

**Beata Randusová
(Editor)**

Konferencia mladých odborníkov

13. november 2025



**Slovenský hydrometeorologický ústav
Bratislava 2025**

KONFERENCIA MLADÝCH ODBORNÍKOV

Zborník súťažných prác 2025

Odborní garanti:

RNDr. Paulína Valová pre meteorológiu, klimatológiu a kvalitu ovzdušia

RNDr. Pavol Miklánek, CSc. pre hydrológiu

Ing. Pavel Hucko, CSc. pre vodné hospodárstvo

Organizačný výbor konferencie:

Ing. Danica Lešková, PhD.

RNDr. Pavol Miklánek, CSc.

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. Hana Hlaváčiková, PhD.

Ing. Pavel Hucko, CSc.

Ing. Eva Kolesárová

Mgr. Jana Krajčovičová, PhD.

Ing. Ingrid Kušniráková

Mgr. Ondřej Ledvinka, PhD.

RNDr. Pavol Miklánek, CSc.

Mgr. Katarína Mikulová, PhD.

Ing. Martin Mišík, PhD.

RNDr. Norbert Polčák, PhD.

Ing. Janka Szemesová, PhD.

RNDr. Paulína Valová

Ing. Valéria Wendlová

Za jazykovú úpravu, obsah súťažných príspevkov a publikované výsledky zodpovedajú autori.

© Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava 2025

ISBN: 978-80-99929-98-3

EAN: 9788099929983

Citácie:

AUTOR. 2025. Názov článku. In: *Konferencia mladých odborníkov*. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav, 2025. ISBN: 978-80-99929-98-3, s. XXX-XXX.

Názov: Konferencia mladých odborníkov

Editor: Ing. Beata Randusová, PhD.

Vydavateľ: Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

Dátum publikovania: 13. november 2025

Počet strán: 51

Obsah

I. Sekcia mladých hydroológov	5
Two-fold calibration strategy for assesment of hydrological model using satellite-derived soil moisture data (<i>Milica Aleksić, Martin Kubáň</i>)	6
Hodnotenie výskytu a trvania suchých období v občasných vodných tokoch (<i>Natália Gašparíková</i>)	9
Hydrofyzikálne aspekty zhutnenia pôd vplyvom lesnej ťažby: narušenie retenčnej vodnej kapacity pôdy (<i>Adela Joanna Hamerníková</i>)	11
Advancing snowmelt simulation in mountain catchments: SWAT application for the Jalovecký Creek basin (<i>Yaser Sabzevari, Saeid Okhravi, Patrik Sleziak</i>)	13
Má sledovanie tekutého obsahu vody v snehu význam? (<i>Ema Pavlíková</i>)	15
Vplyv biouhlia na retenciu vody vodoodpudivej piesočnatej pôdy (<i>Lucia Toková</i>)	17
II. Sekcia mladých meteorológov, klimatológov a odborníkov na kvalitu ovzdušia.....	19
Priemyselné sneženie v Košiciach (<i>David Frnda</i>)	20
Očakávané zmeny extrémnych viacdenných úhrnov atmosférických zrážok na základe výstupov klimatických modelov (<i>Ladislav Markovič</i>)	22
Analýza meteorologických situácií v kontexte veľkých lavín (<i>Filip Poljak</i>)	25
Využitie meteorologických dát pri výpočte začiatku rojenia lykožrúta smrekového (<i>Ips typographus</i> L.) v oblasti Horehronia (<i>Jozef Rozkošný</i>)	27
Validácia gridovaných údajov UTCI založených na reanalýze ERA5 v porovnaní so staničnými meraniami na území Slovenska (<i>Kristína Szabóová</i>)	32
Representation learning of near-surface atmospheric fields (<i>Martin Vozár</i>)	35
III. Sekcia mladých vodohospodárov.....	37
Modelling the Impact of Climate Change on an Urban Sewer Network (<i>Raghad Awad</i>)	38
Proces tvorby 2D hydrodynamických modelov na účel tvorby máp povodňového rizika a ohrozenia (<i>Matúš Gatál</i>)	41
Multifunkčné opatrenia na Detvianskom potoku (<i>Erik Harman</i>)	43
Šedá voda v kontexte klimatických zmien ako nástroj adaptácie a prevencie nedostatku vody (<i>Samuel Klimík</i>)	46
Uvolnění Moravy z okovů (<i>Jakub Kološ</i>)	48
Intensification of constructed wetland using biochar (<i>Kristína Ščavnická</i>)	50

I. Sekcia mladých hydrológov

Two-fold calibration strategy for assesment of hydrological model using satellite-derived soil moisture data

Milica Aleksić^{1,2}, Martin Kubáň^{1,2}

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, milica.aleksic@stuba.sk, martin.kuban@stuba.sk*

²*KAJO, s.r.o., Sládkovičova 228/8, 014 01 Bytča, Slovensko*

1 Introduction

This abstract is the representation of study conducted while using new and experimental product of soil moisture ASCAT data from the METOP satellite mission in desining the right calibration strategy for TUV hydrological model. Nowadays it is crucial to undrstand the behaviour of discharge and soil moisture in connection with soils ability to reatin water for deeply understanding the local landscapes and catchments. Rainfall-runoff hydrological models, like TUV model used in this study, though simplifications of complex natural systems, represent essential tools for assessing discharge variability and catchment response. Recent advances in accesing various remote sensing data allowed satellite-derived soil moisture data to improve model calibrations (Parajka, 2009; Brocca et al., 2017). The soil moisture data used in this study are integrated into dual representation of the TUV hydrologica model to improve discharge and soil moisture information in chosen Slovak catchment. The added value of in applying such data and hydrological model in combination, lies in applying a two-fold calibration strategy that combines spatial (land-cover zones) and temporal (seasonal zones) components to assess model performance. The research provides new insights into multi-objective calibration and its potential to reduce hydrological modelling uncertainties (Sleziak et al., 2017; Kubáň, 2022).

