Beata Randusová
(Editor)

Konferencia mladých odborníkov

19. november 2026

Slovenský hydrometeorologický ústav
Bratislava 2026

KONFERENCIA MLADÝCH ODBORNÍKOV
Zborník súťažných prác 2026

Odborní garanti:
RNDr. Paulína Valová pre meteorológiu, klimatológiu a kvalitu ovzdušia
RNDr. Ladislav Holko, PhD. pre hydrológiu
Ing. Pavel Hucko, CSc. pre vodné hospodárstvo

Organizačný výbor konferencie:

Ing. Danica Lešková, PhD.
Ing. Beata Randusová, PhD.
RNDr. Paulína Valová
Ing. Valéria Wendlová

Odborná porota:

Doc. Ing. Michaela Danáčová, PhD.
RNDr. Pavol Faško, CSc.
doc. RNDr. Martin Gera, PhD.
Ing. Dana Halmová, PhD.
Ing. Helena Hlavavá, PhD.
RNDr. Ladislav Holko, PhD.
Mgr. Kateřina Hrušková, PhD.
Ing. Pavel Hucko, CSc.
Ing. Eva Kolesárová
Mgr. Ondřej Ledvinka, PhD.
Ing. Martin Mišík, PhD.
RNDr. Norbert Polčák, PhD.
Ing. Janka Szemesová, PhD.
Mgr. Dušan Štefánik, PhD.
RNDr. Paulina Valová
Ing. Valéria Wendlová

Za jazykovú úpravu, obsah súťažných príspevkov a publikované výsledky zodpovedajú autori.
© Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava 2026

ISBN: 978-80-8310-020-6 (pdf.)
ISBN: 978-80-8310-021-3 (html.)

Citácie:
AUTOR. 2026. Názov článku. In: *Konferencia mladých odborníkov*. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav, 2026. ISBN: 978-80-8310-020-6, s. XXX-XXX.

Názov: Konferencia mladých odborníkov

Editor: Ing. Beata Randusová, PhD.

Vydavateľ: Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

Dátum publikovania: 19. november 2026

Počet strán: 56

Obsah

I. Sekcia mladých hydrológov 5

FAIR geospatial platform for multi-hazard early warning (Milica Choleva a Marek Kubáň).....6

Kvantifikácia časového oneskorenia v systéme podzemných vôd vysokohorského prostredia: waveletová analýza podtatranskej oblasti (Ján Krempaský) 9

Methodology for detecting forest disturbance effects on runoff in selected catchments in the Tatras (Lili Megyer-Muraközy) 12

Where does the predictability of event runoff coefficients end? Machine learning as a diagnostic tool in small Slovak catchments (Lynda Paulíková) 14

Interakcia podzemných a povrchových vôd v urbanizovanom území: Prípadová štúdia Alžbetin ostrov, Komárno (Anikó Vanyová).....17

II. Sekcia mladých meteorológov, klimatológov a odborníkov na kvalitu ovzdušia..... 20

Vplyv aerosólov na oblaky a zrážky v modeli WRF (Natália Charvátová) 21

Variabilita súbehu sucha a horúčav vo vzťahu k navrhovaniu vegetačných striech (Jozef Olašák a Štěpánka Horáčková).....24

Meteorologické príčiny výskytu teploty vzduchu 40 °C a viac v lete 2026 (Cyril Siman).....26

Aplikovateľnosť a praktická realizovateľnosť kritérií WMO pre klasifikáciu polôh 95 klimatologických staníc SHMÚ: skúsenosti, poznatky a testované možnosti zlepšenia kritérií (Karol Seják) 29

Hodnotenie výkonnosti metód kvantilového mapovania pri korekciách systematických chýb v regionálnych klimatických modeloch HIRHAM5 a RACMO22E na území Slovenska (Dominika Šadláková).....31

Vplyv nadmorskej výšky na výskyt silného vetra v podmienkach Slovenska (Jozef Ševčík) 34

Rozdiely koncentrácií PM_{10} na dvoch monitorovacích staniciach v Rovinke v súvislosti s veternými podmienkami a charakterom ich okolia (Paulína Varová) 38

III. Sekcia mladých vodohospodárov..... 41

Hydrodynamic Modelling of an Urban Catchment Using MIKE+ (Raghad Awad).....42

Hodnotenie kvality mestského prostredia s využitím environmentálnych indikátorov (Jana Ihnátová).....45

Integrované hydrodynamické modelovanie vodozádržných opatrení v urbanizovanom území (Samuel Klimík).....47

Integrovaný prístup k ochrane pôdy pred eróziou a k úprave odtokových pomerov v oblasti Kunov (Dominik Marek).....49

Vplyv retenčnej kapacity na modelovanú vodnú bilanciu extenzívnej vegetačnej strechy (Jozef Olašák a Štěpánka Horáčková).....51

Revitalizácia koryta Teplice v Senici a priľahlého územia (Filip Šponiar) 53

Modelování řízeného zaplavování lokality Soutok modelem HEC-RAS (Kryštof Valenta) 55

I. Sekcia mladých hydrológov

FAIR geospatial platform for multi-hazard early warning

Milica Choleva[1], Martin Kubáň[1,2]

[1]*KAJO s.r.o., Sládkovičova 228/8, 014 01 Bytča, Slovakia, milica.choleva@kajoservices.com*

[2]*Faculty of Civil Engineering, Department of Land and Water Resources Management, Slovak University of Technology in Bratislava, Radlinského 11, blok C, 12. posch., 810 05 Bratislava 1, Slovakia, martin.kuban@kajoservices.com*

1 Introduction

Early Warning Systems (EWS) for extreme hydrometeorological weather events are built on fast access to observation data, forecasts, and warnings. These data are stored and shared among multiple national institutions (e.g., the Slovak Hydrometeorological Institute, the Czech Hydrometeorological Institute), European services through the Copernicus programme (C3S, CAMS, CLMS, CEMS), EUMETNET, and additional networks of citizen sensors. Each data provider uses a different user interface, warning-sharing format, and spatial and temporal resolution. The Sendai Framework (UNDRR, 2015) and the Early Warnings for All initiative (WMO, 2022) highlight that information about risks and hazards must be available to decision makers. When sources are combined, users may mistake a shared data display for mutual comparability. This extended abstract presents the design and further implementation of the KAJO Geo-Explorer platform, developed as part of the MedEWSa project which integrates heterogeneous sources through open standards and, for each data source, stores information about its origin, resolution, and temporal validity.

2 Methods

The platform is implemented in TypeScript with a client-server architecture. The frontend uses libraries such as React and Leaflet to display cartographic features interactively, and the backend uses Node.js and Express to provide data endpoints and adapters for individual providers. The internal API is defined with an OpenAPI specification, from which client interfaces and validation schemes are generated. Raster layers load via the OGC WMS and WMTS standards (de La Beaujardière, 2006); attributes of the selected location are received through GetFeatureInfo, and station observations and warning geometries are vector features in GeoJSON and CoverageJSON formats, respectively. Data from the SHMÚ include the latest records from automatic weather stations (missing values remain undefined and are not replaced by zeros), forecasts from the ALADIN model with a resolution of ~4.5 km (involving GRIB2 decoding, transformation from a Lambert conformal projection, and processing of initialisation, lead, and validity times), as well as warnings from the MeteoAlarm channel. Reliability is enhanced by caching, timeouts, retries upon errors, and the marking of obsolete responses. Table 1 provides an overview of the sources.

3 Results

The result is a publicly accessible web application (Figure 1) featuring thematic layers grouped by data type ranging from SHMÚ and Netatmo stations to European MeteoAlarm warnings. A historical mode allows users to load archived layers for a specific date, enabling retrospective analysis of particular events. The flood and flash-flood layers are organised into a sequence of forecast, observation, and impact. GloFAS warnings and EFAS forecasts indicate where flooding is expected; Copernicus Global Flood Monitoring (GFM) products, derived from Sentinel-1 SAR imagery, show where water is present, distinguishing active flooding from permanent water bodies. Layers representing water depth and the affected population shift the focus from the hydrological phenomenon itself to its impact. Consequently, users can compare a predicted warning with satellite observations of the same event within a single

interface, while simultaneously assessing how reliably the HBV and HEC-HMS models simulate streamflow for a given river reach.

Table 1: Flood layers of the platform, categorized by level of information

Level of information	Source	Layers	Time
Observation	CEMS GFM (Sentinel-1 SAR)	total water extent, active flood extent, water depth, affected population; permanent water mask as a reference	from 2016
	ČHMÚ	water measuring stations (Morava, Dyje, Olše)	current
Forecast	CEMS GloFAS, EFAS	GloFAS alerts (medium, high, severe), reporting points; EFAS forecasts	GloFAS from 2011; EFAS 00/12 UTC
Reliability	MedEWSa	performance of HBV and HEC-HMS models (KGE) at 116 stations	static
Threat	CEMS GloFAS	100-year flood, probability of exceedance (RPG80), main river network	static

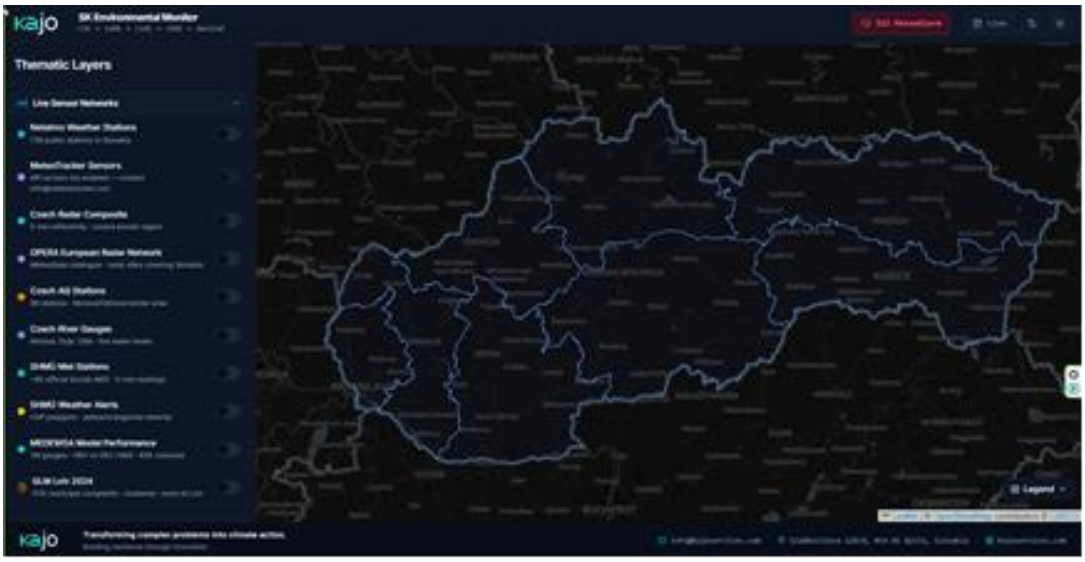


Figure 1: The KAJO Geo-Explorer platform interface with thematic layers (on the left) and a map window focused on Slovakia.

The platform also openly states its limitations: warning geometries are regional representations rather than precise boundaries of the threat, and the temporal steps of the layers are not synchronised. Consequently, a combined view does not replace calibration, the harmonisation of uncertainties, or cross-source validation.

4 Conclusion

The KAJO Geo-Explorer platform integrates national, European, and citizen-sourced environmental data into a single environment based on open OGC standards, thereby fulfilling its stated objective. Its primary contribution goes beyond integration. It also supports transparency: for each data layer, it preserves information on provenance, resolution, and temporal validity, reducing the chance of misinterpretation during decision-making. Future development will focus on visualising radar and climate raster data, harmonising uncertainty information, and testing with operational users.

5 References

UNDRR, 2015: *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030.* United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva

WMO, 2022: *Early Warnings for All: Executive Action Plan 2023–2027*. World Meteorological Organization, Geneva

This work was carried out within the MedEWSa project (Mediterranean and pan-European forecast and Early Warning System against natural hazards), which has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101121192.

Kvantifikácia časového oneskorenia v systéme podzemných vôd vysokohorského prostredia: waveletová analýza podtatranskej oblasti

Ján Krempaský

Ústav vied o Zemi Slovenskej akadémie vied, v. v. i., Stará Lesná 281, 059 60 Tatranská Lomnica, Slovenská republika
Technická univerizta vo Zvolene, Fakulta ekológie a environmentalistiky, T. G. Masaryka 24, 968 01 Zvolen, Slovenská republika, xkrempaskyj@is.tuzvo.sk

1 Úvod

Skúmanie prejavov a dopadov meniacej sa klímy v systéme podzemných vôd predstavuje vo vysokohorskej hydrológii komplexnú výzvu. V oblasti Vysokých Tatier prebiehajúca zmena klímy zintenzívňuje výraznosť a dĺžku trvania suchých období a výdatných zrážkových udalostí. Dynamická interakcia medzi puklinovým prostredím kryštalinika a mocnými kvartérnymi glaciálnymi morénami v podhorí vytvára špecifické hydrogeologické prostredie pre infiltráciu a dopĺňanie zásob podzemných vôd.

Predchádzajúce hydrologické práce venované horským povodiam ako kľúčovým „vodojemom“ (Viviroli et al., 2007) aj štúdie z oblasti Vysokých Tatier (Kostka a Holko, 2006) poukázali na výraznú retenčnú schopnosť kvartérnych sedimentov. Štandardné korelačné prístupy však predpokladajú časovú stacionaritu vzťahov, a preto nedokážu zachytiť premenlivú odozvu nelineárnych hydro-klimatických systémov, na čo sú vhodné waveletové transformácie (Torrence a Compo, 1998; Grinsted et al., 2004). Cieľom tohto príspevku je identifikovať dominantné periodicity a kvantifikovať časové oneskorenie medzi spadnutými atmosférickými zrážkami vo vysokohorskej oblasti na Skalnatom plese a následnou odozvou hladiny podzemnej vody v podtatranskej oblasti v Starej Lesnej.

2 Metodika práce

V práci boli analyzované dlhodobé týždenné časové rady za obdobie marec 1992 až december 2025. Meteorologický vstupný signál tvoria týždenné kumulované úhrny atmosférických zrážok z vysokohorského observatória Skalnaté pleso (1 778 m n. m.). Hydrogeologickú odozvu reprezentujú korešpondujúce kontinuálne merania hladiny podzemnej vody z monitorovacieho vrtu v Starej Lesnej (795 m n. m.), situovaného v morénových sedimentoch podtatranského regiónu.

Vzhľadom na nelineárny a nestacionárny charakter hydrogeologických procesov boli popri globálnej funkcii krížovej korelácie (CCF) aplikované tri spektrálne kroky založené na Morletovej vlnke: (1) spojitá waveletová transformácia (CWT) na určenie lokálnych periodicít jednotlivých signálov, (2) krížová waveletová transformácia (XWT) a waveletová koherencia (WTC) na identifikáciu spoločného spektrálneho výkonu a lokálnej kovariancie na 95 % hladine významnosti mimo kužeľa vplyvu (COI) a (3) prepočet fázového rozdielu $\Delta\Phi$ zo smerových šípok vo WTC/XWT spektrách na určenie fyzikálneho časového oneskorenia Δt pre periódu T podľa vzťahu $\Delta t = (\Delta\Phi / 2\pi) \times T$.

3 Výsledky

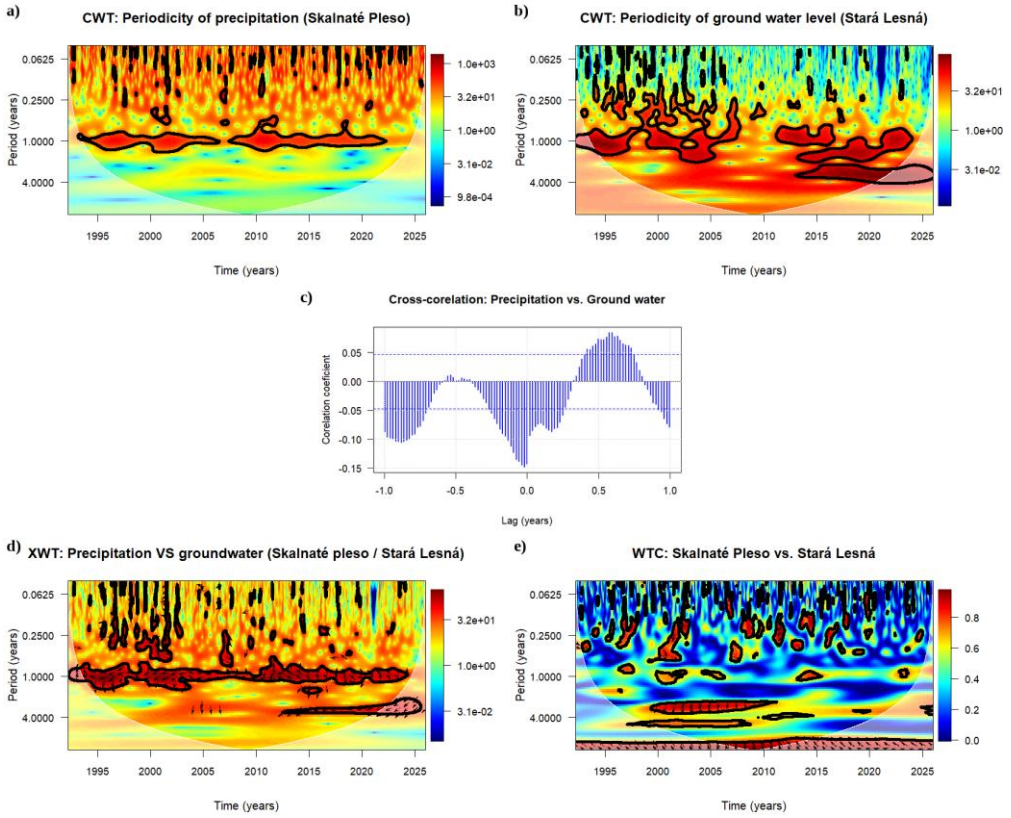
Výsledky CWT preukázali zásadný rozdiel v časovo-frekvenčnej štruktúre oboch signálov (Obrázok 1a, b). Zrážky na Skalnatom plese sa vyznačujú vysokou dynamikou s častými významnými signálmi na subsezónnych škálach v rozsahu zväčša 1 až 3 mesiace, ktoré pripisujeme letným búrkovým lejakom; výrazné je aj ročné pásmo, čo bolo prirodzene očakávané.

Hladina podzemnej vody v Starej Lesnej vykazuje silne vyhladený priebeh bez odozvy na krátkodobé zrážky, pričom dominuje ročný cyklus v podobe jarného topenia snehu. Prítomné sú aj viacročné periódy naznačujúce zraniteľnosť územia voči dlhodobému suchu.

Funkcia krížovej korelácie (CCF) indikuje globálny posun maxima korelácie od nuly na úroveň približne +0,6 roka (~31 týždňov; Obrázok 1c).

Krížová waveletová transformácia (XWT) preukazuje súvislé, štatisticky významné pásmo vysokého spoločného výkonu na ročnom cykle (~1 rok) počas celého sledovaného obdobia (Obrázok 1d), v ktorom smerové šípky potvrdzujú fázový posun odozvy podzemnej vody, hoci ich sklon medziročne kolíše.

Výsledky waveletovej koherencie (WTC), hodnotiacej lokálnu koreláciu nezávisle od samotnej amplitúdy signálov, tento systematický posun ďalej spresňujú (Obrázok 1e). Kým na 1-ročnej škále je koherencia prerušovaná vplyvom premenlivého načasovania topenia snehu, na škále 2 až 4 rokov vystupuje rozsiahle pásmo vysokej koherencie, dominantne aktívne v dekáde 2000 – 2010, kde šípky smerujúce nadol potvrdzujú oneskorenie odozvy ~0,6 roka.



Obrázok 1: Spektrálna a korelačná analýza časových radov (1992 – 2025): a) CWT zrážok (Skalnaté pleso), b) CWT hladiny podzemnej vody (Stará Lesná), c) funkcia krížovej korelácie (CCF), d) krížová waveletová transformácia (XWT), e) waveletová koherencia (WTC).

4 Záver

Aplikáciou korelačnej a waveletovej analýzy (CWT, XWT, WTC) boli splnené stanovené ciele práce a kvantifikované systematické časové oneskorenie odozvy podzemnej vody v podtatranskej oblasti na úrovni ~0,6 roka. Tento fázový posun dokazuje, že značná nenasýtená zóna kvartérnych glaciálnych morén pôsobí ako efektívny prírodný filter tlmiaci krátkodobé zrážkové extrémy a prívalové dažde. Zvodnenec je primárne dopĺňaný dominantným ročným cyklom jarného topenia snehu, avšak vysoká koherencia v pásme 2 – 4 rokov poukazuje na jeho výraznú zraniteľnosť voči akumulovaným viacročným zrážkovým deficitom, čo je dôležitým poznatkom pre ďalší výskum v oblasti a predikciu hydrogeologického sucha a manažment vodných zdrojov.

5 Literatúra

Grinsted, A., J. C. Moore and S. Jevrejeva, 2004: *Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series*. Nonlinear Processes in Geophysics, 11, 561–566.

Kostka, Z. and L. Holko, 2006: *Role of forest in hydrological cycle – Tatra Mountains windfall area case study*. Biologia, 61, S265–S270.

Torrence, C. and G. P. Compo, 1998: *A practical guide to wavelet analysis*. Bulletin of the American Meteorological Society, 79, 61–78.

Viviroli, D., H. H. Dürr, B. Messerli, M. Meybeck and R. Weingartner, 2007: *Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance*. Water Resources Research, 43, W07447.

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu VEGA 2/0048/25.

