Boca v profile Kráľova Lehota. Analýza vychádza z dlhých pozorovaných radov za obdobie 1930/31 až 2019/20, ktoré umožňujú posúdiť nielen medziročnú a dekadickú variabilitu, ale aj opakovanie suchších a vodnejších období v dlhšom časovom horizonte. Hlavným cieľom bolo spracovať rady 7-dňových minimálnych prietokov a minimálnych špecifických odtokov tak, aby bolo možné navrhnúť jednotný metodický postup pre odhad  $N$ -ročných hodnôt s využitím jednej teoretickej distribučnej funkcie s potenciálom regionalizácie parametrov. Osobitná pozornosť bola venovaná cyklickému kolísaniu minimálnych prietokov, ktoré sa v horských povodiach ukazuje ako významnejší interpretačný rámec než jednoduché vyjadrenie monotónnych trendov. Autokorelačná analýza radov minimálnych prietokov poukázala na opakovanie kolísania s periódami približne 3,6; 14 a 29 rokov. Podobné periodicity boli identifikované aj v ročných radoch zrážok, čo potvrdzuje úzku väzbu medzi atmosférickými podmienkami a vývojom minimálnych ročných prietokov. Výsledky naznačujú, že nízke prietoky v sledovaných povodiach nemožno interpretovať len ako prejav jednostranného poklesu, ale ako súčasť výrazne premenlivej cyklickej štruktúry, v ktorej sa striedajú suchšie a vodnejšie fázy.

Významným zistením je vysoká vodnosť a priaznivý režim minimálnych špecifických odtokov vo Vajskovskom potoku. V období 1931–1960 dosiahol dekadny priemer minimálnych špecifických odtokov hodnotu  $9,6 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ , čo poukazuje na mimoriadne priaznivé podmienky akumulácie a dotácie základného odtoku. V období 1961–1990 došlo k poklesu, pričom najsuchšie desaťrocie bolo 1983–1992, avšak v posledných troch desaťročiach sa minimálne špecifické odtoky opäť mierne zvýšili. Tento vývoj podporuje interpretáciu, že historicky vysoké hodnoty minimálnych odtokov v týchto horských povodiach nemožno považovať za anomáliu, ale za relevantnú súčasť dlhodobej hydrologickej variability, ktorú treba rešpektovať aj pri odhadoch  $N$ -ročných hodnôt. Najnižšie  $N$ -ročné minimálne špecifické odtoky boli naopak zistené v povodí Boca, zatiaľ čo Bystrianka napriek vysokému priemernému ročnému špecifickému odtoku dosahuje nižšie minimálne  $N$ -ročné hodnoty ako Štiavnička a Vajskovský potok.

V ďalšej fáze boli zostrojené rady 7-dňových minimálnych špecifických odtokov osobitne pre zimno-jarné a letno-jesenné obdobie. Na ich frekvenčné spracovanie boli použité teoretické čiary neprekročenia typu LP3, ktorých parametre bolo potrebné nastavovať s dôrazom na čo najlepšie zosúladenie teoretického a empirického priebehu najmä v dolnej časti kriviek. Ukázalo sa, že tento postup nie je možné plne automatizovať, pretože vyžaduje kontrolu homogenity radov, posúdenie odľahlých hodnôt a citlivé vyhodnotenie správania údajov v oblasti veľmi nízkych prietokov. Z hľadiska načasovania sa zimné minimum najčastejšie vyskytujú okolo 20. januára, zatiaľ čo letné minimum sa sústreďujú najmä do obdobia od 3. do 16. septembra. Výsledky predstavujú využiteľný podklad pre regionalizáciu charakteristík nízkych prietokov, hodnotenie hydrologického sucha a vodohospodársku prax v horských oblastiach, najmä tam, kde je potrebné zohľadniť nielen riziko nízkych prietokov, ale aj prirodzene vysoký špecifický odtok a jeho cyklické kolísanie.

**Kľúčové slová:** nízke prietoky, horské povodia, Nízke Tatry, variabilita a dlhodobé trendy, 7-dňové minimálne prietoky, Log-Pearson III.