2 Methodology

TUV model in this study, is used with its dual layer as a lumped conceptual rainfall-runoff model. This model is an HBV based model and it was applied at a daily timestep with the data about precipitation (P), air temperature (T), potential evapotranspiration (PET) and improved with the value daily values of ASCAT root-zone soil moisture (SWI) as an additional target variable (Bergström, 1992; Parajka, 2009). The catchment of Váh-Liptovský Mikuláš was represented semi-distributed with lumped parameters using a two-fold discretisation: 1) elevation zones and 2) land-cover zones derived from CORINE land cover. Calibration was performed in R using DEoptim for global optimisation (Mullen et al., 2011; Ardia et al., 2011), under two temporal setups: a reference period (all months, 2007-2014) and a summer period (June to September, 2007-2014). Indication of quality of model performance was set in combination of NSE and logNSE into a single efficiency (ME_Q), complemented by Pearson correlation for soil moisture (r). A multi-objective function weighted runoff (and soil moisture objectives) ($w=0$ to $w=1$, with 0.05 step) to explore trade-offs. Validation mirrored the calibration setups for 2015–2019, and a similarity-based regionalisation test transferred calibrated parameters from the donor catchment (Váh-Liptovský Mikuláš) to a neighbouring ungauged receiver (Jalovecký potok) to assess transferability.

3 Results

The results of performed multi-objective calibration reflected the starting point of view and that is the monitoring of the TUV model's performance in two-folded calibration envornment. In the main catchment Váh-Liptovský Mikuláš, the divison of catchment onto elevation zones achieved the highest runoff performance ($ME_Q = 0.85$ at $w = 0.6$ in the reference period and $ME_Q = 0.84$ for summer period). Whereas the land cover zones division delivered consistently higher soil moisture correlations (r up to 0.80-0.81 at low weight on runoff). Across weights, the best compromise emerged for $w = 0.6-0.8$, where ME_Q remained ≥ 0.80 while r stayed robust ($=0.75-0.79$). Internal consistency checks of model

parameters were plausible: calibrated field capacity (FC) clustered mostly within 150–300 mm (vs. database mean = 284 mm for the catchment), with class means ~292 mm (agriculture) and ~282 mm (forest). In validation period (2015–2019), elevation zones again led runoff skill (ME_Q up to 0.77–0.78), while land cover retained the advantage for soil moisture correlation (r up to ~0.84 at low weight on runoff). Parameter transfer to the neighbouring Jalovecký potok confirmed these patterns: elevation zones yielded higher ME_Q (to = 0.73 in 2007–2014; = 0.72 in 2015–2019), whereas land cover produced higher r (to = 0.82). Overall, integrating ASCAT SWI in a dual-layer TUW framework improves realism of soil moisture dynamics without sacrificing runoff skill when 60–80% weight is placed on runoff in calibration.

4 Conclusion

By integration of satellite-derived soil moisture data into dual representation of the hydrological rainfall-runoff TUW model, the main aim of the study was presented. The additional data used in the hydrological model showed how this component could improve calibration and balance runoff efficiency and soil moisture correlation in various catchment zones. The key findings of this study represent the highest runoff simulation efficiency achieved with elevation zones when $w = 0.6$ on runoff and slightly lower efficiency in land cover division with the same runoff weight. When it comes to soil moisture correlation, the improved correlation was found in land cover zones especially when lower weights were assigned to soil moisture $w = 0.05$. to $w = 0.4$. Parameter transfer to the neighbouring ungauged Jalovecký potok preserved these patterns, indicating that parameters from the primary catchment are transferable to neighbouring catchments but with lower efficiency. Results support multi-objective calibration as preferable to single objective calibration. Future work should test additional soil moisture depths (skin and deeper root zone levels), incorporate snow information for winter seasonality, and evaluate lowland, agriculture-dominated catchments.

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under contract no. VV-MVP-24-0208

5 References

- Ardia, D., Boudt, K., Carl, P., Mullen, K. M., Peterson, B. G., 2011: *Differential Evolution with DEoptim: An Application to Non-Convex Portfolio Optimization*, R Journal 3 (1), pp. 27–34. Available online at <https://journal.r-project.org/archive/2011/RJ-2011-005/index.html>.
- Bergström S., 1992: *THE HBV MODEL-its structure and applications*. Norrköping, Sweden: SMHI. Available online at https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.83592!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/RH_4.pdf, checked on 1/3/2024.
- Brocca, L. Crow, T. W. Ciabatta, L. Massari, Ch. Rosnay, P. de Enenkel, M. et al., 2017: *A Review of the Applications of ASCAT Soil Moisture Products*, IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING 10 (5), pp. 2285–2306. DOI: 10.1109/JSTARS.2017.2651140.
- Kubáň, M., 2022: *The effects of satellite soil moisture data on the parametrization of topsoil and root zone soil moisture in a conceptual hydrological model*, Journal of Hydrology and Hydromechanics 70 (3), Article 4, pp. 295–307. DOI: 10.2478/johh-2022-0021.
- Mullen, K., Ardia, D., Gil, D., Windover, D., Cline, J., 2011: *DEoptim: An R Package for Global Optimization by Differential Evolution*, Journal of Statistical Software 40 (6), pp. 1–26. Available online at <https://www.jstatsoft.org/article/view/v040i06>.
- Parajka, J., 2009: *Matching ERS scatterometer based soil moisture patterns with simulations of a conceptual dual layer hydrologic model over Austria*, Hydrology and Earth System Sciences 13, pp. 259–271. Available online at <https://hess.copernicus.org/articles/13/259/2009/hess-13-259-2009.pdf>, checked on 1/3/2024.

Sleziak, P., 2017: *Multi-variable calibration of a conceptual rainfall-runoff model in the selected alpine catchment*, Snow an ecological phenomenon, pp. 1–4. Available online at <http://www.cbks.cz/Smolenice2017/Sleziaketat.pdf>.

Hodnotenie výskytu a trvania suchých období v občasných vodných tokoch

Natália Gašparíková^{1,2}

¹ Ústav hydrológie Slovenskej akadémie vied, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika, uh@savba.sk

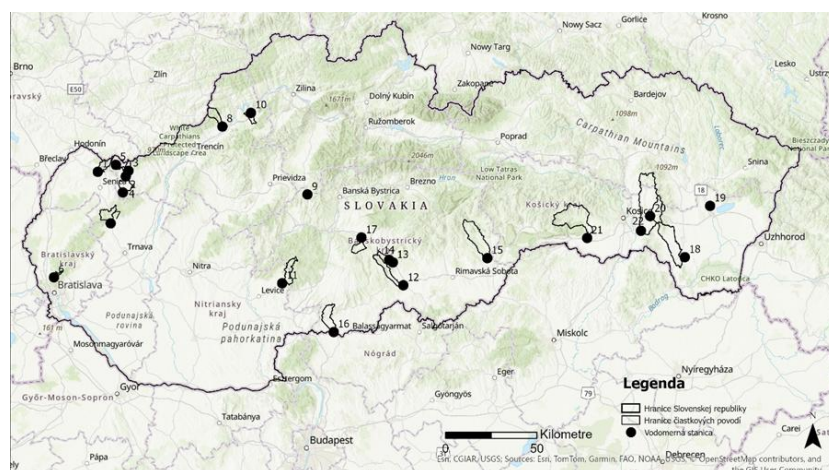
² Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Ústav krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Hospodárska 7, 949 76 Nitra, Slovenská republika