Methodology for detecting forest disturbance effects on runoff in selected catchments in the Tatras

Lili Megyer-Muraközy [1, 2],

[1]*Institute of Geomatics and Civil Engineering, Faculty of Forestry, University of Sopron, Bajcsy-Zsilinszky utca 4, 9400 Sopron, Hungary, lili.megyer-murakozy@stuba.sk*

[2] *Department of Land and Water Resources Management , Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava,* Radlinského 11, Block C, 12th floor, 810 05 Bratislava, Slovak Republic, *lili.megyer-murakozy@stuba.sk*

1 Introduction

Forest disturbances caused by windthrow, bark-beetle outbreaks and salvage logging can alter forest structure and hydrological processes, including interception, evapotranspiration, snow accumulation and runoff generation. Such disturbances and their hydrological implications have been investigated in the Tatra Mountains (Štefunková et al., 2019; Danáčová et al., 2020) Interactions among windthrow, bark beetle outbreaks and forest management have been documented in the Tatra National Parks (Havašová et al., 2017; Mezei et al., 2017). However, streamflow responses are not necessarily uniform across catchments, and climatic variability (such as precipitation and snowmelt dynamics) can hide or mimic disturbance-related changes (Holko et al., 2021; Holko and Škoda, 2016). The modified double-mass curve (MDMC) and streamflow-deviation methods present approaches to identify potential changes in the precipitation-runoff relationship associated with forest disturbance. However, their applicability to relatively small mountain catchments in the Tatra Mountains, compared with the large Canadian watershed in which Wei and Zhang (2010) developed and applied the MDMC-based approach, requires further assessment. This study therefore aims to evaluate the applicability of these methods in three Tatra catchments (Boca, Ipoltica and Jalovec) and to investigate how precipitation-regime changes and catchment-specific hydrological behaviour influence the detection and interpretation of potential forest-disturbance signals.

2 Materials and Methods

Daily and annual precipitation and streamflow data were analysed with documented forest-disturbance events. Previous precipitation change-point analysis identified a transition around 1993, pointing out the need to consider the precipitation regime when selecting the reference period for subsequent hydrological comparisons. The modified double-mass curve (MDMC) was used to examine the relationship between cumulative effective precipitation and cumulative streamflow (Wei and Zhang, 2010). Segmented regression was applied to identify candidate breakpoints in this relationship. A complementary streamflow-deviation analysis was used to evaluate changes in runoff behaviour relative to the reference relationship. The resulting hydrological signals were compared with the timing and spatial range of documented forest disturbances.

3 Results and Discussion

The precipitation analysis shows that changes in the long-term precipitation regime must be considered when interpreting subsequent streamflow deviations. In Boca, a change in hydrological behaviour was identified around 2008-2009, temporally consistent with a potential response following the 2007 windthrow. In the Jalovec catchment, a similar signal around 2007 was not obvious, whereas a possible deviation around 2014 needs further investigation in relation to the documented windthrow event. In Ipoltica, no clear positive disturbance-related runoff response was detected using the applied method. These results suggest that the detectability of disturbance-related hydrological signals relies on catchment-specific conditions and climatic variability. Other studies in Slovak mountain catchments have similarly emphasised the difficulty of attributing observed runoff changes solely to forest disturbance (Holko and Škoda, 2016). The lack of a clear positive signal in Ipoltica does not necessarily

indicate the absence of hydrological effects, because the response may depend on the hydrological indicator and analytical method used.

4 Conclusion

Evaluating precipitation-regime changes is important when interpreting streamflow deviations as potential evidence of forest-disturbance effects. The contrasting responses of Boca, Jalovec and Ipoltica demonstrate the limitations of transferring conclusions from one catchment to another. Combining precipitation change-point analysis, MDMC-based breakpoint detection, streamflow-deviation analysis and independent disturbance records provides a useful system for identifying candidate disturbance signals. Nevertheless, additional investigation is needed to distinguish forest-disturbance effects from climatic variability and other catchment influences.

5 Literature

Danáčová, M., Földes, G., Labat, M.M., Kohnová, S., and Hlavčová, K, 2020: Estimating the Effect of Deforestation on Runoff in Small Mountainous Basins in Slovakia. Water, 12, 3113. https://doi.org/10.3390/w12113113

Havašová M., Ferenčík J., and Jakuš R, 2017: Interactions between windthrow, bark beetles and forest management in the Tatra national parks, Forest Ecology and Management, Volume 391, Pages 349-361, ISSN 0378-1127, https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.01.009.

Holko, L., and Škoda, P, 2016: Assessment of runoff changes in selected catchments of the High Tatra Mountains ten years after the windthrow. Acta Hydrologica Slovaca, 17(1), 43–50.

Holko L, Danko M, and Sleziak P, 2021: Snowmelt characteristics in a pristine mountain catchment of the Jalovecký Creek, Slovakia, over the last three decades. Hydrological Processes. 35:e14128. https://doi.org/10.1002/hyp.14128

Jonášová M., and Prach K, 2008: The influence of bark beetles outbreak vs. salvage logging on ground layer vegetation in Central European mountain spruce forests, Biological Conservation, Volume 141, Issue 6, Pages 1525-1535, ISSN 0006-3207, https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.03.013.

Mezei P., Jakuš R., Pennerstorfer J., Havašová M., Škvarenina J., Ferenčík J., Slivinský J., Bičárová S., Bilčík D., Blaženec M., and Netherer S, 2017: Storms, temperature maxima and the Eurasian spruce bark beetle Ips typographus—An infernal trio in Norway spruce forests of the Central European High Tatra Mountains, Agricultural and Forest Meteorology, Volume 242, Pages 85-95, ISSN 0168-1923, https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.04.004.

Štefunková, Z., Hlavčová, K., and Labat, M.M, 2019: Assessment of the Impact of Changes in Deforestation under the Effect of Severe Windstorms on Runoff Conditions in Small River Basins." Slovak Journal of Civil Engineering, vol. 27, no. 3, Slovak University of Technology in Bratislava, pp. 37-43. https://doi.org/10.2478/sjce-2019-0020

Wei, X., and M. Zhang, 2010: Quantifying streamflow change caused by forest disturbance at a large spatial scale: A single watershed study, Water Resour. Res., 46, W12525, doi:10.1029/2010WR009250.

Acknowledgement:

This study was supported by the VEGA Scientific Grant Agency under Contract No. VEGA 1/0657/25. The author is grateful to the Slovak Hydrometeorological Institute (SHMÚ) for providing access to the catchment's dataset.

Where does the predictability of event runoff coefficients end? Machine learning as a diagnostic tool in small Slovak catchments

Ing. Lynda Paulíková [1]

[1]Faculty of Civil Engineering in Bratislava, Department of Land and Water Resources Management, Slovak University of Technology in Bratislava, Radlinského 2766/11, 810 05 Bratislava, Slovensko, lynda.paulikova@stuba.sk

1 Introduction

The event runoff coefficient φ (the fraction of event rainfall that becomes direct runoff) is a key parameter for flood design in small catchments, yet it varies widely from event to event. What controls this variability has been studied mainly at the regional scale: a regional analysis in Austria showed that climate controls the typical level of φ while antecedent soil moisture controls its variability (Merz and Blöschl 2009), but event-scale relationships between antecedent precipitation and φ are often weak (Chen et al. 2020). Here, machine learning (ML) serves primarily as a diagnostic tool to assess how much event-to-event variability in φ in small catchments can be predicted from routinely available data, and what limits this predictability.

2 Data and methods

Four Slovak catchments of 33 - 47 km² were analysed (Gidra 5260, Demänovka 5590, Turiec–Turček 5930 and Okna 9350), using hourly discharge and rainfall data from 2005 to 2021. For each catchment, we used the nearest rain gauge (10-22 km away). Rainfall–runoff events were automatically identified using the DMCA-ESR method (Giani et al. 2022). After removing events with less than 1 mm of rainfall and incomplete hydrographs, 1235 events remained. We used Catchment 5930 only as an independent check (198 events) because its gauge lies below a reservoir that alters discharge; the other three catchments (1037 events) formed the modelling set. For each event, 31 predictors were derived: rainfall depth and intensity, antecedent precipitation indices, pre-event discharge, air temperature, degree days, snow and soil-moisture anomalies from ERA5-Land (Muñoz-Sabater et al. 2021) and seasonality (summer/winter indicator and day of year). The target was $\log_{10}(\varphi + 0.001)$. Linear regression, random forest (RF) (Breiman 2001) and gradient boosting (GB) (Friedman 2001) were compared against two baselines (overall and seasonal mean) in two validation schemes: leave-one-basin-out (transfer to an ungauged catchment) and within-catchment validation with blocks of years. Skill was measured by three metrics: the median error factor, $10^{\text{median}(|e|)}$, where e is the difference between predicted and observed $\log_{10}(\varphi + 0.001)$; the Nash–Sutcliffe efficiency (NSE) (Nash and Sutcliffe 1970) of $\log_{10}(\varphi + 0.001)$; and the Spearman rank correlation (ρ). Gauge representativeness was assessed by comparing station event rainfall with ERA5-Land rainfall at the catchment centroid.

3 Results

The tree-based models failed to correctly estimate φ for previously unseen catchments and performed worse than the simple mean, while linear regression was only slightly better (Table 1). However, when tested within individual catchments, RF and GB reduced the prediction errors (from 1.90 (simple mean) to 1.81) and ranked runoff events moderately well ($\rho = 0.28–0.31$). The individual models worked best in Gidra and Okna (NSE up to 0.19, ρ up to 0.40) but failed in the mountain catchment Demänovka. Pre-event discharge became the most important predictor and mainly improved events in the summer season (for example, Okna: ρ from 0.04 to 0.31). Still, winter season events were consistently ranked better than summer events across all catchments (Fig. 1a; RF $\rho = 0.17–0.42$ vs -0.02 to 0.31). This seasonal difference mirrors rainfall agreement (Fig. 1b): station and ERA5-Land event rainfall agree well in winter season ($\rho = 0.79–0.84$) but less in summer season ($\rho = 0.59–0.68$). Because

ERA5-Land gives only about half of the station rainfall, it cannot simply replace the gauge station. Finally, models underestimated φ of the largest event in each year (median φ 0.023 predicted vs 0.038 observed), and they overestimated φ below the reservoir (5930) by about five-fold, showing they learned local catchment patterns rather than a transferable rule.

Table 2: Mean skill of the models over the three modelling catchments (all events)

Model	Transfer to unseen catchment			Within catchment (blocked years)		
	Error factor	NSE	ρ	Error factor	NSE	ρ
Mean	2.06	−0.22	–	1.90	−0.04	−0.19
Seasonal mean	2.07	−0.20	0.12	1.90	−0.03	−0.06
Linear regression	2.02	−0.11	0.24	1.95	−0.09	0.20
Random forest	2.39	−0.49	0.14	1.81	0.10	0.28
Gradient boosting	2.47	−0.50	0.17	1.81	0.07	0.31

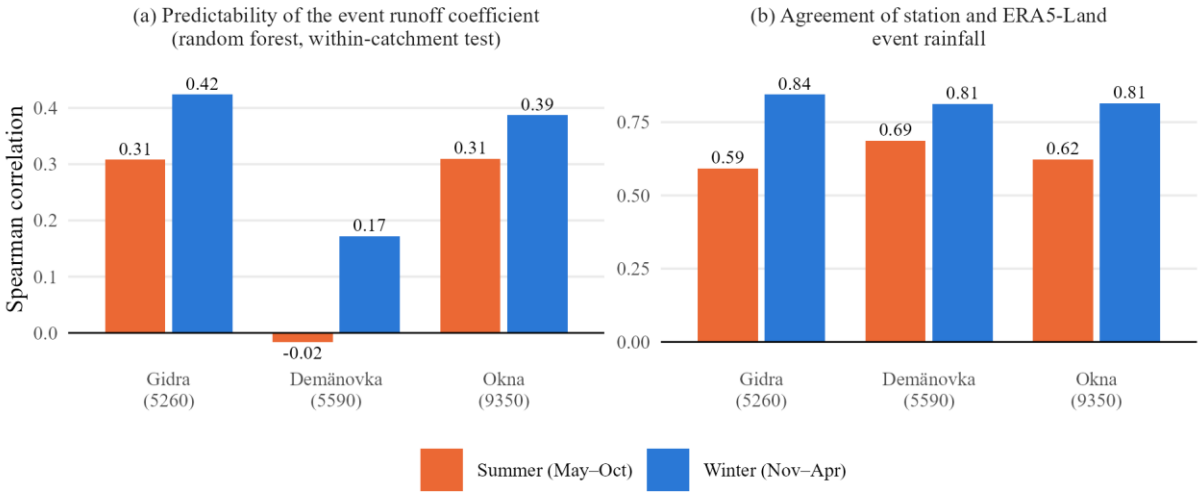


Figure 1: Spearman correlation in summer and winter: (a) observed vs RF-predicted φ (within-catchment test); (b) station vs ERA5-Land event rainfall.

4 Conclusions

In small Slovak catchments, φ of individual events is only partly predictable from one rain gauge and reanalysis data, and the relations do not transfer between catchments. Pre-event discharge helps, but the remaining seasonal contrast in model skill and in gauge–reanalysis agreement suggests that the main limit is the rainfall input, not the algorithm: summer convective rainfall is poorly captured by a single gauge 10–22 km away. ML thus works as a diagnostic tool that shows where information is missing; for flash-flood design this underscores the need for areal (radar) rainfall before more complex models. Future work should focus on catchment-normalised state variables and pretraining on large samples such as LamaH-CE (Klingler et al. 2021).

5 References

Breiman, L., 2001: Random forests. *Mach. Learn.*, **45**, 5–32, https://doi.org/10.1023/A:1010933404324.

Chen, X., J. Parajka, B. Széles, P. Valent, A. Viglione, and G. Blöschl, 2020: Impact of Climate and Geology on Event Runoff Characteristics at the Regional Scale. *Water (Basel).*, **12**, https://doi.org/10.3390/w12123457.

Friedman, J. H., 2001: Greedy function approximation: A gradient boosting machine. *Ann. Stat.*, **29**, https://doi.org/10.1214/aos/1013203451.

Giani, G., L. Tarasova, R. A. Woods, and M. A. Rico-Ramirez, 2022: An Objective Time-Series-Analysis Method for Rainfall-Runoff Event Identification. *Water Resour. Res.*, **58**, e2021WR031283, https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2021WR031283.

Klingler, C., K. Schulz, and M. Herrnegger, 2021: LamaH-CE: LArge-SaMple DAta for Hydrology and Environmental Sciences for Central Europe. *Earth Syst. Sci. Data*, **13**, 4529–4565, https://doi.org/10.5194/essd-13-4529-2021.

Merz, R., and G. Blöschl, 2009: A regional analysis of event runoff coefficients with respect to climate and catchment characteristics in Austria. *Water Resour. Res.*, **45**, n/a-n/a, https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2008WR007163.

Muñoz-Sabater, J., and Coauthors, 2021: ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth Syst. Sci. Data*, **13**, 4349–4383, https://doi.org/10.5194/ESSD-13-4349-2021.

Nash, J. E., and J. V. Sutcliffe, 1970: River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *J. Hydrol. (Amst).*, **10**, 282–290, https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6.

This work was supported by the project VEGA grant VEGA 2/0115/26. Discharge and rainfall data were provided by the Slovak Hydrometeorological Institute (SHMÚ); ERA5-Land data by the Copernicus Climate Change Service.

The author used Claude (Anthropic) to assist with R code, check intermediate results, and edit English. The author ran and verified all analyses and takes full responsibility for the content.

Interakcia podzemných a povrchových vôd v urbanizovanom území: Prípadová štúdia Alžbetin ostrov, Komárno

Ing. Anikó Vanyová

Katedra hydrotechniky, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 2766/11, 810 05 Bratislava, Slovenská republika, aniko.vanyova@stuba.sk

1 Úvod

V aluviálnych nivách veľkých nížinných tokov sú povrchové a podzemné vody prepojené priepustnými kvartérnymi sedimentmi, cez ktoré sa hydraulický impulz povodňovej vlny rýchlo prenáša do priľahlého zvodnenca. V urbanizovanom území sa tak popri priamom zaplavení uplatňuje aj menej viditeľná forma povodňového ohrozenia – vzostup hladiny podzemnej vody (HPV), voči ktorému sú klasické líniové protipovodňové stavby neúčinné (Becker et al., 2022). Typickým príkladom je Alžbetin ostrov v Komárne. Hoci je pred Dunajom chránený hrádzami, počas povodne v júni 2013 (kulminácia 8. 6. 2013, $Q = 9\,378\ m^3 \cdot s^{-1} > Q_{100}$) tu infiltrujúca podzemná voda zaplavila pivnice a podzemné garáže. Na ostrove sa zároveň nachádza vodárenský zdroj Alžbetin ostrov (VZ AO) – jediný zdroj pitnej vody mesta, ktorý je dotovaný brehovou infiltráciou z Dunaja (Varga et al., 2020). Kvantitatívna numerická analýza odozvy HPV na konkrétnu povodňovú udalosť so zohľadnením čerpania pre toto územie doteraz chýbala. Cieľom práce bolo zostaviť a nakalibrovať numerický model prúdenia podzemnej vody a pomocou neho kvantifikovať priestorovú a časovú odozvu HPV na povodeň na Dunaji v júni 2013.

2 Metodika práce

Model bol zostavený v prostredí GMS 10.8 s výpočtovým jadrom MODFLOW (Tabuľka 1). Horné ohraničenie modelu tvorí digitálny model reliéfu (ZBGIS®), dolné ohraničenie báza kvartérnych štrkopieskov (86,8 – 100,3 m n. m.) interpolovaná z prieskumných vrtov ŠGÚDŠ metódou prirodzeného suseda. Modelovanie prebiehalo v dvoch etapách. Ustálený model bol kalibrovaný metódou pokus-omyl na dlhodobé priemerné HPV (2006 – 2025) v 8 studniach s ponornými čerpadlami; 10 násoskových studní bolo z kalibrácie vylúčených pre studňové straty rádovo 1 – 3 m, ktoré regionálny model nedokáže reprodukovať. Kritériom kalibrácie bola stredná kvadratická odchýlka RMSE ≤ 0,3 m. Neustálený model, s počiatočnou podmienkou z ustáleného stavu, simuloval obdobie 26. 5. – 16. 7. 2013. Hladina Dunaja bola zadaná ako časovo premenná okrajová podmienka (CHD) podľa denných vodných stavov SHMÚ v profile Komárno – most č. 6849, hladina zálivu ako konštantná (uzatvorené povodňové vráta). Keďže počas povodne chýbali merania HPV vnútri modelovej domény, model bol validovaný kvalitatívne porovnaním s odozvou v pozorovacích sondách SHMÚ v okolí Komárna (Anderson et al., 2015).

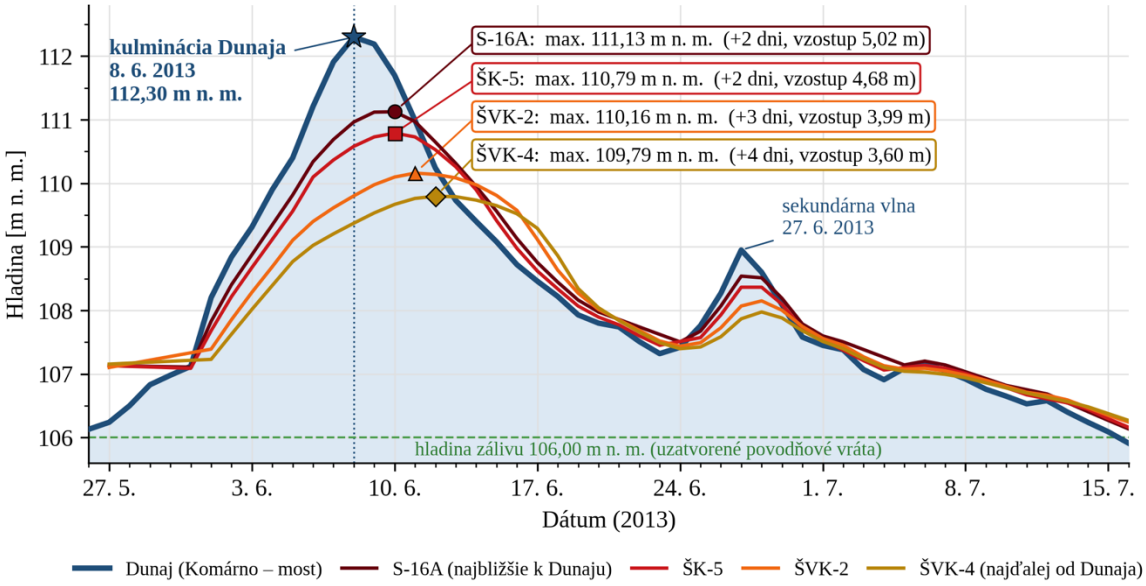
Tabuľka 3: Základné parametre numerického modelu

Softvér / výpočtové jadro	GMS 10.8 / MODFLOW
Modelová doména	3,2 × 1,2 km; 1 vrstva; bunka 10 × 10 m (38 400 buniek)
Hydraulické parametre	$k = 2{,}0 \cdot 10^{-3}\ m \cdot s^{-1}$ (homogénny, izotropný); $S_y = 0{,}15$; $S_s = 1 \cdot 10^{-5}\ m^{-1}$
Okrajové podmienky	CHD – Dunaj (časovo premenná), záliv (konštantná 106,00 m n. m.); WEL – 18 studní VZ AO
Odber VZ AO	$106{,}04\ l \cdot s^{-1}$ ($9\,162\ m^3 \cdot deň^{-1}$), konštantný
Časová diskretizácia	51 záťažových období po 1 dni (26. 5. – 16. 7. 2013)

3 Výsledky

Ustálený model dosiahol RMSE = 0,131 m s maximálnou odchýlkou +0,25 m (ŠVK-4); kalibrovaný koeficient filtrácie $k = 2{,}0 \cdot 10^{-3}\ m \cdot s^{-1}$ je v zhode s výsledkami čerpacích skúšok. Počas neustálenej simulácie stúpla hladina Dunaja o 6,17 m na 112,30 m n. m. Maximálne HPV boli dosiahnuté 9. – 10. 6. 2013, s oneskorením 1 – 2 dni za kulmináciou Dunaja: pri brehovej línii nad 112 m n. m., v centre ostrova 109 – 110 m n. m., čo pri nadmorskej výške terénu 107 –110 m n. m. znamená priblíženie HPV k povrchu terénu, a v severnej časti pri zálive len 106,5 – 107,5 m n. m. V studniach

VZ AO sa so vzdialenosťou od Dunaja amplitúda odozvy tlmila z 5,02 m (S-16A) na 3,60 m (ŠVK-4) a kulminácia sa oneskorila o 2 až 4 dni (Obrázok 1). Sekundárna vlna z 27. 6. 2013 (108,95 m n. m.) sa prejavila len v páse pozdĺž brehu. Uzatvorené povodňové vráta zálivu eliminovali infiltráciu zo severnej strany ostrova, a preto povodňová dotácia kolektora prichádzala výlučne od Dunaja. Depresné lieviky studní VZ AO sa počas kulminácie čiastočne vyplnili infiltrujúcou vodou a ich vplyv na maximálnu HPV v centre ostrova bol obmedzený. Modelová odozva je kvalitatívne konzistentná so sondami SHMÚ, ktoré zaznamenali vzostup o 1,15 – 2,3 m s oneskorením 0 – 4 dni.