**Podakovanie:** Táto práca bola podporená projektom VEGA 2/0015/23 a projektom MVTs “WATSIM II”.

## CYCLIC CHANGES OF MINIMUM SPECIFIC RUNOFFS IN THE MOUNTAINOUS CATCHMENTS OF THE UPPER HRON AND VÁH RIVERS

Dana Halmová<sup>1\*</sup>, Veronika Bačová Mitková<sup>1</sup>, Katarína Jeneiová<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Hydrology v. v. i. SAS, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovak Republic

<sup>2</sup> Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeseniouva 17, 833 15 Bratislava, Slovak Republic

\* corresponding author: halmova@uh.savba.sk

### ABSTRACT

This paper focuses on evaluating the variability, cyclicity, and frequency characteristics of minimum flows in four relatively unimpacted mountainous catchments of the upper Hron and Váh river basins: Vajskovský potok (Dolná Lehota), Bystrianka (Bystrá), Štiavnička (Mýto pod Ďumbierom), and Boca (Kráľova Lehota). The analysis is based on long-term observation series for the period 1930/31–2019/20, which allow the assessment of not only interannual and decadal variability but also the recurrence of drier and wetter periods over a longer time horizon. The main objective was to process the series of 7-day minimum flows and minimum specific runoff to propose a unified methodological approach for estimating  $T$ -year values using a single theoretical distribution function with the potential for parameter regionalization. Special attention was paid to the cyclic fluctuation of minimum flows, which in mountainous catchments proves to be a more significant interpretative framework than the simple expression of monotonic trends. Autocorrelation analysis of the minimum flow series revealed recurring fluctuations with periods of approximately 3.6, 14, and 29 years. Similar periodicities were also identified in the annual precipitation series, confirming a close relationship between atmospheric conditions and the evolution of minimum annual flows. The results indicate that low flows in the studied catchments cannot be interpreted solely as a manifestation of a unilateral decline, but rather as part of a highly variable cyclic structure in which drier and wetter phases alternate.

A significant finding is the high water yield and the favorable regime of minimum specific runoff in the Vajskovský potok. In the 1931–1960 period, the decadal average of minimum specific runoff reached  $9.6 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ , pointing to exceptionally favorable conditions for the accumulation and recharge of baseflow. A decline occurred in the 1961–1990 period, with 1983–1992 being the driest decade; however, in the last three decades, the minimum specific runoff has slightly increased again. This development supports the interpretation that historically high values of minimum runoff in these mountainous catchments should not be considered an anomaly, but rather a relevant part of long-term hydrological variability that must be respected even when estimating  $T$ -year values. Conversely, the lowest  $T$ -year minimum specific runoff was found in the Boca catchment, while Bystrianka, despite having a high average annual specific runoff, reaches lower  $T$ -year minimum values than Štiavnička and Vajskovský potok.

In the next phase, series of 7-day minimum specific runoff were constructed separately for the winter-spring and summer-autumn periods of the hydrological year. For their frequency analysis, Log-Pearson Type III (LP3) theoretical non-exceedance curves were used. The parameters of these curves had to be adjusted with an emphasis on the best possible alignment of the theoretical and empirical courses, especially in the lower part of the curves. It turned out that this procedure cannot be fully automated, as it requires checking the homogeneity of the data series, assessing outliers, and sensitively evaluating the data behaviour in the low-flow region. In terms of timing, winter minima most frequently occur around January 20, whereas summer minima are mainly concentrated in the period from September 3 to 16. The results provide a useful basis for the regionalization of low-flow characteristics, hydrological drought assessment, and water management practice in mountainous areas, especially where it is necessary to consider not only the risk of low flows but also the naturally high specific runoff and its cyclic fluctuations.