1 Úvod

Klimatická zmena významne ovplyvňuje hydrologický cyklus, čo vedie k zosilneniu extrémnych javov ako povodne a suchá. Sucho je charakterizované obdobím, keď úhrn zrážok podstatne zaostáva za dlhodobým priemerom, čo vedie k nedostatku dostupnej vody pre prírodu i spoločnosť (Kaletová et al., 2022; Karamouz et al., 2012). Občasné vodné toky, ktoré môžu byť intermitentné alebo efemérne, sú najviac zraniteľné voči týmto zmenám (Brooks et al., 2013; Datry et al., 2017). Táto štúdia analyzuje trvanie a intenzitu suchých období na 22 vybraných vodomerných staniciach na Slovensku počas hydrologického roku 2022 s cieľom identifikovať časovú a priestorovú distribúciu nulových prietokov a ich súvis s prírodnými a antropogénnymi faktormi.

2 Metodika práce

Suché obdobia boli definované ako dni s denným prietokom $\leq 0,001 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Analýza zahŕňala zber údajov o priemerných denných prietokoch z vybraných staníc, fyzicko-geografických vlastnostiach povodí (pôdne vlastnosti, nadmorská výška, sklon, využitie krajiny) a klimatických podmienkach (mesačné teploty a úhrny zrážok). Priestorové analýzy a vizualizácie boli realizované pomocou ArcGIS Pro, štatistické spracovanie v MS Excel.



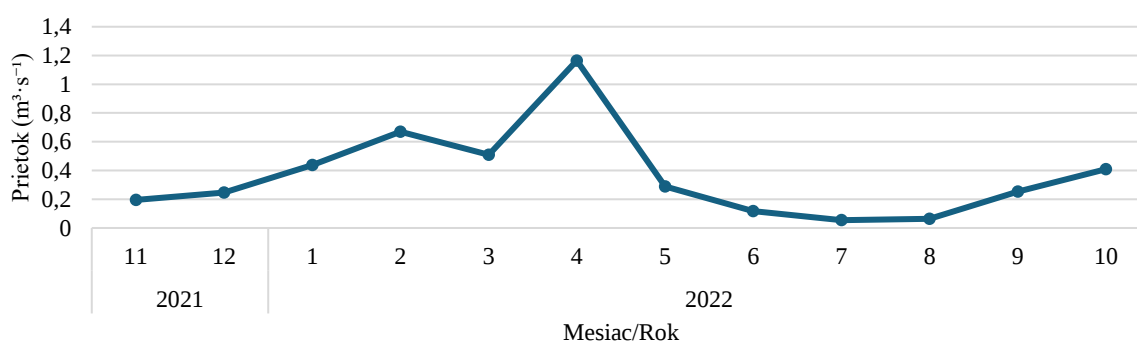
Obrázok 1: Zoznam vodomerných staníc 1. Lopašov, 2. Turá Lúka, 3. Brestovec, 4. Brezová pod Bradlom, 5. Vrbovce, 6. Spariská, 7. Buková, 8. Tuchyňa, 9. Kremnické Bane, 10. Pov. Bystrica – Mošteník, 11. Pečenice, 12. Lučenec, 13. Divín /Z VN Mýtna/, 14. Divín, 15. Gemerská Ves, 16. Kosiha nad Iplom, 17. Pstruša, 18. Zemplínsky Branč, 19. Michalovce – Žabjany, 20. Svinica, 21. Moldava nad Bodvou, 22. Bohdanovce.

3 Výsledky

Za hydrologický rok 2022 bolo na sledovaných staniciach zaznamenaných 870 dní s nulovým prietokom, z toho 79,6% v letných mesiacoch júni, júli a auguste, čo jasne potvrdzuje sezónny

charakter sucha s dominanciou letného typu malej vodnosti. Najvyšší počet dní bez prietoku bol evidovaný v lokalitách Divín (117 dní), Lopašov (116 dní) a Turá Lúka (114 dní). V zimných a jarných mesiacoch bol výskyt nulových prietokov minimálny až zanedbateľný, čo súvisí najmä s nízkymi teplotami, počas ktorých väčšina zrážok zostáva vo forme snehovej pokrývky a ľadu, ktoré sa postupne topia, čím zabezpečujú stabilný prietok a priaznivejšie pôdne podmienky.

Analýza pôdných vlastností ukázala prevahu stredne hlbokých a hlbokých pôd s dobrou retenčnou schopnosťou, prevažne hlinitých pôd, ktoré podporujú infiltráciu a zadržiavanie vody. Geomorfologické charakteristiky povodí, ako je sklon a nadmorská výška, významne ovplyvňujú rýchlosť odtoku a výskyt suchých období. Typ využitia krajiny, s dominanciou listnatých lesov a ornej pôdy, tiež ovplyvňuje hydrologický režim.



Obrázok 2: Priemerný mesačný prietok vo vodomerných staniciach.

4 Záver

Výsledky potvrdzujú význam sezónnosti sucha, pričom hydrologické suchá sú najvýraznejšie počas letných mesiacov s vysokou evapotranspiráciou a nízkymi zrážkami. Rýchly odtok v povodí s vysokým sklonom a skeletovitosťou znižuje retenčné schopnosti, čo urýchľuje pokles prietokov. Naopak, povodia s lepšími pôdnymi vlastnosťami a stabilnejším režimom vykazujú menší výskyt extrémne nízkych prietokov.

5 Literatúra

Brooks, K. N., Ffolliott, P. F., and Magner, J. A. (2013): Hydrology and the management of watersheds (4th ed (Online-Ausg.)), Wiley-Blackwell, Ames, Iowa, 1.

Datry, T., Bonada, N., and Boulton, A. (Eds.) (2017): Intermittent rivers and ephemeral streams: ecology and management, Academic Press is an imprint of Elsevier, London, United Kingdom.

Kaletová, T., Jurík, Ľ., and Halaj, P. (2022): Voda v poľnohospodárskej krajine (1. vydanie), Slovenská poľnohospodárska univerzita, Nitra, [online]. Dostupné z <http://www.slpk.sk/eldo/2022/dl/9788055224671/9788055224671.pdf>, 138.