Obrázok 1: Časový priebeh modelovej HPV vo vybraných studniach VZ AO počas povodne 26. 5. – 16. 7. 2013 v porovnaní s hladinou Dunaja (profil Komárno – most č. 6849); studne sú zoradené podľa rastúcej vzdialenosti od Dunaja.

4 Záver

Numerický model potvrdil úzku hydraulickú väzbu medzi Dunajom a kvartérnym kolektorom Alžbetinho ostrova. Kvantifikoval priestorovo diferencovaný vzostup HPV počas povodne 2013, ktorý vysvetľuje zaplavenie podzemných podlaží napriek funkčným hrádzam. V centrálnej a severnej časti ostrova vzostup najviac obmedzilo uzatvorenie povodňových vrát zálivu. Plošné tesniace steny by znížili dotáciu vodárenského zdroja a intenzívne ochranné čerpanie by vyvolalo sufóziu a sadanie základov. Odporúča sa preto hydrogeologicky posudzovať stavebné zámery, obmedziť hlboké podzemné podlažia, monitorovať HPV a zohľadniť toto riziko v územnom pláne mesta Komárno. Kalibrovaný model môže slúžiť aj ako prognostický nástroj. Z predpovede vodných stavov Dunaja odhadne priebeh HPV v jednotlivých častiach ostrova a stanoví bezpečnú mieru odčerpávania pivníc – denne najviac 1/3 rozdielu medzi hladinou v pivnici a prognózovanou HPV. Tým sa obmedzí hydraulický gradient na podzemných konštrukciách a riziko sufózie. Ďalší výskum by mal smerovať k viacvrstvovému heterogénnemu modelu a klimatickým scenárom.

5 Literatúra

Anderson, M.P., W.W.Woessner and R.J.Hunt, 2015: *Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport.* 2nd ed. Academic Press, San Diego, 564 s.

Becker, B., F.Reichel, D.Bachmann and R.Schinke, 2022: *High groundwater levels: Processes, consequences, and management.* WIREs Water, 9(5), e1605.

Varga, M., M.Výboch and D.Krčmár, 2020: *Vodárenský zdroj Komárno – Alžbetin ostrov – výpočet využiteľných množstiev podzemnej vody – podrobný hydrogeologický prieskum.* Záverečná správa. EKOHYDROGEO spol. s r. o., Bratislava.

II. Sekcia mladých meteorológov, klimatológov a odborníkov na kvalitu ovzdušia

Vplyv aerosólov na oblaky a zrážky v modeli WRF

Natália Charvátová1,[2]

[1]*Katedra fyziky atmosféry, Matematicko-fyzikálna fakulta, Univerzita Karlova, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8, Česká republika, natalia.charvatova505@student.cuni.cz*

[2]*Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i., Boční II 1401, 141 00 Praha 4, Česká republika, charvatova@ufa.cas.cz*

1 Úvod

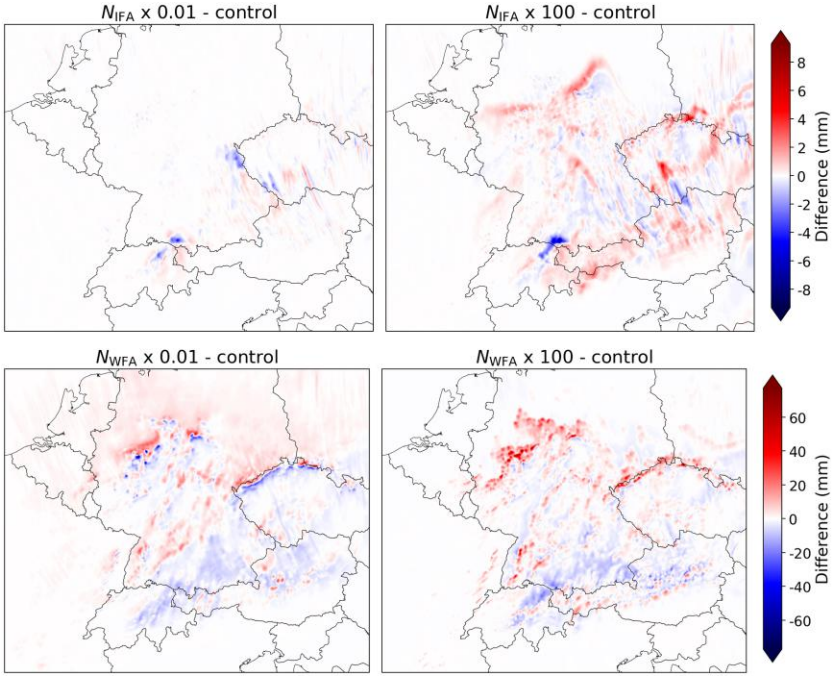
Interakcie aerosólov s oblakmi patria k najväčším zdrojom neistoty v modelovaní atmosféry. Ich odozva závisí od typu oblačnosti, meteorologickej situácie aj od už prítomného aerosólového pozadia, a často je nelineárna až nemonotónna (Fan et al., 2016). V numerických modeloch počasia sa aerosóly často explicitne neuvažujú vôbec, alebo sú len skryto zahrnuté v empirických vzťahoch s nemennými vlastnosťami a koncentráciami, hoci aerosólové pozadie ovplyvňuje simulovanú odozvu rovnako silno ako voľba parametrizácie (Marelle et al., 2025). Cieľom práce bolo (i) určiť odozvu zrážok na zmenu koncentrácie ľadotvorných častíc (INP) a kondenzačných jadier (CCN) v kontrastných oblačných režimoch, aj z pohľadu glaciogénneho ovplyvňovania oblačnosti, a (ii) overiť, či prípadovo špecifické aerosólové pole umožní zachytiť vplyv reálnej epizódy saharského prachu.

2 Metodika práce

Simulácie boli realizované modelom WRF 4.5.2 s počiatočnými a okrajovými podmienkami z reanalýzy ERA5 na dvoch doménach (9 km a 3 km), pričom vnútorná doména, vnorená do vonkajšej a pokrývajúca strednú Európu a Alpy, rozlišovala konvekciu explicitne. Mikrofyzika bola opísaná schémou Thompson–Eidhammer (Thompson a Eidhammer, 2014), ktorá ako jediná zo štandardných schém WRF bez chemického modulu prognózuje dve kategórie aerosólov: častice aktívne ako CCN (N_{WFA}) a ako INP (N_{IFA}). V citlivostných experimentoch boli počiatočné a okrajové polia N_{IFA} a N_{WFA} oddelene násobené faktormi 0,01 až 100 pre dve kontrastné situácie: zimnú orografickú snehovú epizódu na severnej strane Álp (5. 1. 2019) a kvázistacionárnu hlbokú konvekciu nad Berlínom s denným úhrnom takmer 200 mm (29. 6. 2017). V druhej časti boli z pomocných simulácií WRF-Chem (schéma GOCART, vstupy z CAMS EAC4) zostavené prípadovo špecifické polia N_{WFA} a N_{IFA}: minerálny prach bol priradený k N_{IFA}, sulfáty, organický uhlík a morská soľ k N_{WFA}, s prevodom hmotnosti na počet cez lognormálne rozdelenie. Metodika bola aplikovaná na rekordnú intrúziu saharského prachu z 15. 3. 2022.

3 Výsledky

V zimnej orografickej situácii rastie úhrn zrážok v doméne s rastúcim N_{IFA} takmer monotónne (pri N_{IFA} × 100 o 1,2 %) a rozdelenie zrážok sa posúva k vyšším intenzitám, zatiaľ čo zníženie N_{IFA} má len malý vplyv. Oblaky sa teda nachádzajú v režime limitovanom počtom INP a klimatologické pozadie leží pri jeho dolnej hranici. Priestorové rozloženie odozvy (Obr. 1, horný rad) spolu s vertikálnymi rezmi však odhalilo tri odlišné lokálne režimy. Nad Krušnými horami pridanie INP aktivuje ľadovú fázu v rozsiahlej vrstve prechladenej vody rýchlejšie, zrážky sa preto tvoria skôr a ich úhrn rastie. Pozdĺž severného okraja Álp dominuje depozičný rast a agregácia snehu, ktorých efektivita rastie s počtom kryštálov; tu vzniká väčšina celkového nárastu. Nad Bodamským jazerom, kde je zrážkotvorný reťazec založený na zachytávaní vody z vrstvy prechladenej oblačnosti dopĺňanej z jazera, však pri N_{IFA} × 100 vzniká veľké množstvo malých, pomaly padajúcich kryštálov, zachytávanie vody (riming) zlyhá a zrážky lokálne klesnú o viac ako 5 mm. Ide o modelový analóg overseedingu, teda situácie, keď sa pridá príliš veľa častíc a zrážky namiesto zosilnenia klesnú (Flossmann et al., 2019).



Obrázok 1: Rozdiel 24-hodinového úhrnu zrážok (mm) oproti kontrolnej simulácii v zimnej orografickej situácii 5. 1. 2019 (vnútorná doména): horný rad N_{IFA} × 0,01 a × 100, dolný rad N_{WFA} × 0,01 a × 100.

Odozva na zmenu CCN je kvalitatívne odlišná. V zimnej situácii má tvar písmena U (Obr. 1, dolný rad): menej CCN aktivuje teplý zrážkový proces pred horami, viac CCN ho potlačí a oblačná voda vypadne až nad horami ako koncentrované intenzívne zrážky. V letnej konvektívnej situácii je odozva na N_{WFA} takmer monotónna (menej CCN znamená viac zrážok), odozva na N_{IFA} je o rád slabšia a priestorový signál je zväčša výsledkom posunu jednotlivých konvektívnych buniek.

Pole N_{IFA} zostavené z WRF-Chem sa počas prachovej epizódy líšilo od klimatológie až o tri rády, a to oboma smermi: v prachovom oblaku výrazne vyššie, v susedných vzduchových hmotách nižšie. V odozve zrážok sa objavili rovnaké podpisy ako v citlivostných experimentoch: dipól na čele frontálneho pásma nad východným Francúzskom (skoršia glaciácia), jednoznačné zosilnenie zrážok na severnej strane Álp a posuny frontálnych zrážkových pásov. V prvých 12 hodinách prach zvýšil úhrn zrážok v doméne a posunul ich k vyšším intenzitám; za 24 hodín bol súhrnný signál záporný, najmä v dôsledku posunu pásov a okrajových efektov.

4 Záver

Schéma Thompson–Eidhammer fyzikálne konzistentne reprodukuje známe prejavy interakcií aerosólov s oblakmi. Odozva zrážok silno závisí od oblačného režimu, a to aj v rámci jednej situácie: zimná orografická oblačnosť je vhodným cieľom glaciogénneho ovplyvňovania, no lokálne môže pridanie INP zrážky znížiť. Klimatologický aerosólový vstup nedokáže zachytiť epizodické udalosti, ako sú intrúzie saharského prachu, čo navrhnutá metodika s poľami z WRF-Chem umožňuje.

5 Literatúra

Fan J., Y. Wang, D. Rosenfeld and X. Liu, 2016: *Review of aerosol–cloud interactions: Mechanisms, significance, and challenges.* Journal of the Atmospheric Sciences, 73, 4221–4252.

Flossmann A. I. et al., 2019: *Review of advances in precipitation enhancement research.* Bulletin of the American Meteorological Society, 100, 1465–1480.

Marelle L., G. Myhre, J. L. Thomas and J.-C. Raut, 2025: *Aerosol background concentrations influence aerosol-cloud interactions as much as the choice of aerosol-cloud parameterization.* Geophysical Research Letters, 52, e2024GL111780.

Thompson G. and T. Eidhammer, 2014: *A study of aerosol impacts on clouds and precipitation development in a large winter cyclone.* Journal of the Atmospheric Sciences, 71, 3636–3658.

Variabilita súbehu sucha a horúčav vo vzťahu k navrhovaniu vegetačných striech

Jozef Olašák[1], Štěpánka Horáčková[2]

[1]*Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 2766/11, 810 05 Bratislava, Slovensko, jozef.olasak@stuba.sk*

[2]*Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331, 602 00 Brno, Česko, chomova@vutbr.cz*

1 Úvod

Vegetačné strechy zadržiavajú časť dažďovej vody a prostredníctvom evapotranspirácie prispievajú k ochladzovaniu strešného povrchu (Olašák a Palko, 2026a, b). Počas období bez zrážok sa zásoba dažďovej vody v substráte postupne vyčerpáva. Ak sa takéto obdobie prekrýva s horúčavami, rastúci výparový dopyt môže prehĺbiť vodný stres vegetácie a obmedziť jej transpiráciu. Pri navrhovaní je preto potrebné zohľadniť časový priebeh miestneho počasia spolu s hrúbkou substrátu a spôsobom zásobovania vodou. Cieľom príspevku je na základe údajov meteorologickej stanice *Bratislava-Koliba* vyhodnotiť súbeh sucha a horúčav vo vybranom období a porovnať vodný režim modelových vegetačných striech s rozdielnou hrúbkou substrátu a režimom závlahy.

2 Metodika práce

Na výpočet sa použili sa údaje stanice *Bratislava-Koliba* (11813) z hodinovej databázy Global Historical Climatology Network amerického Národného úradu pre oceán a atmosféru (NOAA). Úplný rad obsahoval 549 denných zrážkových úhrnov za mesiac apríl až september rokov 2020–2022. Zrážky a teploty sa spojili do 24-hodinových intervalov končiacich o 06:00 koordinovaného svetového času (UTC), s najmenej 20 platnými hodinovými teplotami. Apríl slúžil na rozbeh modelu; hodnotil sa vždy mesiac máj až september, teda 153 dní ročne.

Horúci deň (H) mal najvyššiu dostupnú hodinovú teplotu aspoň 30 °C; tá približuje denný extrém. Stav krátkodobého zrážkového sucha (D_7) nastával od siedmeho po sebe idúceho dňa s úhrnom pod 1 mm. Porovnávali sa dni bez oboch javov, iba s horúčavou, iba so suchom a s ich súbehom ($H \cap D_7$). Súvislý úsek tvorili po sebe nasledujúce dni súbehu.

Referenčná evapotranspirácia (ET_0), teda výpar a transpirácia referenčného trávnatého povrchu pri dostatku vody, sa odhadla Hargreavesovou rovnicou (Allen et al., 1998). Jednorozmerný model HYDRUS-1D (Šimůnek et al., 2009) porovnal 18 kombinácií troch hrúbok substrátu vegetačnej strechy (8, 12 a 16 cm), troch rokov a režimov bez závlahy a so závlahou. Vlastnosti substrátu Terra Mediterranea sa prevzali od Autovino et al. (2024). Použil sa tiež referenčný porast bez druhovej kalibrácie a voľné odvodnenie substrátu.

Vodný stres vyjadroval pomer modelovej skutočnej transpirácie (T_a) k potenciálnej pri dostatku vody (T_p). Pri poklese pod 70 % sa nasledujúci deň pridalo 5 mm závlahy; silný stres znamenal pokles pod 50 %. Vykonalo sa 24 kontrolných a citlivostných scenárov a tri doplňujúce testy pri 12 cm: pri rovnakom spúšťači sa dávka znížila o denný úhrn zrážok, najviac na nulu. Využíval sa spätne známy dážď, nie predpoveď.

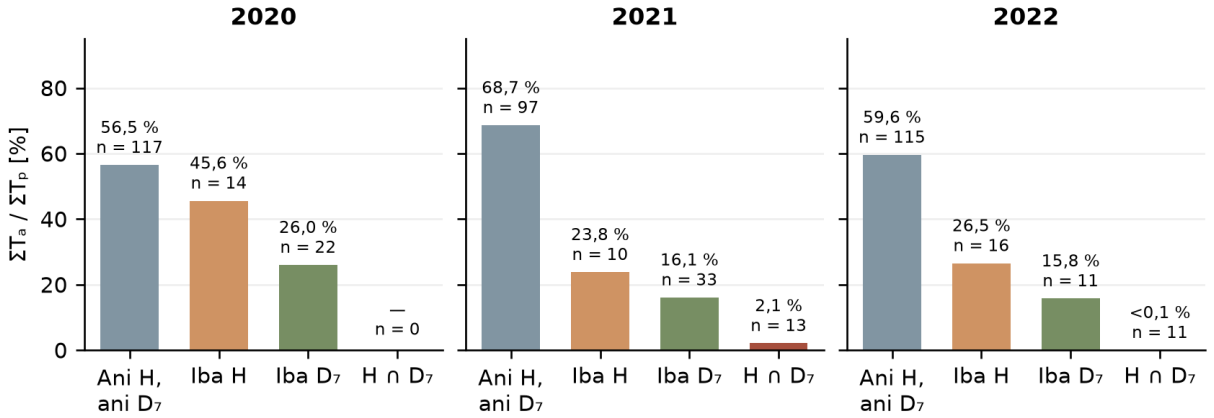
Varianty sa porovnali podľa počtu stresových dní, sezónnej evapotranspirácie a spotreby závlahovej vody, pričom osobitná pozornosť sa venovala obmedzeniu transpirácie počas súbehu sucha a horúčav.

Tabuľka 1. Bratislava-Koliba, máj–september; P = úhrn zrážok.

Rok	P [mm]	ET_0 [mm]	H [dni]	$H \cap D_7$ [dni]
2020	391,6	586,2	14	0
2021	313,2	610,8	23	13
2022	363,1	633,5	27	11

3 Výsledky a diskusia

Zistených 0, 13 a 11 dní súbehu tvorilo spolu osem súvislých úsekov; najdlhší trval 21.–25. júla 2022 (dátumy začiatku denných intervalov). Nejde o osem nezávislých suchých udalostí. Pri 12 cm bez závlahy dosiahla transpirácia počas súbehu 2,1 % potenciálu v roku 2021 a menej ako 0,1 % v roku 2022; počas samotných horúcich dní 23,8 % a 26,5 % *(Obrázok 1)*. Rozdiel je opisný, ovplyvnený aj predchádzajúcou zásobou vody. V roku 2020 bolo stresových 8 zo 14 horúcich dní napriek nulovému súbehu.



Obrázok 1: Pomer $\Sigma T_a/\Sigma T_p$ pri 12 cm bez závlahy; n = počet dní. Prvá skupina neznamená neprítomnosť vodného stresu.

Zväčšenie hrúbky z 8 na 16 cm zvýšilo sezónnu skutočnú evapotranspiráciu o 30,6–32,8 mm; všetkých 24 dní súbehu však bez závlahy zostalo stresových. Základná závlaha znížila sezónny počet stresových dní zo 63–80 na 7–21 pri spotrebe 195–270 mm. Zrážková korekcia pri 12 cm ušetrila 1,2–14,4 % vody, ale pridala 2–4 stresové dni: ide o kompromis, nie jednoznačne lepší režim.

ET_0 ±20 % zmenila pri 12 cm/2021 počet stresových dní zo 70 na 52–85. Nižší pomer transpirácie pri súbehu než pri samotnom H alebo D_7 sa zachoval vo všetkých 18 kontrolných a citlivostných prípadoch pre tento profil a rok. Sezónna odchýlka bilancie bola pri základných a doplnených závlahových scenároch pod 0,081 % vstupu vody. Model vegetačnej strechy nemá terénnu validáciu a neurčuje teplotu strechy ani ochladenie vzduchu.

4 Záver

Prínosom je kvantifikované spojenie miestneho počasia, kritických úsekov a vodného režimu modelových vegetačných striech. Výsledky podporujú spoločný návrh hrúbky a hospodárenia s vodou; hrubší substrát sám neudržal transpiráciu počas súbehu. Praktickým výstupom je určenie období s najvýraznejším obmedzením transpirácie a vyčíslenie spotreby závlahovej vody. To umožňuje posúdiť, ako jednotlivé varianty zmierňujú vodný stres vegetácie a aké nároky na závlahu predstavujú. Závery platia pre vybrané sezóny a referenčný porast a slúžia na predbežné porovnanie variantov.

5 Literatúra

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998: *Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.* FAO, Rome.

Autovino, D. et al., 2024: *Hydraulic Characterization of Green Roof Substrates by Evaporation Experiments. Applied Sciences*, 14, 1617. doi:10.3390/app14041617.

NOAA: *Global Historical Climatology Network hourly*. Údaje stanice Bratislava-Koliba (11813).

Olašák, J., Palko, M., 2026a: *Green Roofs as a Passive Physico-Ecological Tool for Sustainable Urban Development*. CESBP 2025, LNCE 795, 857–875. doi:10.1007/978-3-032-14011-1_68.

Olašák, J., Palko, M., 2026b: *Hydrological Performance of Green Roofs in Urban Areas Exposed to Extreme Rainfall Events.* ICCAUA, 9(1), 2610250. doi:10.38027/ICCAUA2026EN0250.

Šimůnek, J. et al., 2009: *The HYDRUS-1D Software Package.* Version 4.08. University of California, Riverside.

Meteorologické príčiny výskytu teploty vzduchu 40 °C a viac v lete 2026

Cyril Siman [1, 2]

[1]*Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, Slovensko, cyril.siman@shmu.sk*

[2]*Regioclim – regionálny klimatologický inštitút, Slovensko*

1 Úvod

V lete 2026 bola na Slovensku v piatich dňoch nameraná maximálna teplota vzduchu 40 °C a viac (29. a 30. 6. a 4.–6. 8.) a 6. 8. 2026 padlo v Dolných Plachtinciach nové absolútne maximum 42,2 °C. Pred rokom 2026 sa hranica 40 °C dosiahla len trikrát: 20. 7. 2007 (40,3 °C), 8. 8. 2013 (40,2 °C) a 21. 7. 2022 (40,0 °C). Extrémne horúčavy v strednej Európe sa spájajú s kvázistacionárnymi hrebeňmi vysokého tlaku vzduchu (Pfahl a Wernli, 2012) a so suchom pôdy, pri ktorom sa väčšina dopadajúcej energie mení na citeľné teplo (Seneviratne a kol., 2010; Miralles a kol., 2014). Cieľom práce je určiť, čím sa leto 2026 líšilo od predchádzajúcich prípadov a či za rekordmi stojí skôr zmena cirkulácie, alebo zmena vlastností vzduchovej hmoty a povrchu.