**Keywords:** low flows, mountain catchments, Low Tatras, long-term trends and variability, 7-day minimum discharges, Log-Pearson Type III

**Acknowledgements:** This work was supported by the VEGA 2/0015/23 a project MVTs “WATSIM II”.

## HODNOCENÍ EKOSYSTÉMOVÝCH SLUŽEB V RÁMCI PŘÍRODĚ BLÍZKÝCH OPATŘENÍ PRO ZADRŽENÍ VODY V KRAJINĚ

David Honek<sup>1\*</sup>, Kateřina Sedláčková<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6, Česká republika

\*korešpondenční autor: david.honek@vuv.cz

### ABSTRAKT

Hodnocení přírodě blízkých opatření v krajině je tradičně založeno na hodnocení efektivity, respektive zda dané opatření naplňuje svoji funkci (zadržení vody v krajině, zpomalení povrchového odtoku, snížení míry eroze atd.). Současně se hodnotí, zda vynaložené finanční prostředky na realizaci opatření odpovídají předpokládanému účinku opatření. Opatření však mohou nést řadu druhotných efektů na krajinu, pozitivních i negativních, které lze popsat pomocí ekosystémových služeb. Hodnocení ekosystémových služeb přidává sekundární hodnotu každému opatření, což může být využito v rozhodovacích procesech a při návrzích opatření a jejich systémů.

Hodnocení ekosystémových služeb je založeno na předpokladu, že jeden ekosystém poskytuje určité rozpětí služeb ekosystémů a přispívá tak k vytváření různých přínosů. V některých případech může ekosystém poskytovat několik služeb současně (tzv. synergie), což je například případ lesních ekosystémů, kde dochází k ukládání uhlíku, filtraci vody a zároveň poskytuje možnost rekreačního využití. V jiných případech si mohou jednotlivé služby konkurovat, tzn. vzájemně se vylučovat, čímž dochází k jejich směně.

Príspevek je venovaný stanovení potenciálních ekosystémových služeb pro jednotlivá opatření v krajině na základě expertního posouzení a následnému hodnocení a hierarchizaci opatření. Na základě rozsáhlé rešerše odborné literatury byly zkompletovány čtyři skupiny ekosystémových služeb (pozitivní dopad) – zásobovací, regulační, kulturní a podpůrné/biotopové.– a jedna skupina tzv. ekosystémových protislužeb (negativní dopad). Skupiny obsahují celkem 38 služeb a 14 protislužeb ekosystémů. Samotné hodnocení je založeno na přidělení hodnoty pravděpodobnosti výskytu dané služby/protislužby v rámci opatření v krajině a to na stanovené čtyřbodové škále 0 až 3. Odborné posouzení a přiřazení výsledné hodnoty je zcela subjektivní a odráží odborné znalosti a zkušenosti daného hodnotitele. Jednotlivá hodnocení jsou dále statisticky zpracována a vyhodnocena, což zajišťuje míru objektivity výsledného hodnocení a hierarchizaci přírodě blízkých opatření. Součástí hodnocení je i vyhodnocení významnosti samotných ekosystémových služeb/protislužeb a jejich hierarchizace.

**Klíčové slová:** ekosystémové služby a protislužby, přírodě blízká opatření, hodnocení

**Pod'akovanie:** Príspevek vznikl v rámci projektu SS02030027 Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (PPŽ 2, TA ČR).

## EVALUATION OF ECOSYSTEM SERVICES IN THE FRAMEWORK OF NATURE-BASED MEASURES FOR WATER RETENTION IN THE LANDSCAPE

David Honek <sup>1\*</sup>, Kateřina Sedláčková <sup>1</sup>

<sup>1</sup>T. G. Masaryka water research institute, p. r. i., Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6, Czech Republic

\*corresponding author: david.honek@vuv.cz

### ABSTRACT

The evaluation of nature-based measures in the landscape is traditionally based on the evaluation of effectiveness, or rather whether the given measure fulfils its function (retaining water in the landscape, slowing down surface runoff, reducing the rate of erosion, etc.). At the same time, it is evaluated whether the financial resources spent on implementing the measure correspond to the expected effect of the measure. However, the measures can have a number of secondary effects on the landscape, both positive and negative, which can be described using ecosystem services. The evaluation of ecosystem services adds a secondary value to each measure, which can be used in decision-making processes and when designing measures and their systems.