Karamouz, M., Nazif, S., and Falahi, M. (2012): Hydrology and Hydroclimatology: Principles and Applications (0 ed.), CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13771>

Hydrofyzikálne aspekty zhutnenia pôd vplyvom lesnej ťažby: narušenie retenčnej vodnej kapacity pôdy

Adela Joanna Hamerníková¹

¹Univerzita Komenského v Bratislave, Katedra pedológie, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, Slovenská republika, hamernikova1@uniba.sk

1 Úvod

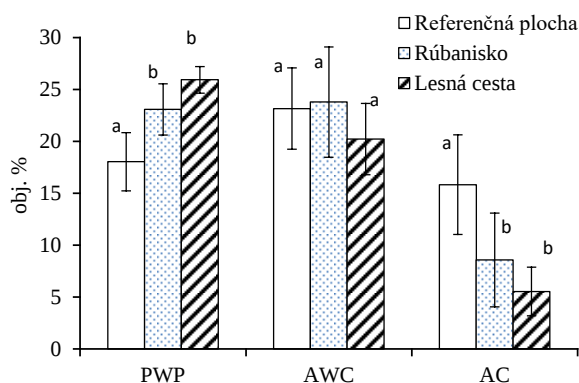
Lesná ťažba predstavuje zásah, ktorý výrazne mení fyzikálny stav pôdy a tým aj jej retenčné a infiltračné funkcie. Ťažká mechanizácia spôsobuje zhutnenie, poškodenie pôdnej štruktúry, redukcii makropórov a zmenu distribúcie veľkosti pórov, čo má priamy negatívny dopad na kolobeh vody v ekosystéme (Cambi et al., 2015). Vodná retencia pôdy je kontrolovaná predovšetkým **pórovou štruktúrou**, pričom väčšie póry určujú aeráciu a rýchle odvodnenie, zatiaľ čo menšie štruktúrne póry sú zásobárňou vody pre vegetáciu. Zmeny v retenčnej krivke preto predstavujú citlivý indikátor degradácie pôd vplyvom lesohospodárskych zásahov. Cieľom štúdie bolo kvantifikovať zmeny vodnej retenčnej kapacity pôdy po lesnej ťažbe a zhutnení pôdnej štruktúry na základe analýzy vlhkostných retenčných kriviek na výskumných plochách pri obci Báb.

2 Metodika práce

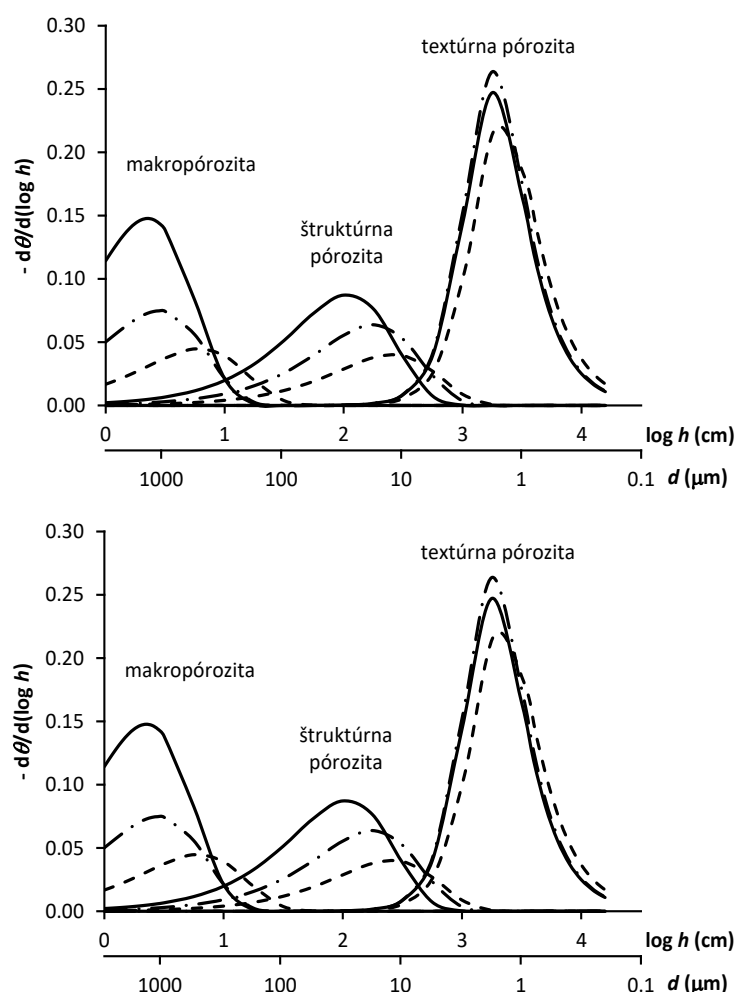
Štúdium prebiehalo na dlhodobej výskumnej ploche v Bábskom lese (Nitrianska pahorkatina). Vzorky pôdy boli odobrané z troch typov plôch: referenčná plocha lesa, plocha po ťažbe (rúbanisko) a lesná cesta. Celkovo bolo analyzovaných 21 vzoriek (7 vzoriek/plocha). Meranie 12 bodov retenčnej krivky (SWRC) prebiehalo pomocou podtlakového a pretlakového extrakčného zariadenia v rozsahu sacích tlakov 0,3–1500 kPa. Retenčné vlastnosti pôdy boli hodnotené na základe distribúcie veľkostí pórov, pričom sa osobitne sledoval podiel makro-, štruktúrnych a textúrnych pórov určujúcich schopnosť pôdy zadržiavať vodu.

3 Výsledky

Referenčná plocha vykazuje najvyrovnanejšiu distribúciu pórových frakcií, čo odráža zachovanú pôdnu štruktúru a funkčný retenčný režim. Na rúbanisku dochádza najmä k redukcii štruktúrnych pórov, čo poukazuje na narušenie agregátovej stability. Najintenzívnejšie poškodenie štruktúry je zaznamenané na lesnej ceste, kde výrazný úbytok makropórov aj štruktúrnych pórov indikuje zhutnenie pôdy v dôsledku pohybu ťažkej techniky (obr. 2). Z toho dôvodu sa znížila vzdušná kapacita (AC) a dostupná vodná kapacita (AWC) a zvýšila sa hranica trvalého vädnutia (PWP) (obr. 1).