2 Metodika práce

Analyzovali sme všetkých osem dní s maximálnou teplotou vzduchu (T_{max}) 40 °C a viac. Použili sme merania staníc SHMÚ a radiosondáže o 12 UTC z Viedne, Gánoviec a Budapešti. Synoptickú situáciu, odchýlky od normálu 1991–2020 a vlhkostné charakteristiky (deficit rosného bodu, sýtostný doplnok, vlhkosť pôdy vo vrstve 0–7 cm, Bowenov pomer) sme hodnotili z reanalýzy ERA5 v rozlíšení 0,25° (Hersbach a kol., 2020) ako plošný priemer nad Slovenskom o 12 UTC. Cirkuláciu sme klasifikovali objektívnou metódou Jenkinson–Collison (Jones a kol., 1993) z tlaku vzduchu na hladine mora so stredom mriežky 48,5° s. š., 19,5° v. d. a vyhodnotili početnosť anticyklonálnych dní v lete 1991–2026. Trendy letných priemerov 1950–2026 sme odhadli lineárnou regresiou.

Tabuľka 4: Odchýlky Z500 a T850 od normálu 1991–2020, relatívna vlhkosť na hladine 850 hPa, vlhkosť pôdy (0–7 cm) nad Slovenskom (ERA5, 12 UTC) a typ cirkulácie Jenkinson–Collison (J–C) v dňoch s $T_{max} \geq 40$ °C.

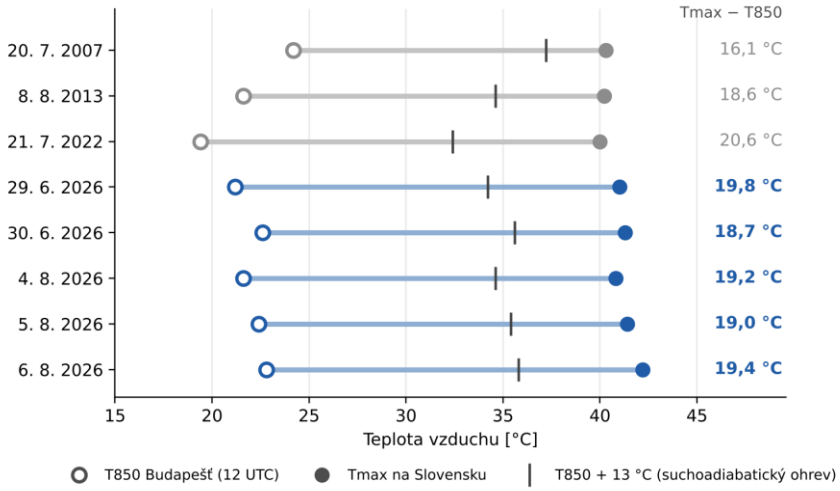
Dátum	T_{max} [°C]	Typ J–C	ΔZ500 [gpdam]	ΔT850 [°C]	RH850 [%]	Pôda [% normálu]
20. 7. 2007	40,3	U	+11,6	+9,5	48	69
8. 8. 2013	40,2	U	+11,8	+8,8	44	56
21. 7. 2022	40,0	A	+13,0	+6,8	40	56
29. 6. 2026	41,0	U	+18,8	+10,6	46	62
30. 6. 2026	41,3	E	+17,5	+10,1	46	61
4. 8. 2026	40,8	U	+13,2	+9,7	37	62
5. 8. 2026	41,4	U	+13,8	+10,1	35	60
6. 8. 2026	42,2	U	+12,0	+9,9	35	59

3 Výsledky

Všetky prípady nastali pod hrebeňom vysokého tlaku vzduchu s geopotenciálom hladiny 500 hPa 587–592 gpdam a v nevýraznom prízemnom tlakovom poli. Šesť z ôsmich dní bolo podľa klasifikácie Jenkinson–Collison nezaradených (typ U, slabý tlakový gradient). V auguste 2026 sa výšková níž presúvala od Britských ostrovov nad Škandináviu a na prednej strane brázdy vzniklo nad strednou Európou juhozápadné prúdenie. Rekord padol v posledný deň pred prechodom studeného frontu. V lete 2026 bola kladná odchýlka Z500 nad Slovenskom +12 až +19 gpdam a odchýlka T850 približne +10 °C, v referenčných dňoch +11,6 až +13,0 gpdam a +6,8 až +9,5 °C (tabuľka 1).

Absolútna teplota na hladine 850 hPa však v roku 2026 nebola vyššia ako v roku 2007 (Budapešť 24,2 °C oproti 21,2–22,8 °C). Rozdiel medzi prízemným maximom a teplotou na hladine 850 hPa vzrástol zo 16,1 °C (2007) na 18,6–20,6 °C v rokoch 2013–2026 (obrázok 1), hoci suchoadiabatický ohrev pri zostupe do nížin je len asi 13 °C. Zvyšok vzniká v superadiabatickej prízemnej vrstve nad

suchým povrchom. Rekord 42,2 °C vznikol pri vetre do 2 m/s, relatívnej vlhkosti 14,9 % a sýtostnom doplnku 70,5 hPa.



Obrázok 1: Teplota na hladine 850 hPa nad Budapešťou o 12 UTC (prázdny krúžok) a maximálna teplota vzduchu na Slovensku (plný krúžok); čiarka označuje suchoadiabatický ohrev o 13 °C, vpravo je rozdiel $T_{max} - T850$.

Počet anticyklonálnych dní v lete rastie len o 1,2 dňa za desaťročie a trend nie je štatisticky významný ($p = 0,34$). Termodynamické veličiny sa naopak menia výrazne: letná teplota na hladine 850 hPa rastie od roku 1991 o 0,67 °C, sýtostný doplnok o 0,63 hPa a Bowenov pomer o 0,04 za desaťročie ($p < 0,05$). Leto 2026 bolo v rade 1950–2026 tretie najteplejšie na hladine 850 hPa aj pri zemi, s najvyšším sýtostným doplnkom a druhou najnižšou vlhkosťou pôdy.

4 Záver

Všetkých osem prípadov s 40 °C spája hrebeň vysokého tlaku vzduchu, slabé prízemné tlakové pole, teplota na hladine 850 hPa 19–22 °C a suchá pôda. Leto 2026 sa vyznačovalo najsilnejšími odchýlkami Z500 a T850 a veľmi suchým vzduchom vo výške. Rozdiel $T_{max} - T850$ sa zväčšil zo 16 °C na 19–21 °C, preto klasické empirické odhady maximálnej teploty z T850 v extrémnych situáciách maximum podhodnocujú. Početnosť anticyklonálnych situácií sa významne nemení a rekordy vysvetľuje najmä otepľovanie a vysušovanie vzduchu a pôdy.

5 Literatúra

Hersbach, H., B. Bell, P. Berrisford a kol., 2020: *The ERA5 global reanalysis.* Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 146(730), 1999–2049. https://doi.org/10.1002/qj.3803

Jones, P. D., M. Hulme a K. R. Briffa, 1993: *A comparison of Lamb circulation types with an objective classification scheme.* International Journal of Climatology, 13(6), 655–663. https://doi.org/10.1002/joc.3370130606

Miralles, D. G., A. J. Teuling, C. C. van Heerwaarden a J. Vilà-Guerau de Arellano, 2014: *Mega-heatwave temperatures due to combined soil desiccation and atmospheric heat accumulation.* Nature Geoscience, 7(5), 345–349. https://doi.org/10.1038/ngeo2141

Pfahl, S. a H. Wernli, 2012: *Quantifying the relevance of atmospheric blocking for co-located temperature extremes in the Northern Hemisphere on (sub-)daily time scales.* Geophysical Research Letters, 39(12). https://doi.org/10.1029/2012GL052261

Seneviratne, S. I., T. Corti, E. L. Davin a kol., 2010: *Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review.* Earth-Science Reviews, 99(3–4), 125–161. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004

Aplikovateľnosť a praktická realizovateľnosť kritérií WMO pre klasifikáciu polôh 95 klimatologických staníc SHMÚ: skúsenosti, poznatky a testované možnosti zlepšenia kritérií

Karol Seják [1]

[1]*Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 2305/17, 831 01, Bratislava, Slovensko, karol.sejak@shmu.sk*

1 Úvod

Klasifikácia umiestnení klimatologických staníc predstavuje spôsob, ako meteorologickým prvkom priradíme stupeň reprezentatívnosti merania. Na meranie meteorologických prvkov má vplyv blízke okolie stanice, ktoré na každý meraný prvok vplýva rôznym spôsobom. Metodika, ktorá obsahuje kritériá pre zatriedenie staníc pre jednotlivé prvky, je obsiahnutá v dokumente, ktorý publikovala Svetová meteorologická organizácia (WMO) s názvom SITING CLASSIFICATIONS FOR SURFACE OBSERVING STATIONS ON LAND [1]. V tomto príspevku autor sumarizuje výsledky klasifikácie pre prvok teplota a vlhkosť vzduchu pre 95 klimatologických staníc SHMÚ, veľmi stručne popisuje metódy, akými bola klasifikácia realizovaná, a poukazuje na nedostatky v kritériách, ktoré obsahuje vyššie spomenutý dokument. Na základe 3-ročných odborných skúseností z klasifikácie takmer úplne celej klimatologickej siete SHMÚ sa autor článku rozhodol uviesť návrhy na spresnenie kritérií, ktoré by mohli pomôcť v lepšej interpretovateľnosti získaných výsledkov. Klasifikácia klimatologických staníc sa začala vykonávať na staniciach SHMÚ v roku 2023, následne bola na Konferencii mladých odborníkov prezentovaná realizácia klasifikácie podľa tejto metodiky na 5 profesionálnych meteorologických (klimatologických) staniciach SHMÚ [2]. V období od roku 2023 do roku 2024 bol spôsob realizácie klasifikácie výrazne prepracovaný a výsledky klasifikácie publikované v meteorologickom časopise s názvom Klasifikácia umiestnení meteorologických staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu pre vybrané meteorologické prvky podľa metodiky WMO [3].

2 Metodika práce

Vykonávanie klasifikácie môže byť poňaté 2 rôznymi spôsobmi. Prvý spôsob predstavuje prácu v teréne a následné spracovanie výsledkov meraní, pričom dobrý príklad predstavuje odborná správa Wolff et al. (2016) [4]. Druhý spôsob môže byť tzv. automatický a nevyžadujúci prítomnosť personálu na stanici [5]. V tomto príspevku uvádzam výsledky hodnotenia klasifikácie pre teplotu vzduchu a navrhujem úpravu kritérií pre zatienenie snímača teploty a vlhkosti vzduchu. Po spracovaní umiestnení desiatok klimatologických staníc predstavuje prvé kritérium dôvod priradenia najhoršej 5. kategórie až 59 staniciam z celkového počtu 95. Predstavuje to 62 % staníc. Počas vyhodnotenia prvých 40 klimatologických staníc vo vyššie spomenutom článku bolo v 5. kategórii len 15 staníc z celkového počtu 40, čo predstavuje 38 % staníc. Práve z tohto dôvodu je žiaduce navrhnúť rozšírenie pre 5. kategóriu. Vzhľadom na vysoký počet ohodnotených staníc sa negatíva a pozitíva navrhnutej klasifikácie preukázali na dostatočne početnej vzorke staníc. Rozšírenie kritéria pre 5. kategóriu predstavuje dodefinovanie ďalších 3 hraníc pre tienenie a stanovenie počtu hodín do roka, počas ktorých je snímač tienený. V tomto prípade ide o tienenie, keď je Slnko vyššie ako 30° nad horizontom, vyššie ako 40° nad horizontom a vyššie ako 50° nad horizontom.

Výsledný návrh diferencuje stanice, ktoré vykazovali len kratšiu dobu zatienenia, pokiaľ bolo Slnko vyššie ako 20° nad horizontom (hranica 5. kategórie), od staníc, kde tienenie bolo masívne zastúpené počas väčšiny roka. Podiel geometrického zatienenia počas potenciálneho času slnečného svitu (%) bol stanovený pre každú stanicu, nielen pre stanice patriace pod 5. kategóriu. Táto časť predstavuje technicky zložitejší postup, kde autor pri tvorbe a úprave programového kódu v Pythone využil umelú

inteligenciu, pričom kontrolu metodiky a výsledkov vykonal autor. Táto časť sa skladá z nasledovných krokov:

1) Z nameraných bodov horizontu bol pomocou lineárnej interpolácie vytvorený súvislý priebeh horizontu, ktorý umožnil určiť jeho uhlovú výšku pre ľubovoľný azimut. Výsledný horizont zohľadňoval prirodzený reliéf aj lokálne prekážky v okolí stanice. Reliéf bol získaný z digitálneho modelu reliéfu.
2) Z takto získaného súvislého priebehu horizontu bol stanovený podiel geometrického zatienenia počas potenciálneho času slnečného svitu (%).

3 Výsledky

Pre lepšiu interpretovateľnosť získaných výsledkov klasifikácie teda navrhujem nasledovné označenie triedy (kategórie):
1 až 5 s označením napríklad 4_A, kde 4 je číslo triedy, index A predstavuje zaokrúhlený podiel geometrického zatienenia počas potenciálneho času slnečného svitu (%).
Pre stanice v kategórii 5 navrhujem označenie s 2 indexami: napríklad $5_{A,B}$ predstavuje stanicu v kategórii 5, kde prvý index A predstavuje už spomínaný zaokrúhlený podiel geometrického zatienenia a druhý index vyjadruje stav, že snímač je v tieni, ak je Slnko vyššie ako B° nad horizontom.
Takto navrhnutý systém klasifikácie významne diferencuje stanice v 5. kategórii a pomáha tak lepšie a reprezentatívnejšie popísať kvalitu merania pomocou jedného čísla a dvoch indexov.

4 Záver

V prvom rade je nutné si uvedomiť, že dosiahnuté výsledky sú sumarizáciou 3 rokov trvajúcej klasifikácie, celý proces bolo nutné uviesť do praxe, zorganizovať 2 školenia pre inšpektorov staníc, vysvetliť im metodiku zameriavania horizontu. Navrhované rozšírenie kritérií reflektuje nedostatky, ktoré má aktuálna verzia klasifikácie a poskytuje dodatočnú a mimoriadne užitočnú informáciu o radiačných pomeroch v mieste merania teploty a vlhkosti vzduchu.

5 Literatúra

[1] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO), 2014. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No. 8. Part I, Chapter 1, Annex 1.B: Siting Classifications for Surface Observing Stations on Land. Geneva: World Meteorological Organization.

[2] SEJÁK, K., 2023. Klasifikácia umiestnení profesionálnych staníc podľa predpisov Svetovej meteorologickej organizácie. In: Konferencia mladých odborníkov 2023: Zborník súťažných prác. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav. Dostupné na: https://kmo.shmu.sk/media/files/2023/Zbornik_7_11_FINAL_V1.pdf

[3] SEJÁK, K., 2025. Klasifikácia umiestnení meteorologických staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu pre vybrané meteorologické prvky podľa metodiky WMO. Meteorologický časopis, 28(2), s. 103–117. https://doi.org/10.62699/mj28.2x.43

[4] WOLFF, M., et al., 2016. Temperature siting classification in Nordic Countries: Final report of NordObs activity on WMO-CIMO siting classification. METreport No. 17/2016. Oslo: Norwegian Meteorological Institute. ISSN 2387-4201.

[5] DANDRIFOSSE, S., JAGO, A., MICHAUD, V., HUART, J. P., PLANCHON, V. and ROSILLON, D., 2024. Automatic Classification of Farmer's Weather Station Siting Based on Geodata. In: Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture. Springer, pp. 116–130. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70955-5_13

Hodnotenie výkonnosti metód kvantilového mapovania pri korekciách systematických chýb v regionálnych klimatických modeloch HIRHAM5 a RACMO22E na území Slovenska

Dominika Šadláková [1, 2]

[1]*Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, Slovenská republika, dominika.sadlakova@shmu.sk*

[2]*Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, 842 48 Bratislava, Slovenská republika*

1 Úvod

Výstupy regionálnych klimatických modelov (RCM) EURO-CORDEX sú základom regionálnych projekcií klímy, no sú zaťažené systematickými chybami, ktoré majú čiastočný pôvod v riadiacom globálnom modeli (Vautard et al., 2021). Preto sa pred použitím korigujú, často metódami kvantilového mapovania (QM), ktoré upravujú celé rozdelenie hodnôt (Cannon et al., 2015). Cieľom je posúdiť, ako empirické (EQM), empirické robustné (REQM) a kvantilové delta mapovanie (QDM) znižujú chyby dennej priemernej, maximálnej a minimálnej teploty (T_{pr}, T_{max}, T_{min}) modelov HIRHAM5 a RACMO22E.

2 Metodika práce

Do analýzy boli zaradené meteorologické stanice SHMÚ s úplnosťou denných údajov najmenej 90 % v období 1981 – 2023, z ktorých boli na základe metadát a Craddockovho testu (Craddock, 1979) vylúčené nehomogénne stanice. Referenčný súbor tvorilo 37 staníc (110 – 2 635 m n. m.). Výber RCM vychádzal z hodnotenia ansámblu EURO-CORDEX pre Česko (Meitner et al., 2023), ktoré je vzhľadom na podobné klimatické podmienky aplikovateľné aj na Slovensko. Modely HIRHAM5 a RACMO22E (riadiaci model MOHC-HadGEM2-ES) majú rozlíšenie 0,11° a poskytujú denné hodnoty T_{pr}, T_{max} a T_{min} pre scenáre RCP4.5 a RCP8.5. Každej stanici bol priradený najbližší gridový bod. Metóda EQM využíva empirické distribučné funkcie (Osuch et al., 2017), REQM odhaduje vzťah medzi kvantilmi lokálnou regresiou (Villani et al., 2015) a QDM navyše zachováva modelované zmeny kvantilov (Cannon et al., 2015). EQM a REQM dosahujú pri korekcii teploty dobré výsledky (Enayati et al., 2021) a kvantilové mapovanie je vhodné aj na korekciu extrémov dennej teploty (Thrasher et al., 2012). Korekčné funkcie boli odvodené pre obdobie 1981 – 2005 a vyhodnotené pomocou MAE, RMSE a MBE. Percentuálne zlepšenie sa vypočítalo podľa vzťahu $Z = (1 - E_{kor}/E_{mod}) \cdot 100$ %, kde E označuje MAE alebo RMSE korigovaných a nekorigovaných údajov.

3 Výsledky

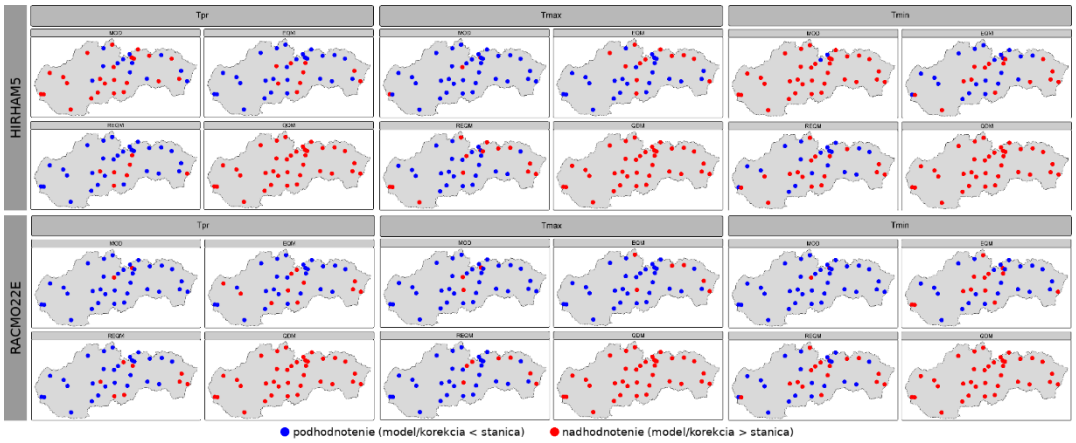
Všetky metódy znížili chyby pri oboch modeloch (tab. 1): pri HIRHAM5 klesli RMSE aj MAE o 11 – 14 %, pri RACMO22E o 4 – 9 %. Väčšie zlepšenie HIRHAM5 zodpovedá jeho výraznému studenému biasu nad strednou Európou (Vautard et al., 2021). Rozdiely medzi metódami sa prejavili až na druhom či treťom desatinnom mieste a zlepšenie bolo pre všetky rovnaké.

V zime, keď je chyba modelov najväčšia (RMSE T_{min} v januári 8,5 – 8,9 °C), korekcia znížila RMSE len o 0 až 11 % a v ojedinelých prípadoch chybu zvýšila o 1 %. Naopak, HIRHAM5 sa najviac zlepšil na jar (T_{min} v marci a apríli o 20 – 22 %) a RACMO22E v lete (T_{min} v júni o 21 %). V kotlinách severného Slovenska (Rabča, Oravská Lesná, Poprad) sa chyba T_{pr} a T_{min} takmer nezmenila. Najväčšie zlepšenie dosiahli vysokohorské stanice (Lomnický štít o 24 – 41 %, Chopok o 12 – 36 %). Pri T_{max} zlepšenie rástlo s nadmorskou výškou (Spearmanov $\rho = 0{,}49$ a $0{,}58$, $p < 0{,}01$), kdežto pri ostatných premenných sa korelácia nepotvrdila.

Rozloženie MBE (obr. 1) odhalilo rozdiel, ktorý súhrnné metriky nezachytili: kým po EQM a REQM bolo nad- a podhodnotenie priestorovo vyvážené, QDM viedla pri oboch modeloch a všetkých premenných k nadhodnoteniu na väčšine staníc, hoci v RMSE a MAE dosahovala porovnateľné až mierne lepšie výsledky.

Tabuľka 5: RMSE (°C) pred (MOD) a po korekcii a zlepšenie RMSE (%)

Model	Premenná	MOD	EQM	REQM	QDM	Zlepšenie (%)
RACMO22E	T_{pr}	5,73	5,53	5,52	5,52	4
RACMO22E	T_{max}	6,48	6,17	6,17	6,18	5
RACMO22E	T_{min}	6,36	5,92	5,92	5,91	7
HIRHAM5	T_{pr}	6,20	5,41	5,41	5,40	13
HIRHAM5	T_{max}	6,95	6,18	6,18	6,17	11
HIRHAM5	T_{min}	6,75	5,89	5,88	5,88	13



Obrázok 1: Smer priemernej chyby (MBE) počas rokov 1981 – 2005 pre T_{pr}, T_{max} a T_{min} na staniciach pred korekciou (MOD) a po korekcii metódami EQM, REQM a QDM pre modely HIRHAM5 (hore) a RACMO22E (dole).