The evaluation of ecosystem services is based on the assumption that one ecosystem provides a certain range of ecosystem services and thus contributes to the creation of various benefits. In some cases, an ecosystem can provide several services simultaneously (so-called synergy), which is, for example, the case of forest ecosystems, where carbon is stored, water is filtered and at the same time provides the possibility of recreational use. In other cases, individual services can compete, i.e. mutually exclude each other, which leads to their exchange.

The paper is devoted to the determination of potential ecosystem services for individual measures in the landscape based on expert assessment and subsequent evaluation and hierarchy of measures. Based on an extensive literature search, four groups of ecosystem services (positive impact) were completed – supply, regulatory, cultural and supporting/biotope – and one group of so-called ecosystem disservices (negative impact). The groups contain a total of 38 services and 14 disservices of ecosystems. The evaluation itself is based on assigning a value to the probability of occurrence of a given service/disservice within the framework of a measure in the landscape, on a specified four-point scale from 0 to 3. The expert assessment and assignment of the resulting value is completely subjective and reflects the expert knowledge and experience of the evaluator. The individual assessments are further statistically processed and evaluated, which ensures the degree of objectivity of the resulting assessment and the hierarchy of nature-based measures. The assessment also includes an assessment of the significance of the ecosystem services/disservices themselves and their hierarchy.

**Keywords:** ecosystem services and disservices, nature-based measures, evaluation

**Acknowledgements:** The paper was created within the project SS02030027 Water systems and water management in the Czech Republic under climate change conditions (PPŽ 2, TA ČR)..

## JE TEPLTNÁ STRATIFIKÁCIA OVPLYVŇOVANÁ PARAMETRAMI VODNÉHO ÚTVARU?

Yvetta Velísková<sup>1\*</sup>, Márta Koczka Bara<sup>1</sup>, Marek Sokáč<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ústav hydrológie SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: veliskova@uh.savba.sk

### ABSTRAKT

Zmena klímy na Slovensku zásadne ovplyvňuje dostupnosť, kvalitu aj dlhodobú udržateľnosť vodných zdrojov. Jej najvýraznejšie prejavy sú pokles hladín podzemných vôd, častejšie suchá, extrémne zrážky a povodne, ako aj zhoršovanie kvality vody. Nádrže sú jedným z kľúčových prvkov adaptácie na zmenu klímy – ale ich úloha je oveľa širšia, než sa bežne hovorí. Nádrže sú jedným z mála nástrojov, ktoré dokážu reagovať na suchu aj povodne zároveň. Špeciálne postavenie majú vodárenské nádrže, ktoré slúžia na akumuláciu tzv. surovej vody, z ktorej sa následne táto voda rôznymi procesmi upraví na pitnú vodu. V nádržiach sa počas roka vytvára a mení ich teplotná stratifikácia, ktorá je previazaná s väčšinou ostatných ukazovateľov kvality vody, ktoré sú zvlášť dôležité pri týchto typoch nádrží. Dá sa povedať, že vo všeobecnosti teplotná stratifikácia je kľúčovým procesom ovplyvňujúcim kvalitu vody v nádrži.

Na Slovensku je momentálne 8 vodárenských nádrží, z ktorých tá najmenšia a zároveň najstaršia (Rozgrund, celkový objem nádrže cca 0,5 mil. m<sup>3</sup>) už v súčasnosti slúži len ako záložná. Príspevok sa zaoberá skúmaním sezónnych zmien teplotnej stratifikácie vo vodárenských nádržiach Rozgrund a Turček, ktoré sú síce čo sa týka geografickej polohy relatívne blízko, ale pritom každá z nich patrí do iného povodia a ich objem je rádo rozdielny. Vodná nádrž (VN) Rozgrund spadá do povodia Hrona a VN Turček, s celkovým objemom 10,8 mil. m<sup>3</sup>, do povodia Váhu. Obidve nádrže sa nachádzajú v horskom prostredí, v nadmorskej výške približne 710 m n.m.. Plocha VN Rozgrund je 5,3 ha, VN Turček má plochu 54 ha. Výška hrádze VN Rozgrund je 23,2 m, VN Turček má výšku hrádze 59 m. Hydroklimatické podmienky oboch nádrží sú veľmi podobné.