Obrázok 1: Porovnanie PWP, AWC a AC pôd



Obrázok 2: Krivky distribúcie veľkosti pórov (PSD) odvodené z priemerných vlhkosných retenčných kriviek (hore) a separovaných pík zodpovedajúcich makro-, štruktúrnym a textúrnym pórovitostiam (dole)

4 Záver

Výsledky jednoznačne potvrdzujú, že pôdna štruktúra predstavuje kľúčový regulačný prvok vodnej retencie v lesných ekosystémoch, pričom jej narušenie sa bezprostredne odráža v zmene hydrologického režimu pôdy. Lesná ťažba s využitím ťažkej mechanizácie degraduje makro- aj štruktúrne póry, čo vedie k poklesu vzdušnej a využiteľnej vodnej kapacity pôdy. Súčasne sa zvyšuje bod trvalého vädnutia, čím sa výrazne obmedzuje fyziologicky dostupná pôdna voda pre vegetáciu. Narušenie pórového systému sa následne prejavuje zhoršenou infiltráciou, akcelerovaným povrchovým odtokom a zvýšeným rizikom erózie, čo predstavuje okamžité narušenie hydrologického režimu pôdy a lokálneho odtoku v lesných povodiach.

5 Literatúra

Cambi, M., Certini, G., Neri, F., Marchi, E., 2015: *The impact of heavy traffic on forest soils: A review*. Forest ecology and management, 338, 124-138

Advancing snowmelt simulation in mountain catchments: SWAT application for the Jalovecký Creek basin

Yaser Sabzevari^{1,2}, Saeid Okhravi^{1*}, Patrik Sleziak¹

¹ Institute of Hydrology of the Slovak Academy of Sciences, Dúbravská Cesta 9, 84104 Bratislava, Slovakia, e-mail(s): Saeid.okhravi@savba.sk and Sleziak@uh.savba.sk

² Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan 8415683111, Iran, e-mail: Y.sabzevari@ag.iut.ac.ir

1 Introduction

Underestimation of streamflow is a common challenge in hydrological modeling of snow-dominated regions, where complex hydro-meteorological processes strongly influence runoff generation. Mountain catchments are particularly sensitive to variations in temperature and precipitation, which control snow accumulation and melt dynamics. **Snowmelt processes** play a vital role in streamflow generation, regulating both the timing and magnitude of water availability downstream (Jennings et al., 2018). Despite their importance, gaps remain in **integrating snowmelt dynamics** with long-term trend analysis and climate scenarios, limiting predictions of hydrological responses under changing conditions.

2 Materials and Methods

This study applies the SWAT model to the Jalovecký Creek catchment located in northern Slovakia to (i) analyze hydro-meteorological trends, (ii) simulate snowmelt-driven runoff and (iii) define a data partitioning approach for model calibration and validation. The *novelty* of this research lies in the data partitioning-based calibration of snowmelt parameters combined with the integration of long-term climate scenario assessments, providing a more robust framework for understanding snowmelt-runoff dynamics under changing climatic conditions. Hydro-meteorological data, from nine stations (1988–2024) were prepared for SWAT model input. Long-term hydro-climatic variables were pre-analyzed using the Mann-Kendall (MK) test.

Hydro-meteorological trends were evaluated using the non-parametric Mann-Kendall test, which is widely applied in hydrological studies due to its independence from data distribution assumptions and robustness against missing values and outliers (Tiwarei & Laudon, 2025). The MK test results are expressed by the Z statistic and p-value, where positive and negative Z values indicate increasing and decreasing trends, respectively; trends were considered statistically significant at $p < 0.05$ (95% confidence level).

For hydrological modeling, the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) was used. SWAT is a semi-distributed, process-based model designed to simulate the effects of land use, soil properties and climate variability on water, sediment and nutrient fluxes within a watershed. The model partitions the basin into sub-basins and hydrological response units to capture spatial heterogeneity of physical and management conditions. The hydrological cycle is represented through the water balance equation:

$$SW_t = SW_0 + \sum(R_{day} - Q_{surf} - ET - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

where SW_t is the final soil water content (mm), SW_0 is the initial soil water content (mm), R_{day} is precipitation (mm), Q_{surf} is surface runoff (mm), ET is evapotranspiration (mm), W_{seep} is percolation to the vadose zone (mm) and Q_{gw} is return flow or baseflow (mm).

3 Results

Hydro-meteorological trend analysis:

To assess long-term hydro-climatic changes and SWAT performance in the Jalovecký Creek basin, trend analysis was applied, with model accuracy evaluated using R^2 and the Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE). The Mann-Kendall test revealed significant upward trends in precipitation and temperature, while other variables showed no significant change as detailed in Table 1.

The SWAT model initially underperformed, but seasonal calibration (warm vs. cold periods) improved accuracy. Using warm-season data (500 simulations), calibration achieved $R^2 = 0.79$ and $NSE = 0.82$, with validation further improving performance ($R^2 = 0.83$, $NSE = 0.85$) (Figure 1).

Table 1: Mann-Kendall trend test results for hydro-meteorological variables (1988–2024)

Input	Trend	p-value	Significant (alpha=0.05)	Z
Streamflow	increasing	0.66	No	0.44
Precipitation	increasing	0.005	Yes	2.77
Humidity	increasing	0.54	No	0.61
Solar radiation	decreasing	0.83	No	-0.21
Temperature	increasing	0.03	Yes	2.17
Wind speed	decreasing	0.38	No	-0.9