4 Záver

Všetky tri metódy znížili chyby simulovanej teploty, výraznejšie pri HIRHAM5. Podľa RMSE a MAE sú rovnocenné, QDM však plošne nadhodnocuje teplotu, preto EQM a REQM považujeme za robustnejšiu voľbu. Efekt korekcie je najmenší v zime a v kotlinách, kde chyba pravdepodobne vyplýva z lokálnych javov (napr. inverzií). Výber metódy by sa nemal opierať len o súhrnné chybové metriky.

5 Literatúra

Cannon A. J., S. R. Sobie, T. Q. Murdock, 2015: *Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: How well do methods preserve changes in quantiles and extremes?* Journal of Climate, 28, 6938–6959.

Craddock J. M., 1979: *Methods of comparing annual rainfall records for climatic purposes.* Weather, 34, 332–345.

Enayati M., O. Bozorg-Haddad, J. Bazrafshan, S. Hejabi, X. Chu, 2021: *Bias correction capabilities of quantile mapping methods for rainfall and temperature variables.* Journal of Water and Climate Change, 12, 401–419.

Meitner J., P. Štěpánek, P. Skalák et al., 2023: *Validation and selection of a representative subset from the ensemble of EURO-CORDEX EUR11 regional climate model outputs for the Czech Republic.* Atmosphere, 14, 1442.

Osuch M., D. Lawrence, H. K. Meresa, J. J. Napiorkowski, R. J. Romanowicz, 2017: *Projected changes in flood indices in selected catchments in Poland in the 21st century.* Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 31, 2435–2457.

Thrasher B., E. P. Maurer, C. McKellar, P. B. Duffy, 2012: *Technical Note: Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping.* Hydrology and Earth System Sciences, 16, 3309–3314.

Vautard R., N. Kadygrov, C. Iles et al., 2021: *Evaluation of the large EURO-CORDEX regional climate model ensemble.* Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 126, e2019JD032344.

Villani V., G. Rianna, P. Mercogliano, A. L. Zollo, 2015: *Statistical approaches versus weather generator to downscale RCM outputs to slope scale for stability assessment: A comparison of performances.* Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 20, 1495–1515.

Vplyv nadmorskej výšky na výskyt silného vetra v podmienkach Slovenska

Mgr. Jozef Ševčík [1]

[1] *Slovenský hydrometeorologický ústav, Odbor Klimatologická služba, Jeséniova 2305/17 833 15 Bratislava, jozef.sevcik@shmu.sk*

1 Úvod

Rýchlosť a smer vetra sú ovplyvňované nielen atmosférickou cirkuláciou, ale aj geografickými podmienkami územia. Významnú úlohu zohráva nadmorská výška, tvar georeliéfu a jeho orientácia voči prevládajúcemu prúdeniu. V členitom reliéfe Slovenska môžu tieto faktory spôsobovať výrazné rozdiely vo veterných pomeroch aj medzi blízkymi lokalitami.

Cieľom práce je zhodnotiť vplyv vybraných geografických faktorov na výskyt silného vetra na Slovensku, predovšetkým vzťah medzi nadmorskou výškou a najvyššími zaznamenanými rýchlosťami vetra. Pozornosť je venovaná aj polohe staníc v reliéfe, smerovým charakteristikám vetra a poveternostným situáciám sprevádzajúcim jeho výskyt.

2 Metodika práce

Práca vychádza z údajov meteorologických staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) z rokov 1991 – 2025 a Horskej záchrannej služby (HZS) z rokov 2014 – 2023. Analyzované boli tri až šesť najvyšších zaznamenaných hodnôt 10-minútových priemerných rýchlostí a nárazov vetra na jednotlivých staniciach.

Jednotlivým udalostiam boli priradené typy poveternostných situácií. Vzťah medzi nadmorskou výškou staníc a najvyššími rýchlosťami vetra bol hodnotený regresnou analýzou. Stanice SHMÚ boli rozdelené na nížinné, kotlinové a horské, stanice HZS na dolinové, svahové a hrebeňové. Doplňujúcou analýzou bolo porovnanie desiatich dvojíc staníc SHMÚ s rozdielnymi nadmorskými výškami a vyhodnotenie smerových charakteristík pomocou veterných ružíc.

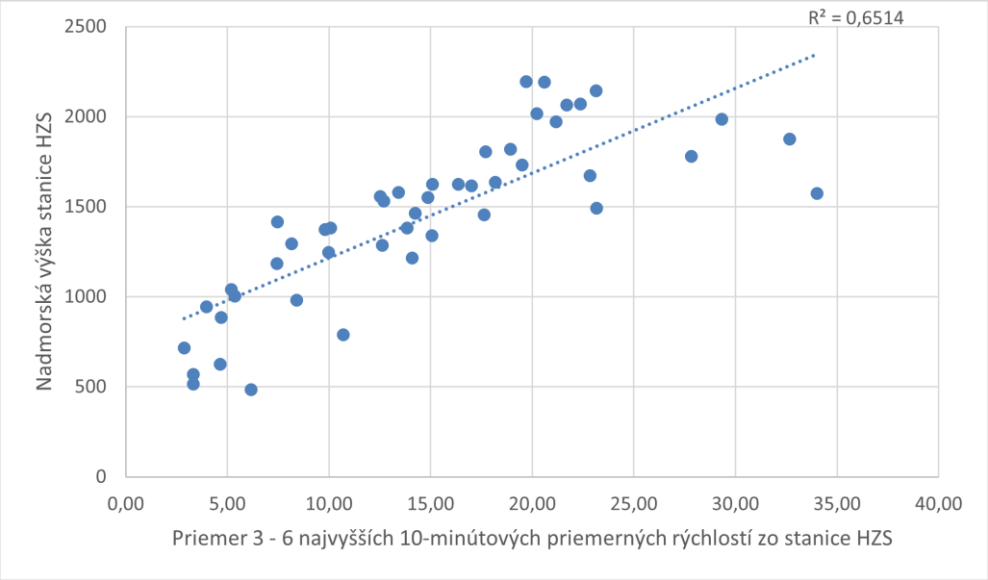
3 Výsledky

Pri udalostiach s najvyššími zaznamenanými rýchlosťami vetra výrazne prevládali cyklonálne poveternostné situácie, ktorých zastúpenie dosahovalo minimálne 81,59 %, v závislosti od toho, či išlo o maximálne nárazy alebo 10-minútové priemery, od obdobia a zdroja dát (HZS/SHMÚ). Najčastejšie išlo o západné (Wc), severozápadné (NWc) a severné (Nc) cyklonálne situácie.

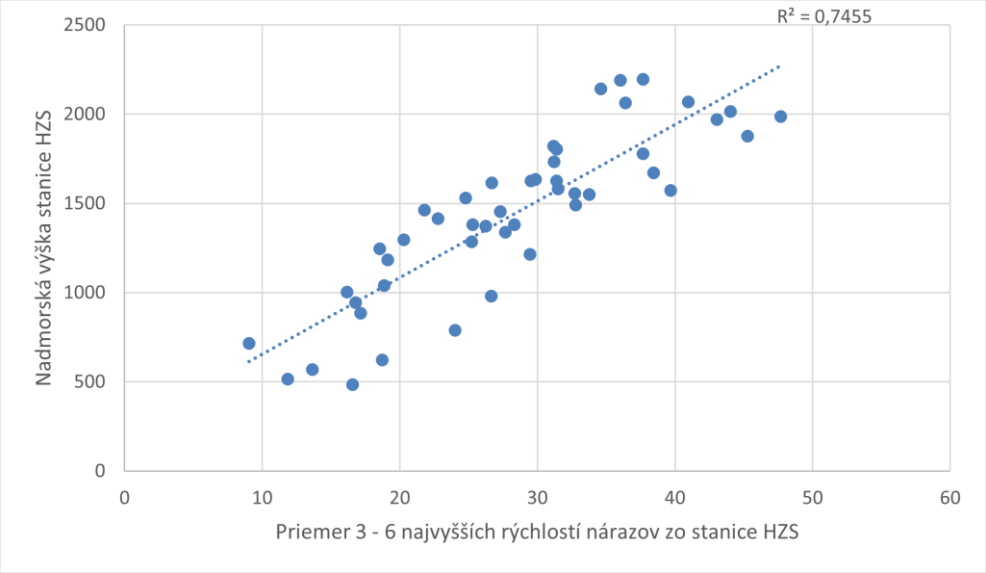
Regresná analýza preukázala významný vzťah medzi nadmorskou výškou a najvyššími rýchlosťami vetra. Pri spoločnom vyhodnotení údajov SHMÚ a HZS boli hodnoty koeficientu determinácie nízke (R^2 = 0,12 pri 10-minútových priemeroch a R^2 = 0,28 pri nárazoch), preto boli oba súbory analyzované samostatne.

Pri staniciach HZS dosiahlo R^2 hodnoty 0,65 pri 10-minútových priemeroch a 0,75 pri nárazoch (Obrázok 1, Obrázok 2). Najsilnejší vzťah bol zistený v dolinových polohách (R^2 = 0,90 a 0,89). Pri staniciach SHMÚ boli najvyššie hodnoty zaznamenané v horských polohách (R^2 = 0,76 a 0,79), zatiaľ čo v nížinách bol vzťah výrazne slabší (R^2 = 0,06 a 0,18).

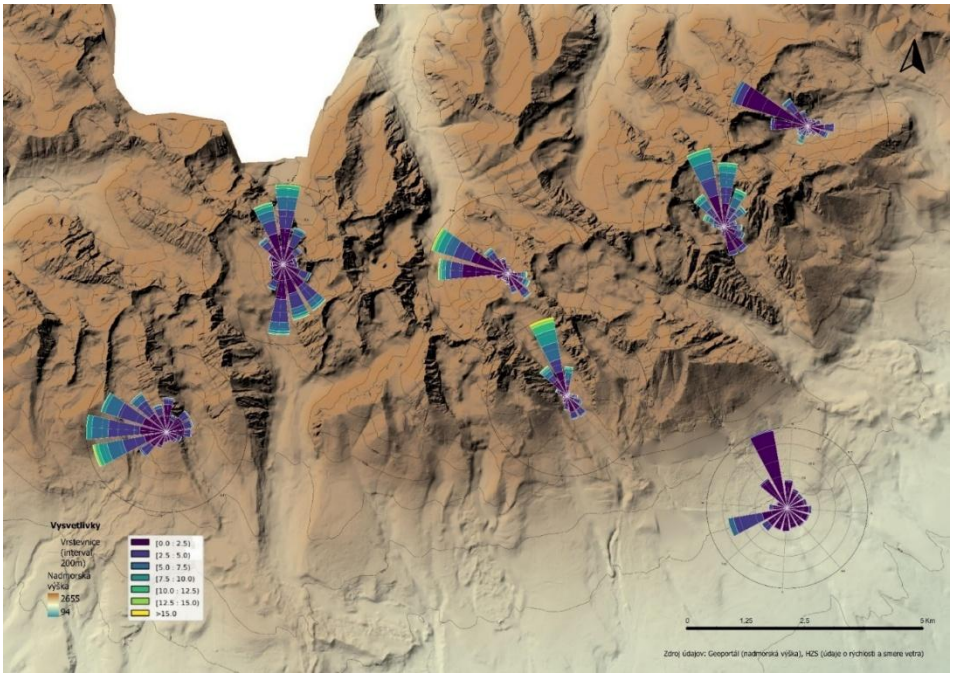
Porovnanie vybraných dvojíc staníc ukázalo, že vyššia nadmorská výška nemusí vždy znamenať vyššie rýchlosti vetra. Významnú úlohu môže zohrávať miestny reliéf, napríklad pri priesmykovom alebo padavom vetre. Analýza veterných ružíc (Obrázok 3, Obrázok 4) zároveň poukázala na usmerňovanie prúdenia dolinami a vplyv reliéfu na smer vetra v horských polohách.



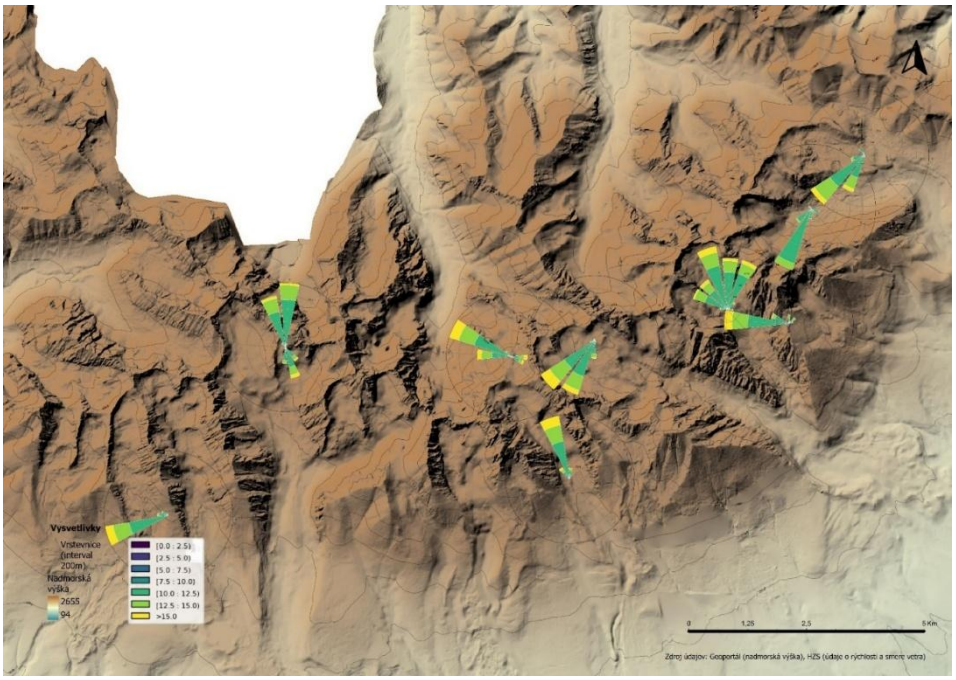
Obrázok 1 Graf korelácie medzi nadmorskou výškou meteorologických staníc HZS a priemerom 3 až 6 najvyšších nameraných hodnôt 10-minútových priemerných rýchlostí vetra za obdobie 2014-2023.



Obrázok 2 Graf korelácie medzi nadmorskou výškou meteorologických staníc HZS a priemerom 3 až 6 najvyšších nameraných hodnôt rýchlostí nárazov vetra za obdobie 2014-2023.



Obrázok 3: Rozloženie smerov vetra vo Vysokých Tatrách (lokality Solisko, Volia roveň, Zamrznuté pleso, Sliezsky dom, Téryho chata, Chata pri Zelenom plese a Starý Smokovec) v období 2014-2023



Obrázok 4: Rozloženie smerov vetra nad 10m/s vo Vysokých a Belianskych Tatrách (lokality Solisko, Volia Roveň, Zamrznuté pleso, Sliezsky dom, Ľadové pleso, Téryho chata, Lomnické sedlo, Chata pri Zelenom plese a Biele pleso) v období 2014-2023

4 Záver

Výsledky potvrdili význam nadmorskej výšky, tvaru a orientácie reliéfu pri výskyte silného vetra na Slovensku. Sila vzťahu medzi nadmorskou výškou a rýchlosťou vetra sa odlišovala podľa polohy staníc v reliéfe. Zároveň sa preukázala výrazná prevaha cyklonálnych poveternostných situácií pri výskyte najvyšších rýchlostí vetra. Pri hodnotení potenciálu výskytu silného vetra je preto potrebné zohľadňovať nielen nadmorskú výšku, ale aj miestne topografické podmienky a charakter atmosférickej cirkulácie. Výsledky môžu byť využiteľné pri ďalšom klimatologickom výskume a hodnotení rizík súvisiacich so silným vetrom.

5 Literatúra

DOBESCH, H. & KURY, G. 1997. Wind Atlas for the Central European countries Austria, Croatia, Czech Republic, Hungary, Slovak Republic and Slovenia. Wien: Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 16, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 105 s.

KONČEK, M. a kol., 1974: Klíma Tatier. Bratislava: Veda Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied.

OTRUBA, J. 1964. Veterné pomery na Slovensku. Bratislava: SAV, 1964. 284 s.

POLČÁK, N. & ŠŤASTNÝ, P. 2010. Vplyv reliéfu na veterné pomery Slovenskej republiky. Banská Bystrica: FPV UMB; Bratislava: SHMÚ, 2010. 132 s. ISBN 978-80-8083-993-2.

ŠOLTÍS, J. 1982. Prúdenie vzduchu na Slovensku. In: Zborník prác SHMÚ č. 19. Bratislava: Alfa, 1982.

Rozdiely koncentrácií PM_{10} na dvoch monitorovacích staniciach v Rovinke v súvislosti s veternými podmienkami a charakterom ich okolia

Paulína Varová

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniová 17, Bratislava, paulina.varova@shmu.sk

1 Úvod

Monitorovacie stanice vzdialené iba niekoľko stoviek metrov môžu vykazovať rozdielne koncentrácie PM_{10} v dôsledku odlišnej expozície miestnym zdrojom. Mobilná AMS SHMÚ v Rovinke je bližšie ku komunikáciám, parkovacím plochám a stravovacej prevádzke s grilovaním. Stanica Slovnaft sa nachádza na okraji obce v otvorenejšom prostredí, čiastočne oddelenom od okolitej zástavby vegetáciou a vzdialenejšom od intenzívnejšej miestnej dopravy. Poľnohospodárske plochy sa nachádzajú v okolí oboch staníc. Poľnohospodárske plochy sú v okolí oboch lokalít. Doprava môže prispievať k PM10 priamymi emisiami, opotrebovaním povrchov aj vírením usadeného prachu (Thorpe a Harrison, 2008). Veterná mobilizácia častíc závisí aj od vlastností a vlhkosti povrchu (Fécan et al., 1999; Kok et al., 2012).

Cieľom práce bolo porovnať koncentrácie PM10 na oboch staniciach a posúdiť, či rozdielna odozva na vietor a zrážky môže súvisieť s ich mikrolokalitou, dopravou a možnou resuspenziou. Pozorovaním rozdielov však nemožno priamo určiť podiel jednotlivých zdrojov.

2 Metodika práce

Hodnotené boli hodinové koncentrácie PM10, smer a rýchlosť vetra na staniciach Rovinka – mobilná AMS SHMÚ a Rovinka – Slovnaft v období 1. 1. – 27. 10. 2026 (SHMÚ, 2026a). Hodinové merania sa časovo spárovali a chýbajúce údaje sa vylúčili. Rozdiel bol definovaný ako $\Delta PM10 = PM10(SHMÚ) - PM10(Slovnaft)$. Denný priemer sa stanovil pri najmenej 18 platných hodinových pároch. Odber PM10 sa uskutočňuje vo výške 4,0 m na SHMÚ a 4,5 m na Slovnafte nad terénom.

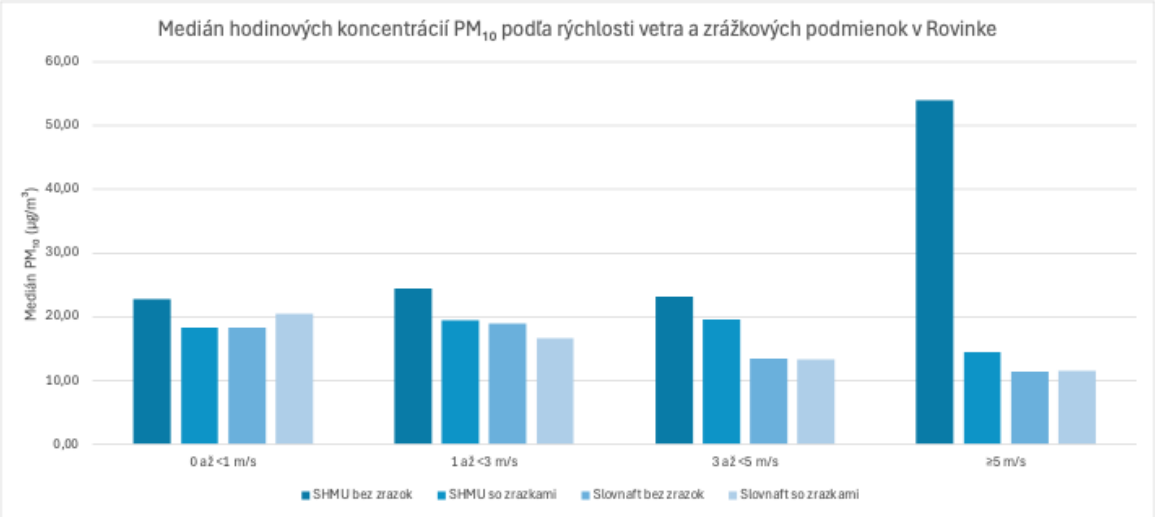
Mediány hodinových koncentrácií sa hodnotili v triedach rýchlosti vetra <1, 1 až <3, 3 až <5 a ≥5 m/s podľa merania každej stanice. Dni sa rozdelili podľa nulového alebo kladného úhrnu zrážok na stanici Bratislava-letisko (SHMÚ, 2026b). Veterné ružice zahŕňajú hodiny s rýchlosťou ≥0,5 m/s. Na overenie rozdielov v smerových charakteristikách vetra boli doplnkovo analyzované historické hodinové merania z obdobia 2020–2025. Hodnotenie vychádzalo z časovo spárovaných meraní oboch staníc, pričom sa porovnávali uhlové rozdiely zaznamenaných smerov vetra. Okolie lokalít sa posúdilo z ortofotosnímok.

3 Výsledky

Rozdiely PM_{10} sa menili v priebehu roka. Priemerný mesačný rozdiel SHMÚ − Slovnaft dosiahol v apríli 10,21 µg/m3, v máji 13,81 µg/m3 a v júni 15,69 µg/m3 (jún: iba 16 platných denných porovnaní). Počas dní bez zrážok bol priemerný denný rozdiel 6,71 µg/m3, pri úhrnoch nad 1 mm len 2,68 µg/m3.