V rámci prebiehajúceho projektu APVV sa vykonáva pravidelný monitoring základných ukazovateľov kvality vody v týchto nádržiach, medzi ktoré patrí aj teplota vody. Meranie prebieha trikrát ročne - v jarom, letnom a jesennom období (zimné obdobie sa vynecháva v dôsledku zamrznutia hladiny vody), a to vo viacerých zvisliciach v hĺbkach s krokom 2 m, od hĺbky 20 m s krokom 5 m, až po dno. Meranie sa vykonáva z člna pomocou prenosnej multiparametrickej sondy WTW Digital Multi 3630.

Výsledky meraní v období 2024-2025 ukazujú, že obidve nádrže sú dimiktické, čo znamená, že voda v nich sa premiešava dvakrát do roka, a to v jarom období a v jeseni (jarná a jesenná cirkulácia), avšak s rôznym stupňom premiešania, resp. z rôznou počiatočnou dobou premiešavania najmä v jarom období. V menšej nádrži Rozgrund je začiatok jarnej cirkulácie skôr, resp. v tom istom čase sú v tejto nádrži rozdiely teploty v jednotlivých hĺbkach výraznejšie. Priebehy teplôt v jednotlivých zvisliciach v oboch nádržiach v letnom období vykazujú podobný priebeh. V tomto období je teplotná stratifikácia vody v nádržiach najvýraznejšia, pričom termoklína vo VN Rozgrund bola v roku 2024 v hĺbke (3-8)m, vo VN Turček (2-8)m, a v roku 2025 vo VN Rozgrund opäť v hĺbke (3-8)m, vo VN Turček (4-8)m. V letnom období boli rozsahy teplôt vody v oboch nádržiach rovnaké (2024: 5-25° C ; 2025: 5-21° C), a to aj napriek rozdielnemu objemu vody. Hrúbka termoklíny však bola v prípade väčšej nádrže väčšia.

Menšia nádrž (Rozgrund) sa však v jarom období začala skôr premiešavať, a to aj vzhľadom na rýchlejšie topenie ľadovej pokrývky na hladine. V jesennom období teplota vody pri hladine v menšej nádrži rýchlejšie klesala ako vo veľkej nádrži (Turček). V menšej, plytšej nádrži voda aj v hlbších horizontoch bola teplejšia v porovnaní s väčšou a hlbšou nádržou. Teplotný gradient bol vyšší pri väčšej, hlbšej nádrži. Prezentované výsledky sú priebežné a v ďalšom kroku budú doplnené sériou nových meraní a analyzované spolu s výsledkami z VN Klenovec a VN Hriňová.

**Kľúčové slová:** vodárenská nádrž, teplotná stratifikácia, termoklína, kvalita vody, monitoring

**Podakovanie:** Táto práca bola podporená projektom APVV-22-0610.

## IS TEMPERATURE STRATIFICATION INFLUENCED BY THE PARAMETERS OF THE WATER BODY?

Yveta Velísková<sup>1\*</sup>, Márta Koczka Bara<sup>1</sup>, Marek Sokáč<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Hydrology SAS, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovak Republic

\*corresponding author: veliskova@uh.savba.sk

### ABSTRACT

Climate change in Slovakia has a significant impact on the availability, quality, and long-term sustainability of water resources. Its most pronounced effects include declining groundwater levels, more frequent droughts, extreme precipitation and flooding, as well as deteriorating water quality. Reservoirs are one of the key elements of climate change adaptation - but their role is much broader than is commonly recognized. Reservoirs are one of the few tools capable of responding to both droughts and floods simultaneously. Water supply reservoirs, which serve to accumulate water that is subsequently treated through various processes to become drinking water, hold a special position. Throughout the year, thermal stratification develops and changes in reservoirs; and by this way impact most other water quality indicators, which are particularly important for these types of reservoirs. It can be said that, in general, thermal stratification is a key process influencing water quality in a reservoir.