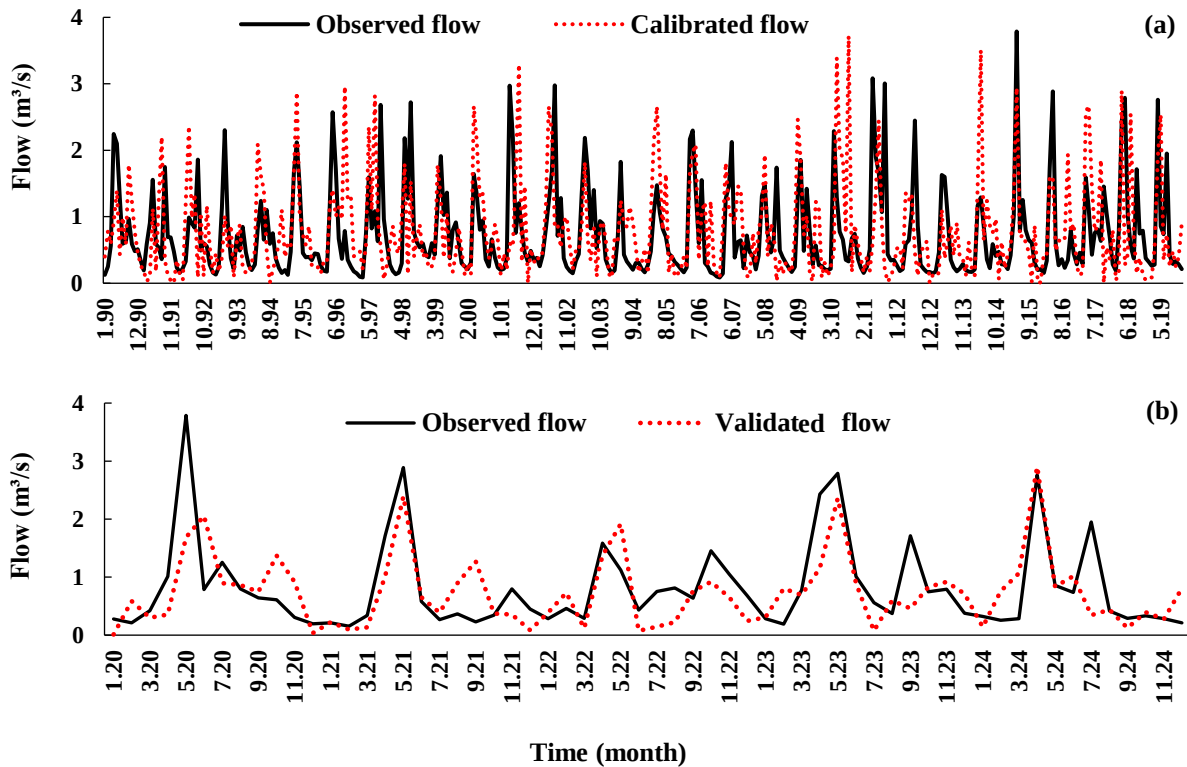


Figure 1: SWAT model performance: (a) calibration results and (b) validation results for runoff simulation at the basin outlet

4 Conclusion

The SWAT model initially underperformed in the snow-dominated catchment due to weak representation of snowmelt-driven runoff. Seasonal calibration, dividing the dataset into cold (November–May) and warm (June–October) periods, markedly improved accuracy and reliability. This study introduces a season-based data partitioning framework for calibrating SWAT in snow-affected basins, enhancing its robustness for climate scenario analyses and future socio-hydrological applications.

5 Literature

- Jennings, K.S., Winchell, T.S., Livneh, B., Molotch, N.P. (2018). Spatial variation of the rain-snow temperature threshold across the Northern Hemisphere. *Nat. Commun.*, 9(1), 1148.
- Tiwari, T., Laudon, H. (2025). Trends in hydroclimate extremes: how changes in winter affect water storage and baseflow. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 29(17), 4055–4071.
- Sleziak, P., Danko, M., Jančo, M., Parajka, J., Holko, L. (2023). Spatial and temporal variability of saturated areas during rainfall-runoff events. *J. Hydrol. Hydromech.*, 71(4), 439–448.

Acknowledgement

This research was supported by the project “Sustainable Management of Urban Stormwater Runoff,” funded by the EU NextGenerationEU (Slovak Recovery and Resilience Plan, No. 09I03-03-V04-00203), which provided methodological and analytical contributions applied in this study.

Má sledovanie tekutého obsahu vody v snehu význam?

Bc. Ema Pavlíková¹

¹Katedra Vodného hospodárstva a krajiny, Stavebná fakulta, STU, Radlinského 2766/11, 810 05
Bratislava – Staré, Slovensko, pavlik.ema@gmail.com

1 Úvod

Snehová pokrývka je neoddeliteľnou súčasťou horských oblastí. Vplyvom klimatických zmien je pozorované aj menenie dynamiky snehu, čo sa prejavuje napríklad zvýšenou kvantitou mokrých lavín. Práve preto prichádza otázka, či vieme sneh presnejšie popísať a uľahčiť tak predikciu rizík.

Parameter LWC (Liquid Water Content) zobrazuje percentuálny podiel tekutej vody v snehu a napriek tomu, že je blízko prepojený s vodnou hodnotou snehu sa mu v literatúre venuje málo autorov a poznatky o ňom sú nízke. Cieľom tejto práce je zaplniť vedeckú medzeru, a teda: popísať priebehy LWC v rôznych časových horizontoch a ich prepojenie na iné hydrologické parametre; overiť správnosť nameraných dát; vysvetliť prepojenie na vznik mokrých lavín a otvoriť ďalšie možnosti smerovania výskumu a použitia LWC.

2 Metodika práce

Riešené územie Červenec 1500 m n. m. sa nachádza v severnej časti stredného Slovenska v pohorí Západných Tatier v Jaloveckej doline. Z hydrologického hľadiska patrí táto lokalita do povodia rieky Váh konkrétne Jaloveckého potoka, ktorý patrí do stredohorskej oblasti.

Údaje o snehových parametroch sú merané od roku 2015 automatickým meracím prístrojom Sommer SPA-2. Tento funguje na princípe merania odporu prostredia voči striedavému elektrickému prúdu, a teda určuje objemový obsah zložiek snehu. Tieto dáta sú získavané nedeštruktívne a kontinuálne v troch horizontoch v 10-minútových intervaloch, rovnako aj ostatné meteorologické dáta. Databáza bude rozdelená do viacerých časových úsekov; a to konkrétne na denné, sezónne a medziročné priebehy hodnôt LWC. Pre lepšiu čitateľnosť dát budú ku každému obdobiu vykreslené grafy, do ktorých budú vstupovať 10-minútové hodnoty spracované deskriptívnymi štatistickými nástrojmi. Pohyb vody v snežnom profile je ovplyvnený stratigrafiou snehu. Pre vytvorenie komplexného pohľadu na snehovú pokrývku je dôležité doplniť údaje o konkrétnych vrstvách, ktoré budú viditeľné vo vytvorenom snehomernom profile.

3 Výsledky

Z nameraných dát bolo zistené, že LWC má charakteristický denný priebeh. Najväčšie hodnoty sú dosiahnuté vo večerných hodinách, kedy teplota začína klesať a najnižšie v ranných hodinách (Obrázok 1). V dňoch kedy teplota nestúpne nad nulu nedochádza ku rozkmitu dát.