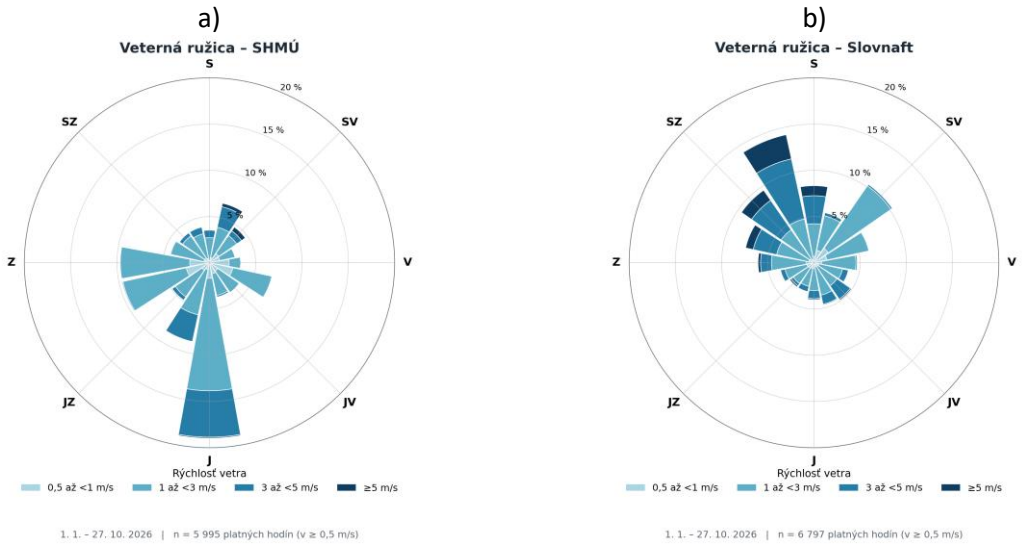
Najvýraznejší kontrast sa prejavil pri vetre ≥5 m/s (obr. 1). Na SHMÚ dosiahol medián hodinovej koncentrácie PM_{10} počas bezzrážkových dní 54,03 µg/m3 (n = 48 hodín), počas zrážkových dní 14,49 µg/m3 (n = 12). Na Slovnafte boli príslušné mediány 11,39 µg/m3 (n = 223) a 11,50 µg/m3 (n = 213).

V najvyššej triede rýchlosti vetra bolo zaznamenaných 60 platných hodinových pozorovaní na SHMÚ a 436 na Slovnafte. Zvýšené koncentrácie na SHMÚ sa prejavili najmä pri rýchlostiach ≥5 m/s, nie však rovnomerným nárastom vo všetkých rýchlostných triedach. Výsledky môžu naznačovať príspevok lokálnej resuspenzie, no nemožno vylúčiť ani vplyv dopravy a ďalších miestnych zdrojov. Interpretáciu navyše obmedzuje rozdielna početnosť a časový výskyt hodnotených situácií.



Obr. 1 Medián hodinových koncentrácií PM_{10} podľa rýchlosti vetra a výskytu denných zrážok na staniciach SHMÚ a Slovnaft v Rovinke (2026).

Okrem rýchlosti vetra boli porovnané aj jeho smerové charakteristiky, ktoré môžu ovplyvňovať transport znečisťujúcich látok z okolitých zdrojov. Veterné ružice za rok 2026 poukázali na výrazne odlišné rozdelenie zaznamenaných smerov vetra medzi stanicami (Obr.2). Na SHMÚ prevládali južné smery, zatiaľ čo na Slovnafte severozápadné až severné. Medián uhlového rozdielu súbežných hodinových meraní dosiahol 155,1°. Historická analýza však ukázala, že rozdiel nebol počas celého obdobia rovnaký. V rokoch 2020–2022 dosahoval medián približne 14–18°, v roku 2024 sa zvýšil na 50,8° a v dostupných údajoch za rok 2025 predstavoval 160,8°. Výrazná zmena naznačuje možný vplyv nastavenia orientácie snímača alebo spracovania smerových údajov. Bez technického overenia preto nemožno tieto rozdiely jednoznačne pripisovať charakteru okolia staníc ani použiť na identifikáciu zdrojových oblastí.



Obr. 2 Veterné ružice staníc Rovinka – SHMÚ (a) a Rovinka – Slovnaft (b) za obdobie 1. 1. – 27. 10. 2026. Relatívna frekvencia smerov v triedach rýchlosti vetra ≥0,5 m/s.

4 Záver

Porovnanie dvoch blízkych monitorovacích staníc v Rovinke poukázalo na rozdiely koncentrácií PM10 a ich odlišnú súvislosť s veternými a zrážkovými podmienkami. Na stanici SHMÚ sa pri vyšších

rýchlostiach vetra počas bezzrážkových dní prejavili výraznejšie koncentrácie, čo môže súvisieť s lokálnou resuspenziou prachu, dopravou a ďalšími zdrojmi v jej bezprostrednom okolí. Historická analýza smeru vetra zároveň odhalila výraznú zmenu vzájomnej zhody meraní, ktorá naznačuje potrebu technického overenia smerových snímačov. Výsledky tak zdôrazňujú význam lokálnej expozície staníc, ale aj kvality meteorologických údajov pri interpretácii zdrojov znečistenia.

5 Literatúra

Fécan F., Marticorena B., Bergametti G. (1999): Parametrization of the increase of the aeolian erosion threshold wind friction velocity due to soil moisture for arid and semi-arid areas. Annales Geophysicae 17, 149–157. doi:10.1007/s00585-999-0149-7.

Kok J. F., Parteli E. J. R., Michaels T. I., Bou Karam D. (2012): The physics of wind-blown sand and dust. Reports on Progress in Physics 75, 106901. doi:10.1088/0034-4885/75/10/106901.

Thorpe A., Harrison R. M. (2008): Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review. Science of the Total Environment 400, 270–282. doi:10.1016/j.scitotenv.2008.06.007.

SHMÚ (2020–2025): Historické hodinové údaje o smere vetra na staniciach Rovinka – mobilná AMS SHMÚ a Rovinka – Slovnaft, dátové exporty systému CASPER.

SHMÚ (2026a): Hodinové údaje o PM_{10}, smere a rýchlosti vetra na staniciach Rovinka – mobilná AMS a Rovinka – Slovnaft, export systému CASPER.

SHMÚ (2026b): Hodinové meteorologické údaje zo stanice Bratislava-letisko, poskytnutý dátový súbor.

III. Sekcia mladých vodohospodárov

Hydrodynamic Modelling of an Urban Catchment Using MIKE+

Raghad Awad[1]

[1]Department of Sanitary and Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Radlinského 2766/11, 810 05 Bratislava, Slovakia

1 Introduction

Kysucké Nové Mesto (about 14,800 inhabitants) lies on the right bank of the Kysuca River in the Žilina region of northern Slovakia, roughly 10 km north of Žilina, and covers an urbanised catchment of about 2,640 ha. The town is served by a combined sewer network with seven combined sewer overflow (CSO) chambers, OK1–OK7, discharging into the Kysuca River and its tributary, the Žeriavka stream, during rainfall. The existing sewer master plan was developed using classical rational design methods, which rely on simplified rainfall statistics and a single critical-flow condition and therefore cannot represent unsteady flow, backwater or surcharge. Anticipated urban growth along the D3 motorway corridor, together with stricter statutory requirements for CSO discharges under Government Regulation No. 269/2010 Coll., created a need for an updated, quantitatively defensible assessment of the network. A Detailed MIKE+ hydrodynamic model of the network was modelled on behalf of the water utility Severoslovenské vodárne a kanalizácie, a.s. (SEVAK), with the aim of assessing current network capacity, verifying compliance of the CSO chambers with the statutory minimum dilution ratio, identifying hydraulic bottlenecks, and testing the feasibility of connecting additional, currently unsewered settlements to the system.

2 Methodology

Because no usable local records of rainfall, sewer water level or flow existed prior to the study, a dedicated field monitoring campaign was carried out, combining tipping-bucket rain gauges, continuous water-level loggers at six manhole sites, pressure-probe level sensors at five further sites, electromagnetic/Doppler flow meters at two key cross-sections, WWTP inflow/outflow SCADA records, and Kysuca river-stage data supplied by the Slovak Hydrometeorological Institute (SHMÚ). These data were used to model and calibrate a fully distributed MIKE+ model of the network (34,371 m of pipework and 7 CSO chambers), constructed directly from surveyed GIS data without schematization, so that every pipe, manhole, weir and CSO chamber is represented individually (Figure 1). MIKE+ couples a rainfall–runoff module, driven by a spatially distributed imperviousness coefficient derived from GIS land-use and cadastral data (ranging from about 15% in peripheral green areas to over 40% in the dense town center), with an unsteady hydrodynamic pipe-flow module that solves the full Saint-Venant equations and can therefore represent backwater and pressurized (surcharged) flow — conditions the network's original rational-method design could not capture. Dry-weather flow was first matched against billing and metering data, after which the model was calibrated against one measured storm event and verified against an independent event (Figure 2, left). Current-state network capacity was then assessed under a two-year return-period, 15-minute design storm (160 l/s per hectare), evaluating maximum flow, percentage pipe filling and manhole water levels relative to ground level. For each CSO chamber, the mean dry-weather flow (Q24), the critical overflow flow (Qcrit) and the resulting dilution ratio were computed and compared with the statutory minimum of 1:4 set out in §6(3)–(4) of Government Regulation No. 269/2010 Coll. Two future-development outlooks were additionally modelled by adding the projected wastewater loads of neighboring settlements to the calibrated base model, with WWTP inflow capped at its design value of 316 l/s: Outlook 1 connects the localities of Vyšné Kamence and Rovné, while Outlook 2 combines this connection with the recommended upsizing of the identified overloaded pipe sections.

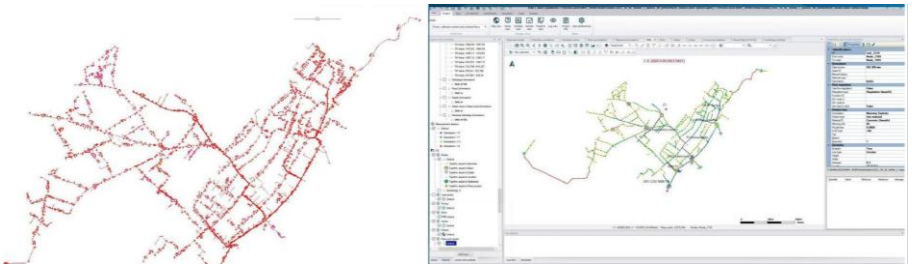


Figure 1: Sewer network layout (left) and the detailed MIKE+ hydrodynamic model built from surveyed GIS data (right).

3 Results

The calibrated model reproduced the monitored rainfall, level and flow behavior of the network to a satisfactory degree and was judged representative of its real hydraulic performance. Under the two-year design storm, the simulated maximum pipe filling confirmed that most of the network has adequate capacity, but five specific sections were identified as hydraulically undersized and repeatedly surcharged (filling above 100%): Dúbie–Dubská cesta (DN 300 mm), the pipe between CSO chambers OK1 and OK2 (DN 600 mm), the section in the fields above the WWTP (DN 300 mm, also affected by leaking manhole bases), Cesta do Rudiny–Clementisova (DN 500/400 mm), and Športová ulica, which showed a milder overload (Figure 2, right). All seven CSO chambers meet the statutory minimum dilution ratio of 1:4 under current conditions, with one exception: OK1, located at the WWTP, reaches only 1:2.2 because the plant's hydraulic inflow capacity currently limits admissible flow to 83 l/s; a reconstruction of the WWTP, including a new, compliant CSO chamber, is already in preparation. Chambers OK5 and OK7, discharging to the Žeriavka stream, show dilution ratios far above the statutory minimum (1:302 and 1:341, respectively) as a result of very low dry-weather flow, meaning a disproportionately large share of flow bypasses treatment during rainfall. A 100 mm sediment deposit was also recorded in chamber OK4, for which CCTV inspection and cleaning were recommended. Table 1 summarizes the dilution ratios of all seven chambers under the current state and under both future-development outlooks: because Outlook 2 includes the recommended pipe upsizing and weir adjustments at OK1–OK4, it raises their dilution ratios to between 1:4.5 and 1:9.8, comfortably meeting the statutory minimum, while chambers OK5–OK7 remain unaffected by the proposed new connections. A period of sustained, low-intensity rainfall also showed sewer flows continuing to rise for several days after rainfall had ended, tracking the rising level of the Kysuca River rather than rainfall intensity — clear evidence of substantial groundwater infiltration/inflow into the network.

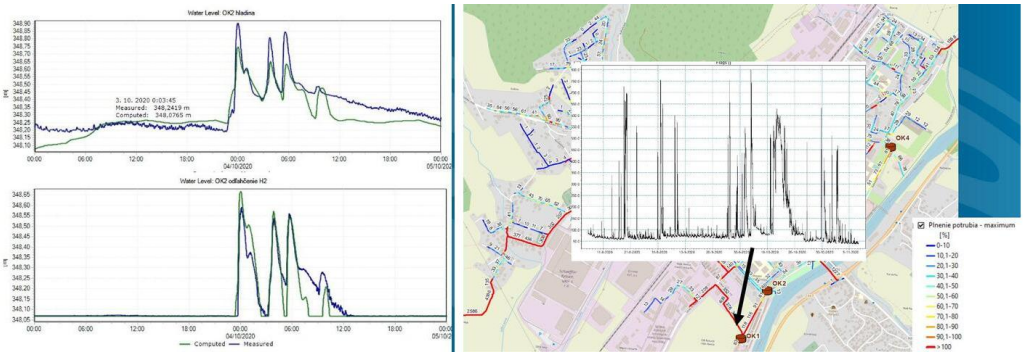


Figure 2: Model calibration at OK2 (left) and simulated maximum pipe filling under the design storm, with CSO chambers indicated (right).

Table 1: Dilution ratios of the CSO chambers – current state and future development outlooks

CSO	Q24 current [l/s]	Q24 outlook [l/s]	Qcrit [l/s]	Ratio – current	Ratio – Outlook 1	Ratio – Outlook 2
OK1	26.1	30.45	83	1:2.2	1:1.7	1:9.0
OK2	22.5	26.85	117.6	1:4.2	1:3.4	1:9.8
OK3	17.98	22.33	197.8	1:10.0	1:7.9	1:7.9
OK4	13.85	18.2	100	1:6.2	1:4.5	1:4.5
OK5	0.21	0.21	63.7	1:302.3	1:302.3	1:302.3

OK6	1.15	1.15	82.6	1:70.8	1:70.8	1:70.8
OK7	0.34	0.34	116.1	1:340.5	1:340.5	1:340.5

4 Conclusion

A detailed, calibrated MIKE+ hydrodynamic model provided a reliable, spatially explicit basis for quantifying the real behavior of the Kysucké Nové Mesto combined sewer system , something the network's original rational-method design could not offer. The assessment showed the network to be fundamentally sound, with five localised capacity bottlenecks, one CSO chamber constrained by downstream WWTP capacity, and measurable groundwater infiltration. Targeted pipe upsizing and CSO weir adjustments were proposed at six locations: enlarging pipe diameters between OK1 and OK2 (DN 600 to DN 800 mm) and at three further sections (DN 300 to DN 500/600 mm, DN 400 to DN 800 mm), raising the overflow-weir crest at OK6, and correcting an adverse pipe gradient in one section. Low-cost DN 150 mm throttling inserts were also recommended at OK5, OK6 and OK7 to cut peak downstream outflow from more than 60–116 l/s to about 14 l/s at each chamber. These localised interventions, rather than a full network reconstruction, were shown to bring all CSO chambers into compliance with the statutory 1:4 dilution ratio and to keep both future-development outlooks feasible within the WWTP's 316 l/s design capacity, giving SEVAK, a.s. a validated, reusable planning tool for future investment.

5 References

DHI Slovakia, s.r.o.: SKK – Kysucké Nové Mesto – Hydraulic Calculation and Assessment of the Combined Sewer System. Technical report, prepared for BIDOR, s.r.o. and Severoslovenské vodárne a kanalizácie, a.s. (SEVAK).

Awad, R.: SKK – Kysucké Nové Mesto – Hydraulic Assessment and Reconstruction of the Sewer System. Project presentation, DHI Slovakia, s.r.o.

Government of the Slovak Republic: Government Regulation No. 269/2010 Coll., laying down requirements for the achievement of good water status.

DHI: MIKE+ – User Guide. DHI A/S, Hørsholm, Denmark.

Acknowledgement

This work was supported by the Young Researchers Support Program of the Slovak University of Technology in Bratislava under Project No. 1648, 'Use of QGIS for the Calculation of the Blue-Green Factor and the Evaluation of Environmental Qualities of Urbanised Areas,' and by the Scientific Grant Agency of the Ministry of Education, Research, Development and Youth of the Slovak Republic and the Slovak Academy of Sciences (VEGA) under Project No. 1/0682/23. This article is also part of the first author's doctoral dissertation entitled 'Green Infrastructure Impact Modelling on Water Management in Urban Areas,' conducted at the Department of Sanitary and Environmental Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava.

Hodnotenie kvality mestského prostredia s využitím environmentálnych indikátorov

Ing. Jana Ihnátová

Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 810 05, Bratislava, SR, jana.ihnatova@stuba.sk

1 Úvod

Mestá koncentrujú obyvateľstvo, dopravu a hospodárske aktivity, a preto sú miestom kumulácie viacerých environmentálnych záťaží súčasne. Znečistenie ovzdušia, hluk z dopravy, zapečatenie pôdy a nedostatok verejnej zelene pôsobia na zdravie obyvateľov kombinovane (WHO, 2016; WHO, 2021). Bežná prax však tieto zložky hodnotí oddelene v súlade s rezortnou legislatívou, napríklad smernicou 2002/49/ES o environmentálnom hluku. Samosprávam tak chýba nástroj na porovnanie jednotlivých častí mesta z hľadiska celkovej environmentálnej kvality. Medzinárodné inštitúcie síce rozvíjajú indikátorové systémy pre mestské prostredie (EEA, 2020), ich prenos do podmienok slovenských miest a integrácia do jedného priestorovo diferencovaného hodnotenia však zostávajú otvorenou otázkou. Cieľom príspevku je navrhnúť metodický rámec integrovaného hodnotenia kvality mestského prostredia, ktorý spája environmentálne indikátory, priestorové analýzy a multikriteriálne hodnotenie do kompozitného indexu.

2 Metodika práce

Východiskom bola literárna rešerš a analýza indikátorových systémov používaných v medzinárodnej a národnej praxi (WHO, EEA, OECD, Eurostat, SAŽP). Potenciálne indikátory boli posudzované podľa štyroch kritérií: vzťahu k zdraviu obyvateľstva a udržateľnosti, dostupnosti dát v podmienkach SR, priestorovej rozlíšiteľnosti na a možnosti pravidelnej aktualizácie.

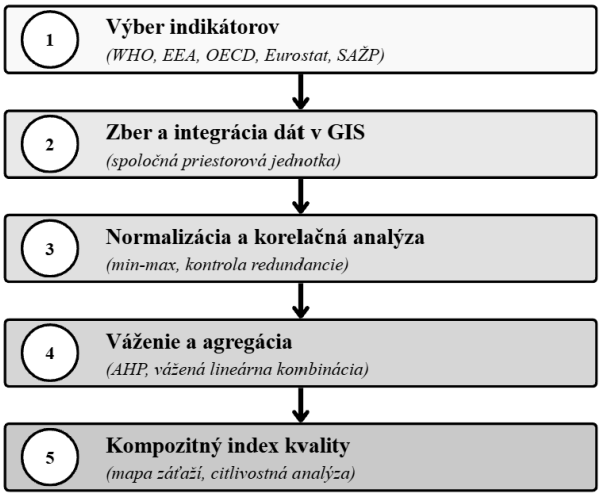
Postup konštrukcie kompozitného indexu vychádza z odporúčaní OECD a JRC (2008). Dáta sa v GIS prevedú na spoločnú priestorovú jednotku, napríklad pravidelnú sieť štvorcov alebo urbanistické obvody, a normalizujú metódou min-max tak, aby vyššia hodnota znamenala lepšiu kvalitu prostredia. Spearmanova korelačná analýza slúži na odhalenie redundantných indikátorov. Váhy sa stanovia metódou analytického hierarchického procesu (Saaty, 1980) na základe expertného hodnotenia. Indikátory sa následne agregujú váženou lineárnou kombináciou, v súlade s prístupmi GIS multikriteriálneho hodnotenia (Malczewski, 2006). Robustnosť výsledného indexu sa overuje citlivostnou analýzou s alternatívnymi váhovými schémami.

3 Výsledky

Výsledkom je päťkrokový metodický rámec (Obrázok 1) a navrhovaný súbor indikátorov pokrývajúci šesť zložiek mestského prostredia (Tabuľka 1).

Tabuľka 1: Navrhovaný súbor indikátorov integrovaného hodnotenia

Zložka	Indikátor	Zdroj dát	Vplyv
Ovzdušie	Priemerná ročná koncentrácia $PM_{2,5}$ a NO_2 (µg/m³)	SHMÚ	−
Hluk	Podiel obyvateľov exponovaných $L_{den} \geq 55$ dB (%)	strategické hlukové mapy	−
Voda	Ekologický a chemický stav útvarov povrchových vôd	SHMÚ, VÚVH	+
Pôda	Miera zapečatenia povrchu (%)	Copernicus Imperviousness	−
Pôda	Výskyt environmentálnych záťaží	Register environmentálnych záťaží	−
Zeleň	Podiel obyvateľov s verejnou zeleňou do 300 m (%)	Urban Atlas, OpenStreetMap	+
Verejné priestory	Dostupnosť a rozloha verejných priestranstiev	územnoplánovacie podklady	+



Obrázok 1: Schéma navrhnutého metodického rámca integrovaného hodnotenia kvality mestského prostredia (vlastné spracovanie).

Rámec umožňuje prejsť od oddeleného hodnotenia jednotlivých zložiek prostredia k priestorovo diferencovanému pohľadu na ich súhrnnú kvalitu. Pri jeho uplatnení sa očakávajú tri hlavné metodické výzvy. Prvou je heterogenita dátových zdrojov, keďže bodové merania kvality ovzdušia je potrebné interpolovať a spojiť s plošnými dátami. Druhou je subjektivita váženia, ktorú má zmierniť citlivostná analýza. Treťou je kompenzačný charakter lineárnej agregácie, pri ktorej môže priaznivá hodnota jedného indikátora prekryť závažnú záťaž v inom.

4 Záver

Príspevok predstavil metodický rámec integrovaného hodnotenia kvality mestského prostredia založený na environmentálnych indikátoroch, priestorových analýzach v GIS a multikriteriálnom hodnotení. Stanovený cieľ bol splnený návrhom súboru indikátorov aplikovateľného v podmienkach SR a postupu konštrukcie kompozitného indexu. V ďalšej etape bude rámec overený na modelovom území s cieľom identifikovať hlavné environmentálne záťaže a rozvojové potenciály územia a formulovať odporúčania pre samosprávu.

5 Literatúra

EEA, 2020: *Environmental noise in Europe – 2020.* EEA Report No 22/2019. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Malczewski J., 2006: *GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature.* International Journal of Geographical Information Science, 20, 703-726.