There are currently 8 water reservoirs (WRs) for drinking water supply in Slovakia, of which the smallest and oldest one (the Rozgrund WR, with a total capacity of approximately 0.5 million m<sup>3</sup>) currently serves only as a backup reservoir. This paper examines seasonal changes in thermal stratification in the Rozgrund and Turček WRs, which, although relatively close in geographical location, belong to different river basins and have significantly different storage capacities. The Rozgrund WR is located in the Hron River basin and the Turček WR, with a total volume of 10.8 million m<sup>3</sup>, in the Váh River basin. Both WRs are situated in a mountainous environment, at an elevation of approximately 710 m a. s. l. The surface area of the Rozgrund WR is 5.3 ha, while the Turček WR covers 54 ha. The dam height of the Rozgrund WR is 23.2 m, and that of the Turček WR is 59 m. The hydroclimatic conditions of both reservoirs are very similar.

As part of the ongoing APVV project, regular monitoring of basic water quality indicators is conducted in these reservoirs, including water temperature. Measurements are taken three times a year—in the spring, summer, and fall (the winter season is omitted due to the water surface freezing)—at multiple vertical profiles at 2-meter intervals from a depth of 20 meters, and at 5-meter intervals down to the bottom. Measurements are taken from a boat using a portable WTW Digital Multi 3630 multiparameter probe.

Measurement results from 2024–2025 show that both reservoirs are dimictic, meaning that the water in them is mixed twice a year, in the spring and in the fall (spring and fall circulation), however, with varying degrees of mixing, or rather with different initial mixing times, especially in the spring. In the smaller Rozgrund WR, spring circulation begins earlier, and at the same time, temperature differences along depths are more pronounced in this WR. Temperature profiles in individual vertical sections in both reservoirs show a similar behaviour during the summer. During this period, temperature stratification in the WRs is most pronounced, with the thermocline in 2024 at the depth range (3–8) m in the Rozgrund and in the Turček at (2–8) m. In 2025, there is again at depth range (3–8) m in the Rozgrund WR, and in the Turček one at (4–8) m. During the summer, the water temperature ranges in both WRs were the same (2024: 5–25°C; 2025: 5–21°C), despite the difference in water volume. However, the thickness of the thermocline was greater in the larger WR.

However, the smaller reservoir (Rozgrund) began to mix sooner in the spring, partly due to the faster melting of the ice cover on the surface. In the fall, the surface water temperature in the smaller reservoir declined more rapidly than in the larger reservoir (Turček). In the smaller shallower reservoir, the water was warmer even at deeper depths compared to the larger deeper reservoir. The temperature gradient was higher in the larger deeper reservoir. The presented results are preliminary and will be supplemented in the next step by a series of new measurements and analysed together with the results from the Klenovec and Hriňová WRs.

**Keywords:** water reservoir, temperature stratification, thermocline, water quality, monitoring

**Acknowledgements:** This work was supported by the project No. APVV-22-0610.

## IDENTIFIKÁCIA ZDROJOV ZNEČISTENIA V SIETI KANÁLOV

Marek Sokáč<sup>1\*</sup>, Yvetta Velísková<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ústav hydrologie SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

\*korešpondenčný autor: sokac@uh.savba.sk

### ABSTRAKT

Problém lokalizácie neznámych zdrojov znečistenia na základe monitorovaných údajov je praktický problém, ktorého riešenie však nie je jednoduché. Z praktického hľadiska ide o riešenie tzv. inverznej úlohy v sieti otvorených kanálov, t. j. v komplexnom systéme riek, kanálov a potokov v prírodných povodiach alebo v kanalizačných systémoch v mestských povodiach. S takýmto typom úlohy sme sa stretli pri riešení projektu H2020 (akronym: SYSTEM) a rozvíjaný je aj v rámci projektu VEGA č. 2/0140/24. Princípom navrhnutého riešenia tejto úlohy je realizácia veľkého množstva simulácií s cieľom minimalizácie rozdielu medzi simulovanými a nameranými koncentraciami kontaminantov v pozorovacích bodoch. Súčasťou prác je aj experimentálne overenie teoretických výsledkov, presnosti simulácií, ako aj návrh metodiky a výpočtového postupu s možnou realizáciou v praxi.