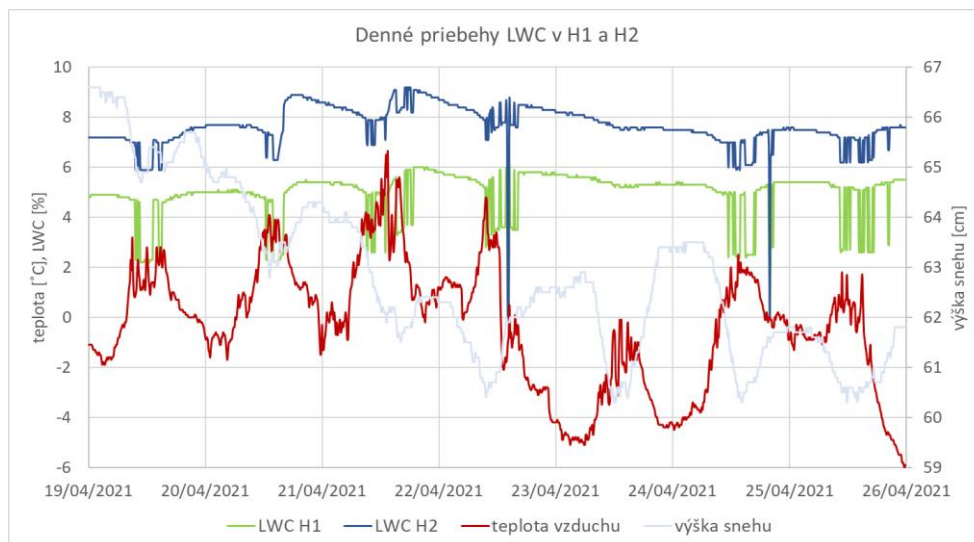
Sezónne priebehy sa delia na dva typy – s plynulým priebehom LWC, kedy po dosiahnutí peaku v marci hodnoty postupne klesajú; a tie s rapidným poklesom v apríli. Medziročne bol spozorovaný presun tekutej vody do spodného horizontu, čo môže byť spojené s otepľovaním.

Horská záchranná služba vydáva výstrahy pred lavínovými problémami a dni s rizikom vzniku boli vložené do sezónneho priebehu LWC (Obrázok 2). Je viditeľné, že sú to dni, kedy teplota vystúpila nad nulu – avšak peaky LWC nie sú vôbec v predpovedi pokryté, a teda v potenciálne najnebezpečnejšie dni nebola výstraha vydaná vôbec. Pre potvrdenie prepojenia hodnôt LWC a výstrah bola urobená aj analýza ANOVA, ktorá ukázala, že hodnoty LWC sú štatisticky veľmi významne vyššie dňoch, kedy bola vydaná výstraha (Obrázok 3).

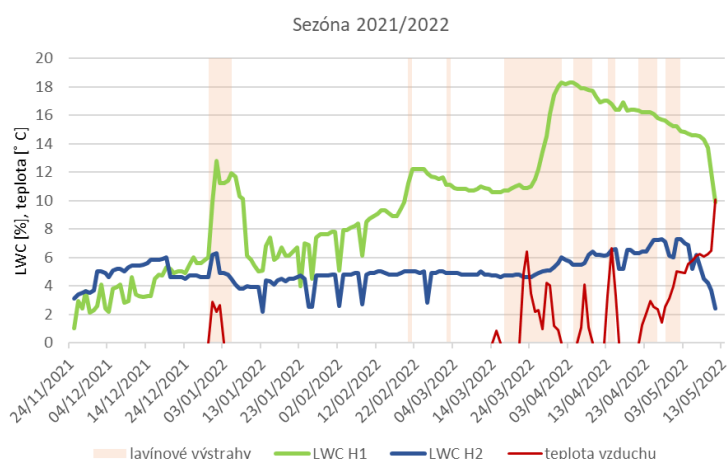
4 Záver

V tejto práci boli úspešne roanalyzované dáta, ktorým sa predtým nevenovala pozornosť, čím sa zaplnila vedecká medzera. Boli popísané charakteristické priebehy LWC v rôznych časových horizontoch a potvrdilo sa prepojenie so vznikom mokrých lavín. Výsledky otvorili možnosti ďalšieho výskumu, keďže okrem modelovania lavín a spresňovania ich predpovede môže byť LWC použité aj na

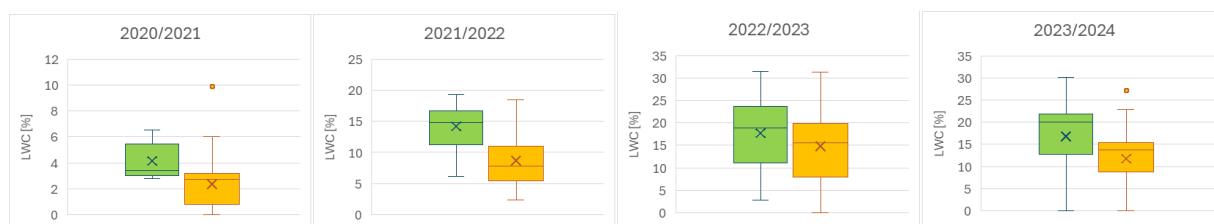
modelovanie odtoku z topiaceho snehu či tvorbu povodňových vln. Do budúca je však potrebné urobiť dodatočné kalibračné merania, na potvrdenie správnosti doteraz nameraných údajov.



Obrázok 1: Denné priebehy LWC v H1 – 10 cm a H2 – 30 cm nad zemou (19/04/2021 – 26/04/2021).



Obrázok 2: Lavínové výstrahy a hodnota LWC v H1 a H2 (sezóna 2021/2022).



Obrázok 3: Rozptyl hodnôt LWC v dňoch s lavínovým problémom (zelená) a bez (oranžová).

5 Literatúra

- De Walle, D. R., Rango, A. *Principles of snow hydrology*. Cambridge University Press, Cambridge, 2008.
- Donahue, Ch., McKenzie Skiles, S., Hammonds, K. *Mapping liquid water content in snow at the millimeter scale: an intercomparison of mixed-phase optical property models using hyperspectral imaging and in situ measurements*. The Cryosphere, 2022.
- Heilig, A., Mitterer, Ch., Schmid, L., Wever, N., Schweizer, J., Marshall, H.-P., Eisen, O. *Seasonal and diurnal cycles of liquid water in snow—Measurements and modeling*. J. Geophys. Res. Earth Surf. 2015.
- Mitterer, Ch., Heilig, A., Schmid, L., Van Herwijnen, A., Eisen, O., Schweizer, J. *Comparison of measured and modeled snow cover liquid water content to improve local wet-snow avalanche prediction*. Proceedings, International Snow Science Workshop, Brecken. 2016

Dáta boli poskytnuté Ústavom hydrológie SAV, ďakujem!