OECD, JRC, 2008: *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide.* OECD Publishing, Paris.

Saaty T.L., 1980: *The Analytic Hierarchy Process.* McGraw-Hill, New York.

Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2002/49/ES z 25. júna 2002 o posudzovaní a riadení environmentálneho hluku. Úradný vestník ES, L 189.

WHO Regional Office for Europe, 2016: *Urban green spaces and health: a review of evidence.* WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.

WHO, 2021: *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.* World Health Organization, Geneva.

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu VV-MVP-240180 a VEGA 1/0682/23.

Integrované hydrodynamické modelovanie vodozádržných opatrení v urbanizovanom území

Samuel Klimík

Katedra Zdravotného a environmentálneho inžinierstva, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlisnkého, č.11, 810 05, Bratislava, Slovensko, samuel.klimik@stuba.sk

1 Úvod

Urbanizácia a rastúci podiel nepriepustných plôch a povrchov urýchľujú tvorbu povrchového odtoku a zvyšujú hydraulické zaťaženie stokových sietí počas intenzívnych zrážok. V jednotlivých stokových sústavách môže preťaženie viesť k zaplavovaniu územia a k riziku znečistenia recipientov. Prístupy LID, WSUD a SuDS preto zdôrazňujú zachytávanie, zadržiavanie a využívanie zrážkovej vody v mieste jej dopadu. Cieľom práce bolo analzyovať existujúcu stokovú sieť, identifikovať kritické úseky a pomocou hydrodznamického modelu vyhodnotiť úččinosť umiestneia zelených vegetačných striech pri navrhovaných zrážkach.

2 Metodika práce

Riešeným územím je lokalita Záhumenice v Bratislavskej mestskej časti Rača. Záujmová lokalita je vymedzená ulicami Púchovská, Pri vinohradoch a Detvianska. Územie je charakteristické zmiešanou obytnou zástavbou, občianskou vybavenosťou a mierne členitým terénom. Analyyovaná sieť má celkovú dĺžku 9 417 m, 196 kanaliyačných šácht a potrubia od DN 100 až DN 800 mm z PVC, kameniny, betónu a železobetónu.

V prostredí DHI MIKE+ bol zostavený jednorozmerný hydrodynamický model stokovej siete. Vstupnými údajmi boli geometria a hydraulické parametre potrubí, charakteristiky čiastkových potrubí, využitie územia, odtokové koeficienty priradené povrchom a návrhové blokové dažde. Pre výpočet splaškového odtoku sa uvažovalo s približným počtom obyvateľov na úrovni 7500 a špecifická spotreba vody je 135 $l.os.^{-1}.d^{-1}$. Na základe modelu boli vyhodnocované prietoky, tlakové zaťaženie, plnenie a zaplavovanie potrubí a rozdiely po zavedení opatrení, ktorými bolo umiestnenie zelených striech.

Celkovo boli v modely zrealizované 4 zaťažovacie stavy: ZS01 – bezdažďový stav (7 dní); ZS02 – návrhový dážď s periodicitou P = 0,2 (4 dni); ZS03 – návrhový dážď s P = 0,5 (4dni); ZS04 – rovnaký dážď ako ZS03, avšak s implementáciou retenčných zelených striech (4 dni). Účinnosť opatrenia bola stanové porovnaním scenárov ZS03 a ZS04.

Tabuľka 6: Prehľad jednotlivých zaťažovacích stavov

Zaťažovací stav	**Charakteristika**	**Špecifická spotreba vody**	**Trvanie simulácie**	**Max. prietok**
		[$l.os^{-1}.d^{-1}$]	**[dni]**	**[m^3/s]**
ZS 01	Bezdažďový prietok	135	7 dní	0,0163
ZS 02	Dažďový a bezdažďový prietok (P = 0,2)	135	4 dni	1,0145
ZS 03	Dažďový a bezdažďový prietok (P = 0,5)	135	4 dni	0,8702
ZS 04	Dažďový a bezdažďový prietok (P = 0,5) a adaptačné opatrenia	135	4 dni	0,7633

3 Výsledky

Model potvrdil výrazný nárast prietokov a lokálne hydraulické preťaženie stokovej siete pri návrhových dažďoch. Najväčšie problémy sa prejavili v úsekoch s vysokým podielom nepriepustných povrchov a obmedzenou retenčnou schopnosťou povodia. V bezdažďovom stave mal splaškový odtok typické ranné a večerné maximá.

Po zavedení retenčných zelených striech klesli prietoky vo všetkých sledovaných úsekoch, s najvýraznejším účinkom v úseku S01. Priemerné zníženie hydraulického zaťaženia siete dosiahlo 9,11%. Počet úsekov s plnením a tlakovým režimom sa znížil o 21% a počet zaplavovaných úsekov približne o 12%. Maximálny simulovaný prietok pri porovnateľnom daždi P = 0,5, poklesol z 0,8702 na 0,7633 m^3/s, teda približne o 12,3%. Najvyšší maximálny prietok zo všetkých simulácií bol dosiahnutý pri ZS02 a to 1,00145 m^3/s.

Tabuľka 2: Stanovenie účinností adaptačných opatrení

Úsek	ZS03		ZS04		Účinnosť opatrenia η [%]	Priemerná činnosť opatrenia η [%]
	Prietok [m^3/s]	Prietok [l/s]	Prietok [m^3/s]	Prietok [l/s]		
S01	0,8702	870,2	0,7633	763,3	12,28	9,11
S02	0,7983	798,3	0,7072	707,2	11,41	
S03	0,6183	618,3	0,554	554,0	10,40	
S04	0,5072	507,2	0,4741	474,1	6,52	
S05	0,3454	345,4	0,3316	331,6	4,00	
S06	0,2241	224,1	0,2016	201,6	10,04	

4 Záver

Výsledky ukazujú, že retenčné zelené strechy môžu účinne obmedziť odtok zrážkovej vody do stokovej siete a znížiť riziko jej hydraulického preťaženia. Hydraulické modelovanie zároveň umožňuje lokalizovať kritické úseky a vytvára podklady pre plánovanie modro-zelenej infraštruktúry a rozhodovanie samospráv. Obmedzením výskumu je absencia verifikácie modelu meraním. Ďalší postup by mal zahŕňať monitoring zrážok a prietokov, kalibráciu modelu a posúdenie ďalších retenčných a vsakovacích opatrení.

5 Literatúra

WESSOLEK, Gerd. Sealing of soils. In: MOREL, Jean L., HOUOT, Sabine a LÉVY, Jean-François, eds. *Urban soils*. Dordrecht: Springer, 2008. ISBN 978-1-4020-9030-1

MARSALEK, J. a kol. Urban Water Cycle Processes and Interactions. In: MARSALEK, J., STANCALIE, G. a BALINT, G., eds. *Transboundary Floods: Reducing Risks Through Flood Management*. Dordrecht: Springer, 2006. ISBN 978-1-4020-4902-1.

BIHÚŇOVÁ, Mária, HALAJOVÁ, Denisa, KALETOVÁ, Tatiana, TÓTH, Attila, KOLLÁR, Ján, HILLOVÁ, Dagmar a DOBRUCKÁ, Anna. *Zelená infraštruktúra urbanizovaného prostredia – nové prístupy v tvorbe s ohľadom na adaptačné opatrenia na zmenu klímy*. Nitra: Vydavateľstvo SPU, 2022. ISBN 978-80-552-2433-5

RUSNÁK, Dušan. *Významnosť okrajových podmienok hydraulického posudzovania stôk*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, 2018. ISBN 978-80-227-4861-2

6 Poďakovanie

Tento príspevok vznikol v rámci projektu“ Analýza vplyvu adaptačných a technických opatrení v urbanizovaných územiach pri extrémnych prevádzkových podmienkach na stokových sieťach „ ktorý bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja SR na základe zmluvy č.VV – MVP – 24 – 0180.

.

Integrovaný prístup k ochrane pôdy pred eróziou a k úprave odtokových pomerov v oblasti Kunov

Ing. Dominik Marek

Katedra ZEI, Stavebná fakulta, STU, Radlinského 2766/11,810 05, Staré Mesto, Bratislava, Slovenská republika, dominik.marek@stuba.sk

1 Úvod

Environmentálny kontext a ciele:
Pôdna erózia a prívalové bahenné povodne predstavujú akútny vodohospodársky a environmentálny problém Myjavskej pahorkatiny. Vplyvom historického sceľovania pozemkov, zániku terás a absencie líniových prvkov na dlhých svahoch dochádza k masívnemu zmyvu pôdy. Záujmové územie (82,44 km²; kataster Senica a Sobotište) leží na členitom podloží, charakteristickým vysokou erodovateľnosťou (priemerný ročný úhrn zrážok 600–650 mm, priemerná teplota 9,5 °C).

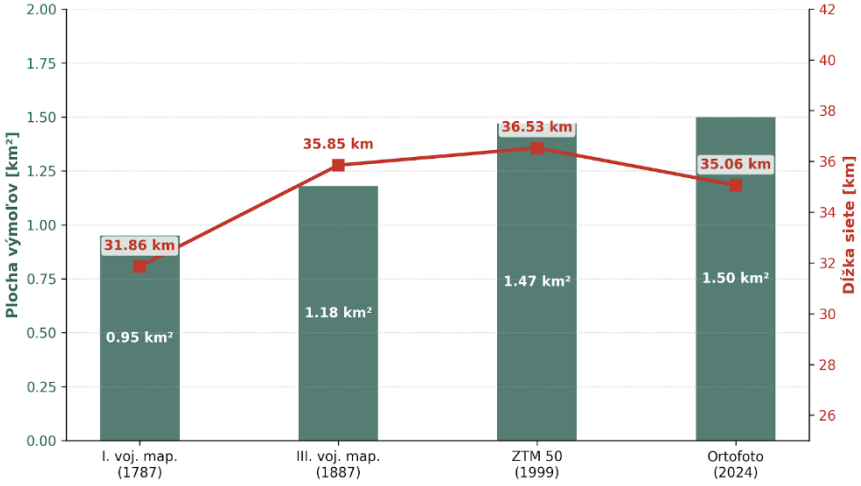
Cieľom práce je analýza odtokových a eróznych procesov a návrh stabilizačných biotechnických opatrení v lokalitách Havlova strž a svahu na ornej pôde v oblasti Kunov.

2 Metodika práce

Metodický rámec a modely: Výskum prebiehal v prostredí QGIS (GRASS, SAGA, systém S-JTSK) prepojením troch postupov: 1. Hydrologická analýza reliéfu (DMR 10×10 m) cez Fill Sinks, Flow Direction D8 a Flow Accumulation na identifikáciu dráh sústredeného toku. 2. Modelovanie USLE 2D s prípustným limitom 4 $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$, kde R = 79,0 (SHMÚ Senica; Onderka a Pecho), K = 0,40 (Alena), LS = 0,064–87,0 (Moore), P = 0,80 a C = 0,10–0,60 (reálny osev 2025). 3. Metóda SCS-CN pre 100-ročný dážď (H_z = 28 mm, stanica Myjava, skupina B, CN = 86), z ktorej vyšla retencia A = 41,35 mm, strata I_a = 8,27 mm, priamy odtok H_o = 7,34 mm a doba koncentrácie t_c = 41,1 min (odtok po svahu: 360 m / 28,6 min; odtok v koryte: 840 m / 12,5 min). 4. Stanovenie kritickej dĺžky svahu L_k podľa Dýrovej a Holého (1988).

3 Výsledky

Dynamika územia: Vektorizácia historických máp (1787–2024) na ploche 82,44 km² potvrdila rast plochy výmoľov z 0,95 na 1,50 km² (+57 %), no dĺžka siete klesla z 36,53 na 35,06 km (útlm hĺbkovej a prevaha bočnej erózie). Havlova strž sa skrátila z 950 na 750 m (-21,1 %) pri ploche 2,95 ha. Kritickým bodom je jej zaústenie do potrubia DN 800 mm, kde vzniká hydraulické vzdutie a zaplavovanie dvorov v Kunove. USLE 2D potvrdila extrémny zmyv 10–20 $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ na parcelách s kukuricou (C = 0,60) a repou (C = 0,44).

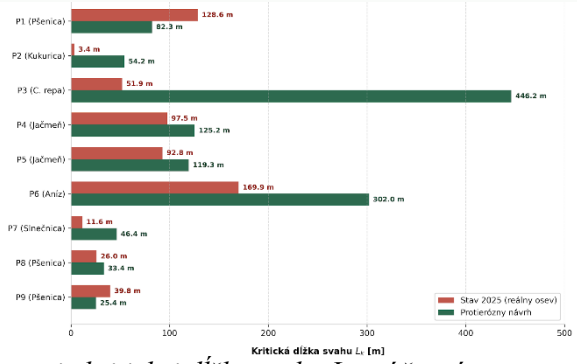


Obrázok 1:Vývoj celkovej plochy a dĺžky siete eróznych výmoľov (1787 – 2024)

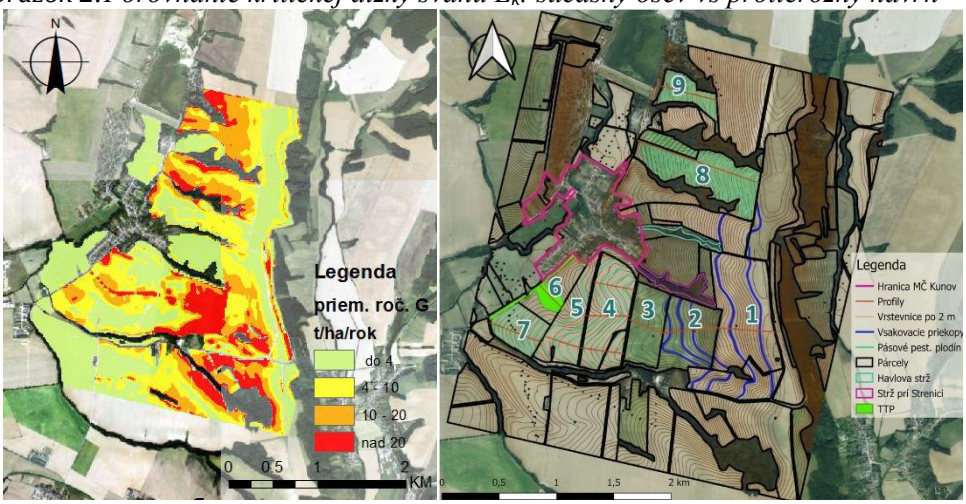
Analýza profilov a kritická dĺžka svahu L_k: Na svahu v oblasti Kunov bolo v 9 profiloch vypočítané akútne erózne ohrozenie pri oseve kukurice a repy. Pre elimináciu bahenných povodní bol navrhnutý komplex agrotechnických a biotechnických prvkov:

Tabuľka 7: Charakteristika profilov a navrhnuté protierózne opatrenia

Profil	Sklon	Dĺžka	Plodina 2025	L_k (2025)	L_k (návrh)	Navrhnuté protierózne a stabilizačné opatrenie
P1	5,8 %	494 m	Pšenica (0,12)	128,6 m	**82,3 m**	Vsakovacia priekopa so zarazenou hrádzkou na záchyt odtoku.
P2	6,8 %	481 m	**Kukurica (0,60)**	**3,4 m**	**54,2 m**	Vylúčenie kukurice, pásové pestovanie plodín, vsak. priekopa.
P3	2,7 %	276 m	Cukrová repa (0,44)	51,9 m	**446,2 m**	Nahradenie širokoriadkových plodín hustosiatymi plodinami
P4	4,9 %	334 m	Jačmeň (0,17)	97,5 m	**125,2 m**	Trvalé zatrávnenie (TTP) efemérneho výmoľa.
P5	5,0 %	248 m	Jačmeň (0,17)	92,8 m	**119,3 m**	Zatrávnenie depresie a vrstevnicová orba.
P6	3,3 %	265 m	Aníz (0,20)	169,9 m	**302,0 m**	Pásové pestovanie na rozčlenenie dĺžky svahu.
P7	7,2 %	266 m	**Slnečnica (0,30)**	**11,6 m**	**46,4 m**	Vsakovací priekopa a nárazníkový TTP nad cintorínom.
P8	8,1 %	1121 m	Pšenica (0,17)	26,0 m	**33,4 m**	Sústava vsakovacích priekop na temene svahu.
P9	8,9 %	513 m	Pšenica (0,12)	39,8 m	**25,4 m**	Vsakovacia priekopa nad záhlavím strží.



Obrázok 2:Porovnanie kritickej dĺžky svahu L_k: súčasný osev vs protierózny návrh



Obrázok 3: Mapa priemernej ročnej straty pôdy G a mapa návrhu protieróznych opatrení

4 Záver

Technické stavby bez zmeny hospodárenia neposkytujú ochranu pred bahennými povodňami. Nevyhnutný je integrovaný systém: 1) náhrada širokoriadkových plodín úzkoriadkovými na svahoch > 5 %, 2) pásové pestovanie plodín a vrstevnicová orba, 3) zatrávnenie (TTP) efemérnych rýh, 4) vsakovacie priekopy a pásy nad zástavbou a 5) rekonštrukcia vtoku DN 800 v Havlovej strži.

5 Literatúra

Onderka M. and J.Pecho, 2023: Digital atlas of rainfall design intensities in Slovakia. Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava.

Dýrová, M., 1988: Protierózna ochrana poľnohospodárskej pôdy. Praha: Státní zemědělské nakladatelství

Holý M., 1978: Protierozní ochrany. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha.

Zachar D., 1970: Erózia pôdy. Vydavateľstvo SAV, Bratislava.

Moore I.D., R.B.Grayson and A.R.Ladson, 1991: Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. Hydrological Processes, 5(1), 3–30.

Alena, F., 1991: *Protierózna ochrana na ornej pôde. Metodická pomôcka.*

Vplyv retenčnej kapacity na modelovanú vodnú bilanciu extenzívnej vegetačnej strechy

Jozef Olašák[1], Štěpánka Horáčková[2]

[1]*Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 2766/11, 810 05 Bratislava, Slovensko, jozef.olasak@stuba.sk*

[2]*Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331, 602 00 Brno, Česko, chomova@vutbr.cz*

1 Úvod

Vegetačné strechy zadržiavajú časť dažďovej vody priamo na budove a môžu tak znížiť jej odtok. Ich účinok závisí od retenčnej kapacity, rozdelenia zrážok v čase a vysychania medzi dažďami (Stovin a kol., 2013). Rovnaké mesačné množstvo zrážok preto nemusí viesť k rovnakému odtoku. Pri hodnotení treba tiež rozlíšiť vodu, ktorá sa vyparila, od zmeny zásoby vody v streche.

Cieľom tejto štúdie je porovnať vodnú bilanciu extenzívnej vegetačnej strechy pri troch retenčných kapacitách. Hodinový model využíva merania stanice *Bratislava–Koliba* za dva letné mesiace s podobnými zrážkovými úhrnmi. Štúdia hodnotí zníženie modelovaného odtoku pri zvýšení kapacity a podiel vyššieho výparu a väčšieho prírastku zásoby vody na tejto zmene.

2 Metodika práce

Výpočet využíval merania meteorologickej stanice *Bratislava–Koliba*, číslo 11813 podľa Svetovej meteorologickej organizácie (WMO). Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ, 2026) poskytol hodinové zrážky cez hydrologický informačný systém povodia Dunaja (DanubeHIS) a denné teploty cez portál OpenData. Pre úplnosť údajov sa hodnotil júl–august 2025. Simulácia zahŕňala aj 03.–30. jún na vývoj zásoby vody. Údaje sa nedopĺňali. Pri prevádzkových zrážkach nebola doložená kontrola kvality; časové značky Europe/Bratislava sa nemenili.

Evapotranspirácia zahŕňa výpar z povrchu aj výdaj vody rastlinami. Jej referenčná hodnota ET_0 opisuje štandardný trávnatý povrch pri dostatku vody. Denná ET_0 sa odhadla Hargreavesovou rovnicou (Allen a kol., 1998, rovnica 52) z denných teplotných miním a maxím a žiarenia na hornej hranici atmosféry pre 48,1686° severnej šírky. Žiarenie v megajouloch na štvorcový meter za deň sa prepočítalo na milimetre vody faktorom 0,408. Teplotné extrémy za 21–21 hodín miestneho stredného slnečného času sa priradili označenému civilnému dňu. Denná ET_0 sa rovnomerne rozdelila do 24 hodín.

Zjednodušený model extenzívnej strechy bez závlahy bol vytvorený v Pythone s knižnicami NumPy a pandas na výpočty a Matplotlib na grafy. Kapacita C je najväčšia zásoba dostupná pre evapotranspiráciu. Hodnota 20 mm vychádza z príkladu s 80 mm substrátom (Stovin a kol., 2013); 10 mm a 40 mm sú polovičný a dvojnásobný variant bez konkrétnej skladby. Množstvá vody sú vyjadrené v milimetroch (mm): 1 mm znamená 1 liter na štvorcový meter. Každú hodinu sa k zásobe S pridala zrážka P a prebytok nad C odtiekol ako Q. Zo zvyšnej zásoby W sa odobrala modelovaná evapotranspirácia E:

$$Q_t = \max(0;\, S_{t-1} + P_t - C), \quad W_t = \min(C;\, S_{t-1} + P_t),$$

$$E_t = W_t\,[1 - \exp(-\frac{k\,ET_{0,t}}{C})], \quad S_t = W_t - E_t.$$

Index t označuje aktuálnu hodinu, $t-1$ predchádzajúcu. Funkcie max a min vyberajú väčšiu a menšiu hodnotu; exp je exponenciálna funkcia. Bezrozmerný koeficient k násobí ET_0. Základ bol $k = 1$; hodnoty 0,7 a 1,3 menili ET_0 o ±30 %. Ide o zvolené varianty, nie interval spoľahlivosti. Pomer S/C vyjadruje naplnenie zásobníka a ovplyvňuje vysychanie. Výpočet 3. júna začínal pri $S = 0{,}5C$; medzi mesiacmi sa zásoba prenášala.

Vodnú bilanciu vyjadruje $\Sigma P = \Sigma Q + \Sigma E + \Delta S$. Znak Σ znamená súčet za hodnotené obdobie; ΔS je konečná zásoba mínus počiatočná. Podiel zrážok, ktoré neodtiekli, je $R = 100(1 - \Sigma Q/\Sigma P)$ v percentách. Zahŕňa vyparenú vodu aj čistú zmenu zásoby, nie iba vodu zostávajúcu na streche.