Je zrejmé, že pri experimentálnom overení navrhnutých postupov v sieti povrchových vodných tokov by sme narazili na logistické problémy, preto sa experimentálna časť realizovala na sieti kanálov s voľnou hladinou, reprezentovanou systémom potrubí s voľnou hladinou v stokovej sieti.

Pri aplikácii navrhovaného princípu riešenia inverznej úlohy sa narazilo na viacero závažných problémov. Jedným z nich bol výskyt anomálií v procese hydrodynamickej disperzie pri nízkych prietokoch v reálnych stokových sieťach s výskytom nánosov a sedimentov, ktoré sme zistili pri realizácii terénnych experimentov na stokovej sieti a ktoré nekorešpondovali s doteraz používaným teoretickým modelom tohto javu.

V rámci práce na projekte H2020 sme preto využili možnosti partnera projektu, ktorý poskytol svoju infraštruktúru - hydraulické laboratórium, pričom na realizáciu výskumných prác sme využili vlastnú meraciu a prístrojovú techniku.

Výsledky laboratórneho výskumu umožnili poznanie a kvantifikáciu opísanej anomálie v procese hydrodynamickej disperzie. Výsledky výskumu ukázali, že v hydraulických podmienkach prúdenia s voľnou hladinou s výskytom sedimentov a nánosov v koryte klesá hodnota koeficientu pozdĺžnej disperzie  $D_x$  takmer lineárne s poklesom prietoku (aj s Reynoldsovým číslom) až po určitú hranicu (inflexný bod), ktorý je individuálny pre každú konkrétnu hrúbku sedimentu. Pod touto hranicou začína hodnota disperzného koeficientu opäť stúpať spolu so zvyšujúcou sa asymetriou rozloženia koncentrácie v čase, spôsobenou mŕtvymi zónami.

Terénna validácia laboratórnych výsledkov na reálnej stokovej sieti spolu s vyvinutými analytickými riešeniami významne prispeli ku zdokonaleniu existujúceho a používaného matematického modelu simulujúceho transport znečistenia pri prúdení s voľnou hladinou.

Na základe tohto modelu sme následne vyvinuli SW program, umožňujúci identifikáciu zdroja znečistenia, teda jeho priestorovú lokalizáciu a určenie časového priebehu vnosu znečistenia. Jednou z hlavných požiadaviek na SW bola jeho operatívnosť, t. j. dodanie výsledkov v reálnom čase, aby sa zabezpečila operatívnosť nadväzujúcich akcií pri detekcii znečistenia (napr. odber vzoriek v blízkosti zdroja znečistenia, zabránenie ďalšieho šírenia sa znečistenia a pod.).

Kalibrácia, validácia, ako aj následná analýza citlivosti tohto SW nástroja potvrdila jeho použiteľnosť, ako aj jeho silné a slabé stránky.

**Kľúčové slová:** znečistenie, zdroje znečistenia, lokalizácia, sieť kanálov, inverzná úloha

**Pod'akovanie:** Táto práca bola podporená projektom VEGA č. 2/0140/24 a projektom H2020 akronym: „SYSTEM“, financovaným EÚ, grantová zmluva č. 787128.

## IDENTIFICATION OF POLLUTION SOURCES IN OPEN-CHANNEL NETWORKS

Marek Sokáč<sup>1\*</sup>, Yvetta Velísková<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Hydrology SAS, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovak Republic

\* corresponding author: sokac@uh.savba.sk

### ABSTRACT

The problem of locating unknown sources of pollution based on monitoring data is a practical challenge, but one that is not easy to solve. From a practical standpoint, this involves solving the so-called inverse problem in a network of open channels, i.e., in a complex system of rivers, canals, and streams in natural watersheds or in sewer systems in urban watersheds. We encountered this type of problem while working on the H2020 project (acronym: SYSTEM), and it is also being developed within the VEGA project No. 2/0140/24. The principle of the proposed solution to this task is to perform a large number of simulations with the aim of minimizing the difference between simulated and measured contaminant concentrations at observation points. The work also includes experimental verification of theoretical results and simulation accuracy, as well as the design of a methodology and computational procedure with potential practical implementation.