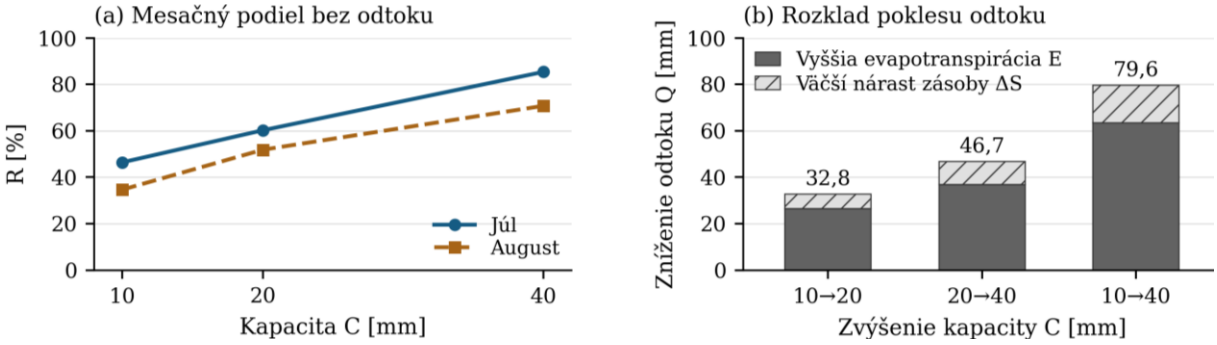
3 Výsledky a diskusia

V júli spadlo 106,11 mm zrážok počas 91 hodín, v auguste 105,95 mm počas 48 hodín. Hodinové maximá boli 8,03 a 33,68 mm; odhad ET_0 dosiahol 151,68 a 133,21 mm. Pri C = 20 mm neodtieklo 60,2 % júlových a 51,8 % augustových zrážok *(Obrázok 1 a)*. Vplyv priebehu zrážok a predchádzajúcej vlhkosti substrátu opisujú Olašák a Palko (2026). V tejto štúdii neboli ich účinky oddelené od výparu.

Tabuľka 1: Vodná bilancia za júl–august pri k = 1; spolu spadlo 212,06 mm zrážok.

C [mm]	Q [mm]	E [mm]	ΔS [mm]	R [%]	R pri k = 0,7–1,3 [%]
10	126,1	78,1	7,9	40,5	36,6–43,3
20	93,3	104,6	14,2	56,0	51,0–59,1
40	46,5	141,5	24,0	78,1	68,3–83,8

Zvýšenie C z 10 na 40 mm znížilo odtok o 41,3 mm v júli a 38,2 mm v auguste. Z celkových 79,6 mm pripadlo 63,4 mm na vyššiu evapotranspiráciu a 16,1 mm (20,3 %) na väčší prírastok zásoby *(Obrázok 1 b)*. Každý pridaný milimeter kapacity znížil dvojmesačný odtok pri zmene C z 10 na 20 mm priemerne o 3,28 mm, pri zmene z 20 na 40 mm o 2,34 mm.



Obrázok 1: (a) Podiel zrážok bez odtoku; (b) rozdelenie zníženia odtoku za oba mesiace; k = 1.

Zmena k najviac ovplyvnila výsledok pri C = 40 mm: R bolo 68,3–83,8 % *(Tabuľka 1)*. Pri všetkých troch k vyššia kapacita znížila odtok, no účinok na pridaný milimeter klesal. Pri k = 1 zmena počiatočnej zásoby od prázdnej po plnú vytvorila rozpätie R do 0,15 percentuálneho bodu. Rozdelenie ET_0 podľa výšky Slnka zmenilo R oproti základu do 1,50 bodu a časový posun ET_0 o ±3 hodiny do 0,22 bodu.

4 Záver

Výsledky modelovania vegetačnej strechy ukázali, že pri k = 1 zvýšenie kapacity z 10 na 40 mm zvýšilo dvojmesačný podiel zrážok bez odtoku zo 40,5 na 78,1 %. Priemerný účinok na pridaný milimeter kapacity však klesal. Na väčší prírastok zásoby pripadlo 20,3 % zníženia odtoku, zvyšok na vyššiu evapotranspiráciu. Prínosom tejto štúdie je rozlíšenie týchto dvoch zložiek vodnej bilancie, vďaka čomu možno lepšie vysvetliť, ako jednotlivé varianty vegetačnej strechy hospodárili so zrážkovou vodou.
Výsledky závisia od odhadu výparu a platia pre zvolený simulačný model vegetačnej strechy a dva letné mesiace v *Bratislave–Kolibe*. Keďže model vegetačnej strechy nebol experimentálne overený meraným odtokom, slúžia na porovnanie variantov, nie na určenie najvhodnejšej skladby či najvyšších prietokov.

5 Literatúra

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998: *Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.* FAO, Rome.

Olašák, J., Palko, M., 2026: *Urban hydrological change and green roofs as source-control measures for stormwater management.* Les Ulis: EDP Sciences , 421, 04001. doi:10.1051/matecconf/202642104001.

SHMÚ, 2026: Bratislava–Koliba, WMO 11813. *Hodinové zrážky*: https://www.danubehis.org/results/SK11813_METEO; *Denné teploty*: https://opendata.shmu.sk/meteorology/climate/recent/data/daily/ [prevzaté 10. 10. 2026].

Stovin, V., Poë, S., Berretta, C., 2013: *A modelling study of long term green roof retention performance.* Journal of Environmental Management, 131, 206–215. doi:10.1016/j.jenvman.2013.09.026.

Revitalizácia koryta Teplice v Senici a priľahlého územia

Ing. Filip Šponiar [1]

[1]*Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta, Slovenská Technická Univerzita, Radlinského 2766/11, 810 05, Bratislava, Slovensko, filip.sponiar@stuba.sk*

1 Úvod

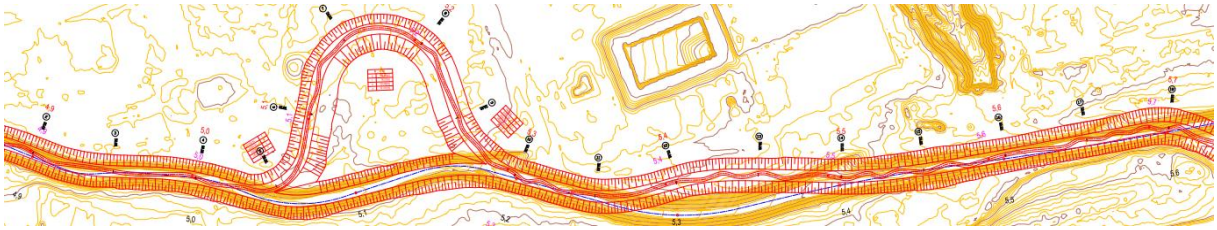
Mestské vodné toky čelia dlhodobej degradácii v dôsledku technických regulácií, znečistenia a narušenia prirodzenej konektivity, čo sa prejavuje ako tzv. syndróm mestských vodných tokov (*urban river syndrome*). Potreba revitalizácie degradovaných vodných tokov vychádza najmä z aktuálnych výziev, akými sú zhoršujúci sa globálny stav ekosystémov a potreba adaptácie mestského prostredia na zmenu klímy. Predmetom príspevku je úsek rieky Teplica v intraviláne mesta Senica (rkm 4,47–6,35), ktorý je podľa Rámcovej smernice o vode klasifikovaný ako výrazne zmenený vodný útvar (HMWB – heavily modified water body) s celkovým ekologickým potenciálom v triede 4 (zlý). Súčasné koryto je opevnené betónovo-vegetačnými tvárnicami a výrazne zahĺbené. Na riešenom úseku sa nachádzajú tri priečne stupne, ktoré pôsobia ako migračné bariéry. Cieľom príspevku je vypracovať koncepčný návrh komplexnej revitalizácie koryta a priľahlého územia. Návrh spája hydromorfologickú obnovu, podporu biodiverzity a zvýšenie rekreačnej a pobytovej kvality mestského parku pri zachovaní požadovanej úrovne protipovodňovej ochrany.

2 Metodika práce

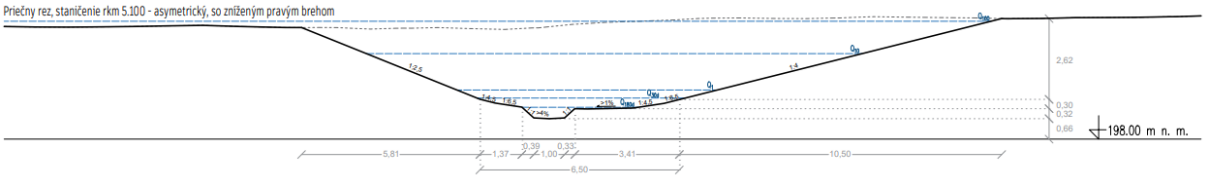
Metodický postup vychádza z analýzy abiotických, biologických, historických a územnoplánovacích podkladov. Využili sa hydrologické údaje SHMÚ zo stanice Teplica – Kunov v podobe návrhových prietokov a hydrogramu povodňovej vlny. V rámci projektu ReBioClim sa uskutočnili biologické prieskumy makrozoobentosu a ichtyofauny, na základe ktorých boli navrhnuté opatrenia na zlepšenie ich stavu. Základným podkladom bol digitálny model reliéfu, ktorý sa v softvéri Autodesk Civil 3D doplnil o podrobné geodetické zameranie mestského parku a 18 priečnych profilov zameraných v teréne pomocou GNSS. Hydraulické vlastnosti koryta a podmienky prúdenia boli posúdené pomocou 2D hydrodynamického modelovania v softvéri HEC-RAS. Simulácie zahŕňali ustálené prúdenie pre bežné n-denné prietoky Q_{330d} až Q_{30d} a neustálené prúdenie pre povodňové vlny pre N-ročné prietoky Q_{10} a Q_{100}.

3 Výsledky

Návrh nahrádza napriamenú trasu oblúkovitým trasovaním a koryto je koncipované zloženým priečnym profilom, ktorý pozostáva zo sústredenej kynetky a bermy. V mestskom parku je navrhnuté paralelné koryto, ktoré je sprietočňované pri vyšších vodných stavoch cez rozdeľovací objekt. Pri nižších prietokoch sa v ňom vytvárajú podmienky pre mokraďový biotop a pri povodňových prietokoch slúži na odľahčenie hlavného koryta. Navrhnuté je odstránenie troch priečnych stupňov a pre lokálnu stabilizáciu brehov sú odporúčané prírode blízke druhy brehového opevnenia. 2D hydraulické modelovanie ukázalo zvýšenie variability hĺbok a rýchlostí pri bežných prietokoch. Lokálne sú navrhnuté tône s hĺbkou vody až 50 cm pri prietoku Q_{330d}, ktoré vytvárajú vhodné biotopy pre ichtyofaunu. V návrhu sú zahrnuté aj protipovodňové opatrenia, ako je zemná hrádza a úpravy výšky súčasných brehových línií, ktorých cieľom je ochrana urbanizovaného prostredia prostredníctvom odklonenia časti prietoku na plochy ornej pôdy a transformácie povodňovej vlny. Pre lepšiu integráciu vodného toku do mestského prostredia je spracovaný krajinársky koncept zahŕňajúci návrh využitia riečneho koridoru, smerovanie a materiály chodníkov v mestskom parku, náučný chodník a odporúčania pre výsadbu autochtónnych lužných drevín.



Obrázok 1:Situácia návrhu, časť mestský park



Obrázok 2:Vzorový priečny rez

4 Záver

Príspevok predkladá koncepčný návrh komplexnej revitalizácie mestského toku Teplica v Senici. Výsledky hydrodynamického modelovania ukazujú, že navrhované opatrenia zvyšujú variabilitu hĺbok a rýchlostí prúdenia pri bežných prietokoch, čím vytvárajú predpoklady pre zlepšenie podmienok pre makrozoobentos a ichtyofaunu, a to pri zachovaní protipovodňovej ochrany zastavaného územia. Návrh zároveň zvyšuje pobytový potenciál mestského parku a slúži ako podklad pre nadväzujúce stupne projektovej dokumentácie a pre územnoplánovacie procesy.

5 Literatúra

HOLUBOVÁ, Katarína, Andrej ŠKRINÁR, EMÍLIA MIŠÍKOVÁ ELEXOVÁ, Fedor ČIAMPOR, Peter BALÁŽI, Maroš KUBALA a Katarína MRAVCOVÁ, 2023. *Metodická príručka postupov pre revitalizácie vodných tokov*. jún 2023. Bratislava: Výskumný ústav vodného hospodárstva.

MAKOVINSKÁ, Jarmila, MIŠÍKOVÁ ELEXOVÁ, Emília, BALÁŽI, Peter, KOVÁČ, Vladimír, ŠČERBÁKOVÁ, Soňa, PLACHÁ, Mária, LEŠŤÁKOVÁ, Margita, FIDLEROVÁ, Dana, HOLUBOVÁ, Katarína, VELEGOVÁ, Vladimíra, MELOVÁ, Katarína, 2021. Monitorovanie a hodnotenie vodných útvarov povrchových vôd Slovenska, VÚVH Bratislava, 2021, ISBN 978-80-89740-31-4.

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu Interreg ReBioClim CE0200754.

Modelování řízeného zaplavování lokality Soutok modelem HEC-RAS

Kryštof Valenta [1,2]

[1]*České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra vodního hospodářství krajiny, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, Česká republika, krystof.valenta@fsv.cvut.cz*

[2]*Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6, Česká republika*

1 Úvod

Lužní lesy CHKO Soutok jsou závislé na periodických rozlivech a na podzemní vodě, která jim ve vegetačním období kryje polovinu až tři čtvrtiny evapotranspirace (Čermák et al., 2001). Úpravy toků a výstavba poldru Soutok v 70. a 80. letech 20. století však nivu od řek oddělily a hladina podzemní vody klesla přibližně o 1 m (Havlíček, 2025).

Přirozené rozlivy má částečně nahradit řízené povodňování. Nový klapkový jez Pohansko na Dyji bude při průtocích 30–70 m³/s dvakrát ročně na 3–10 dní vzdouvat hladinu tak, aby nápustný objekt Pohansko převáděl vodu do poldru (VH atelier, 2021). Cílem příspěvku je tyto rozlivy simulovat 2D modelem HEC-RAS a vyhodnotit jejich rozsah a efektivitu (Valenta, 2026).

2 Metodika práce

Model (37,57 km²) zahrnuje úsek Dyje s jezem a nápustným objektem Pohansko a severní část poldru. Rozliv byl počítán metodou Diffusion Wave se subgrid bathymetry (HEC, 2026) nad DMT 0,5 m z dat LLS (letecké laserové skenování) ČÚZK. Dna tůní, ramen a koryt, která LLS nezachycuje, byla dopočítána v ArcGIS Pro mocninnou funkcí vzdálenosti od břehu (max. hloubka 2,0–3,5 m). Drsnost vychází z využití území (ZABAGED), síť má v korytě Dyje buňky 2 × 5 m a v poldru 10 m (868 tis. buněk).

Objekty byly zadány podle manipulačního řádu, výpusti poldru jako uzavřené. Řešeno bylo pět průtoků v Dyji (S1–S5: Q_{150} = 30,0; Q_{120} = 34,2; Q_{90} = 42,2; Q_{60} = 55,8 a 70,0 m³/s) a doby zavodňování 3, 5, 7 a 10 dní. Rastry hladin a hloubek z RAS Mapperu byly vyhodnoceny v ArcGIS Pro (zatopená plocha A, objem V, efektivita $\Delta A/\Delta V$).

3 Výsledky

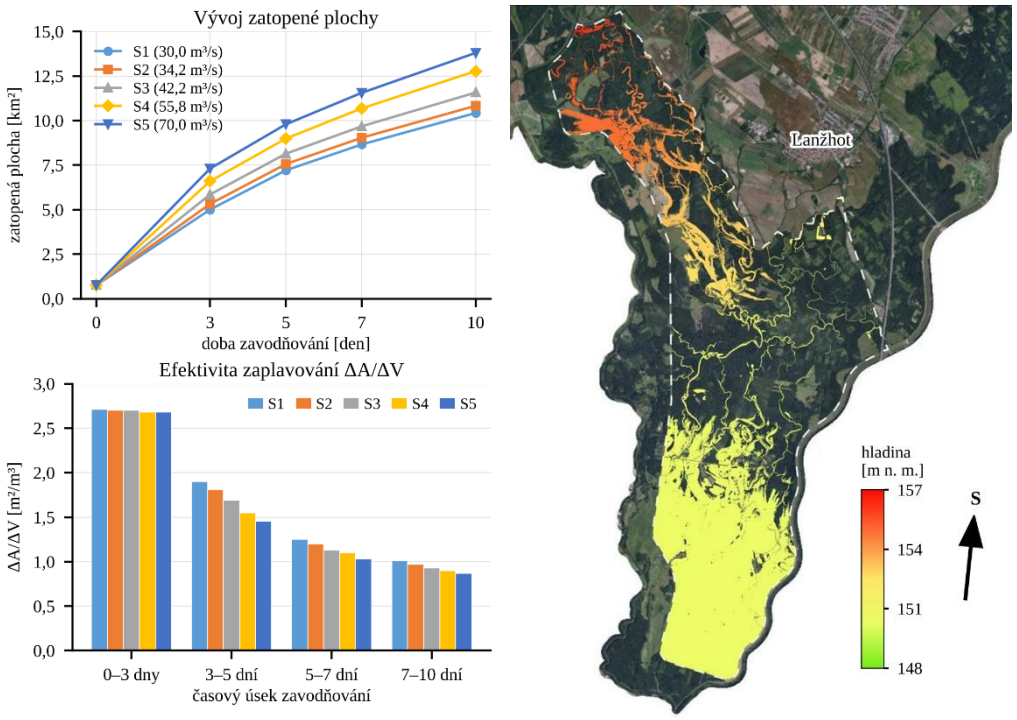
Tab. 1 uvádí průtok v Dyji Q, ustálený přítok do poldru podle 2D modelu (Q_P 2D) a podle projektového 1D výpočtu (Q_P 1D; VH atelier, 2021) a dále pro stav po 3 a po 10 dnech zatopenou plochu A, objem vody V a efektivitu zaplavování $\Delta A/\Delta V$ v posledním časovém úseku (0–3, resp. 7–10 dní); poslední řádek porovnává krajní scénáře. Průtok v Dyji je u S5 o 133 % vyšší než u S1, přítok do poldru však jen o 46 % (v projektu o 49 %), protože většinu vody převede jez. 2D model zároveň dává o 30–33 % nižší přítok než projekt, neboť průtok nápustným objektem omezuje dolní voda, kterou 1D výpočet nezohledňoval. Po 3 dnech roste zatopená plocha úměrně přítoku (+46 %) a efektivita je ve všech scénářích téměř shodná (asi 2,7 m²/m³). Po 10 dnech je plocha větší už jen o 32 %, zatímco objem o 43 %, a efektivita S5 je o 14 % nižší než u S1. Další voda tedy spíše prohlubuje již zatopené deprese, než aby zaplavovala nové plochy.

Časový průběh zaplavování ukazují grafy na obr. 1 vlevo. Zatopená plocha nejrychleji přibývá v prvních 3 dnech, poté se přírůstek zpomaluje (vlevo nahoře). Efektivita s časem klesá ve všech scénářích, nejrychleji u vyšších průtoků – v úseku 3–5 dní činí 1,90 m²/m³ u S1, ale jen 1,45 m²/m³ u S5 – a po 10 dnech se blíží 1 m²/m³ (vlevo dole).

Prostorové rozložení zátopy ukazuje mapa na obr. 1 vpravo: voda se nerozlévá rovnoměrně. Nejprve zaplní ramena a deprese v severozápadní části poldru u Pohanska a Lán, střední částí území převážně protéká sítí ramen a na jihu u uzavřených výpustí postupně plní retenční prostor se stoupající hladinou. Vyšší průtok zvětšuje zátopu na jihu i na severozápadě.

Tabulka 1: Charakteristiky rozlivu v jednotlivých scénářích

Scénář	Q [m³/s]	Q_P 2D [m³/s]	Q_P 1D [m³/s]	A_3 [km²]	V_3 [mil. m³]	ΔA/ΔV 0–3 d [m²/m³]	A_{10} [km²]	V_{10} [mil. m³]	ΔA/ΔV 7–10 d [m²/m³]
S1	30,0	4,89	7,00	5,00	2,46	2,71	10,43	6,53	1,01
S2	34,2	5,20	7,53	5,32	2,57	2,70	10,83	6,90	0,97
S3	42,2	5,67	8,42	5,85	2,77	2,70	11,57	7,53	0,93
S4	55,8	6,46	9,49	6,60	3,06	2,68	12,77	8,46	0,90
S5	70,0	7,12	10,43	7,31	3,33	2,68	13,80	9,33	0,87
S5 vs. S1	+133 %	+46 %	+49 %	+46 %	+36 %	−1 %	+32 %	+43 %	−14 %



Obrázek 1: Vlevo zatopená plocha a efektivita ΔA/ΔV, vpravo hladina při S5 po 10 dnech (© ČÚZK).

4 Závěr

Řízená manipulace na jezu Pohansko zaplaví v poldru Soutok během 10 dní 10–14 km², rozliv je však soustředěn do severozápadní a jižní části poldru. Vyšší průtoky zaplaví území rychleji a ve větším rozsahu, s rostoucím objemem ale klesá plocha zatopená jedním m³ vody. Další práce se zaměří na kalibraci podle první skutečné manipulace a propojení modelu s infiltrací a podzemní vodou.

5 Literatura

Čermák J., J. Kučera, A. Prax, E. Bednářová, F. Tatarinov and V. Nadyezhdin, 2001: *Long-term course of transpiration in a floodplain forest in southern Moravia associated with changes of underground water table.* Ekológia (Bratislava), 20, 92–115

Havlíček T., 2025: *Vodohospodářské úpravy jižní Moravy z 70. a 80. let 20. století a CHKO Soutok – co dál?* Vodní hospodářství, 2025(11), 10–15

HEC, 2026: *HEC-RAS 2D Technical Reference Manual – Diffusion-Wave Equation Solver; Subgrid Bathymetry.* U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center [online]

Valenta K., 2026: *Modelování řízeného zaplavování lokality Soutok modelem HEC-RAS.* Diplomová práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební

VH atelier, 2021: *Manipulační řád a hydrotechnické výpočty jezu Pohansko.* Projektová dokumentace

Příspěvek vychází z diplomové práce řešené ve spolupráci s VÚV TGM, v. v. i.