It is clear that conducting experimental validation of the proposed methods in a network of surface watercourses would present logistical challenges; therefore, the experimental part was carried out on a network of open-channel systems, represented by a system of open-channel pipes in the sewer network.

Several serious problems were encountered when applying the proposed principle of the inverse task solution. One of them was the occurrence of anomalies in the hydrodynamic dispersion process at low flow rates in real sewer networks with the presence of deposits and sediments, which we identified during field experiments on the sewer network and which did not correspond to the theoretical model of this phenomenon used to date.

As part of our work on the project, we therefore took advantage of the resources provided by our project partner, who made its infrastructure—a hydraulic laboratory—available to us, while we used our own measuring and testing equipment to carry out the research.

The results of laboratory research have made it possible to understand and quantify the described anomaly in the process of hydrodynamic dispersion. The research results showed that under hydraulic conditions of free-surface flow with the presence of sediments and deposits in the channel, the value of the longitudinal dispersion coefficient  $D_x$  decreases almost linearly with a decrease of flow rate (as well as with the Reynolds number) up to a certain limit (inflection point), which is specific to each particular sediment thickness. Below this limit, the value of the dispersion coefficient begins to rise again along with the increasing asymmetry of the concentration distribution over time, caused by dead zones.

Field validation of laboratory results on an actual sewer network, together with the analytical solutions developed, has significantly contributed to the refinement of the existing mathematical model used to simulate pollutant transport in free-surface flow conditions.

Based on this model, we subsequently developed a software program that enables the identification of the source of pollution, i.e., its spatial localization and the determination of the temporal progression of pollution input. One of the main requirements for the software was its responsiveness, i.e., the delivery of results in real time, to ensure the timely implementation of follow-up actions upon pollution detection (e.g., sampling near the pollution source, preventing further spread of pollution, etc.).

The calibration, validation, and subsequent sensitivity analysis of this software tool confirmed its usability as well as its strengths and weaknesses.

**Keywords:** pollution, sources of pollution, localization, channel network, inverse problem

**Acknowledgements:** This work was supported by VEGA Project No. 2/0140/24, titled "Optimization of Adaptation Measures for Extreme Storm Events in Urbanized Watersheds," and by the EU-funded H2020 project "SYSTEM," Grant Agreement No. 787128.





## HYDROLOGICKÉ DNI 2026

Zborník recenzovaných abstraktov

z X. konferencie českých a slovenských hydroológov a vodohospodárov  
16.–18. jún 2026, Bratislava



## HYDROLOGICAL DAYS 2026

Book of reviewed abstracts

From the Xth Conference of Czech and Slovak Hydrologists and Water Managers  
June 16–18, 2026, Bratislava

Vydal:

Ústav hydrologie SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

Published by:

Institute of Hydrology SAS, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovak Republic

Zostavovatelia / Editors:

RNDr. Pavla Pekárová, DrSc.

prof. Ing. Ján Szolgay, PhD.

RNDr. Pavol Miklánek, CSc.

Obálka / Cover design: P. Pekárová

Grafická úprava / Graphic design: P. Pekárová, Foto / Photo: Z. Kostka, rieka Belá, Tichá dolina

Publikácia prešla recenzným pokračovaním. Neprešlo jazykovou korektúrou.

Rok vydania / Year of publication: jún 2026

Vydanie / Edition: 1. vydanie

Rozsah / Extent: 155 strán

Forma vydania / Format: elektronický zborník (PDF)

© Ústav hydrologie SAV, v. v. i., 2026

ISBN: 978–80–89139–67–5

EAN: 9788089139675

# HYDROLOGICAL DAYS 2026

**X. Conference  
of Czech and Slovak  
hydrologists and water managers**

**Book of reviewed abstracts**

**June 16 –18, 2026**

**Bratislava**