Vplyv biouhlia na retenciu vody vodoodpudivej piesočnatej pôdy

Lucia Toková¹

¹Ústav hydrológie, Slovenská akadémia vied, v.v.i., Dúbravská cesta, 9, 841 04, Bratislava, Slovensko, tokova@uh.savba.sk

1 Úvod

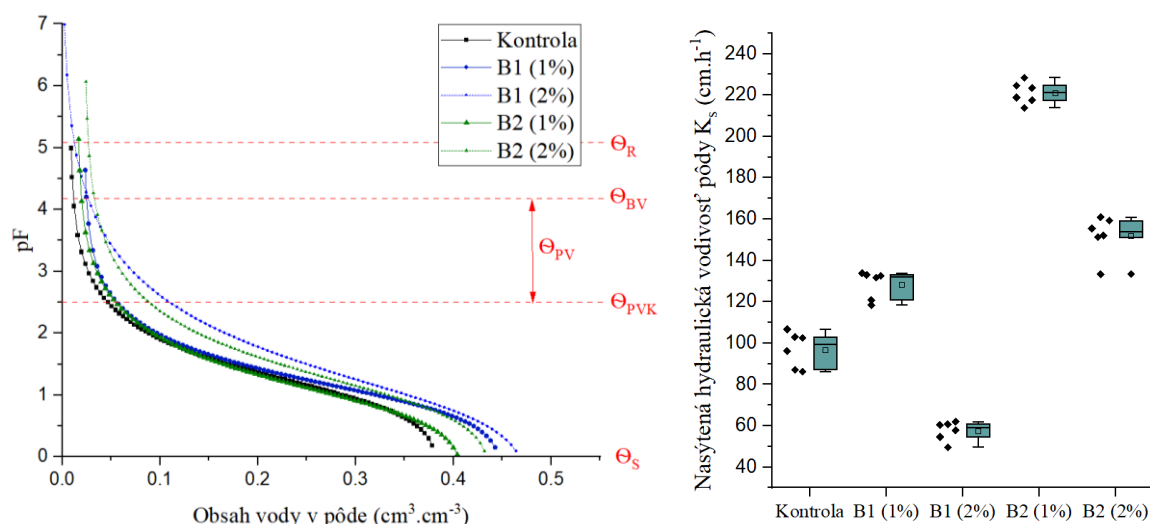
Retenčná kapacita pôdy hrá dôležitú úlohu v kolobehu vody v prírode a to najmä počas extrémnych prejavov počasia. Vodoodpudivé (hydrofóbne) vlastnosti pôdy majú vplyv na infiltráciu vody, evaporáciu a eróziu pôdy. Vodoodpudivosť pôd je častým fenoménom všade vo svete a je dôležitým faktorom, ktorý ovplyvňuje prienik vody do pôdy (Faloye et al., 2022). Pozitívny účinok biouhlia na poľnohospodársky využívanú pôdu je dobre známy. Zlepšuje štruktúru, retenčné charakteristiky, zvyšuje kapacitu pôdy pre vodu dostupnú pre rastliny, znižuje objemovú hmotnosť, zvyšuje pórovitosť a celkovo zlepšuje hydraulické vlastnosti pôdy (de Jesus Duarte et al., 2022). Piesočnaté pôdy sú menej úrodné a preto sa často zanechávajú sekundárnej sukcesii vegetácie, vplyvom ktorej sa zvyšuje aj miera vodoodpudivosti (Toková et al., 2022). Existuje niekoľko štúdií o účinku biouhlia na využiteľnú vodnú kapacitu pre rastliny v piesočnatých pôdach (Botková et al., 2023). Málo preskúmaný je však jeho účinok na hydrologické procesy v piesočnatých pôdach, ktoré sú zároveň vodoodpudivé. Cieľom nášho príspevku bola analýza vplyvu biouhlia vyrobeného z vrby pri rozdielnych teplotách pyrolýzy (300 a 520 °C) aplikovaného v rôznych koncentráciách (1 a 2%) na retenčné a hydraulické vlastnosti piesočnatej pôdy, ktorá je vodoodpudivá.

2 Metodika práce

Vodoodpudivá piesočnatá pôda pre tento laboratórny experiment bola odobratá z lokality neďaleko obce Sekule (Záhorská nížina, Slovensko) (Toková et al., 2025a). Pre experiment sa použili dve biouhlia, obe vyrobené v UNPYRE reaktore (AgroBioTech, SPU Nitra). Prvé biouhlie (B1) bolo vyrobené z vrby „Express“ (*Salix alba*) pyrolýzou pri teplote 520 °C (Toková et al., 2024), druhé (B2) bolo vyrobené z vrby „Tordis“ (*Salix alba*) pyrolýzou pri teplote 300 °C. Do valčekov s objemom 100 cm³ sa pripravili nasledovné varianty: Kontrola, B1 (1%), B1 (2%), B2 (1%) a B2 (2%). Retencia vody do pôdy sa merala pomocou pretlakových nádob, určili sa vybrané body krivky (Θ_s – nasýtená vodná kapacita, Θ_{PVK} – poľná vodná kapacita, Θ_{BV} – bod vädnutia a Θ_R – reziduálna vodná kapacita). Následne sa vypočítala prístupná voda pre rastliny (Θ_{PV}). Nasýtená hydraulická vodivosť pôdy (K_s) sa merala prístrojom KSAT (Toková et al., 2025b). Na vizualizáciu výsledkov sa použil software OriginPro 2025 (OriginLab Corporation, One Roundhouse Plaza, Northampton, MA 01060 USA).

3 Výsledky

Výsledky jasne poukazujú na zlepšenie retenčných vlastností vodoodpudivej piesočnatej pôdy aplikáciou biouhlia (Obrázok 1 – vľavo). Naším najdôležitejším ukazovateľom bola voda prístupná pre rastliny (Θ_{PV}), ktorá sa na všetkých variantoch s biouhlím zvýšila v porovnaní s kontrolou. Podľa Hallina et al. (2015) sa aplikáciou hydrofilného biouhlia dá zmierniť vodoodpudivosť a následne zlepšiť i retenčná schopnosť vodoodpudivých pôd. V našom prípade bolo biouhlie (B1) hydrofilnejšie (Toková et al., 2024) ako biouhlie (B2) a výsledkami vieme potvrdiť, že hydrofilnejšie biouhlie (B1) malo lepší vplyv na retenčné vlastnosti vodoodpudivej pôdy, pričom zaznamenané boli významnejšie zmeny v Θ_s , Θ_{PK} a Θ_{PV} . Naopak pri biouhlí (B2) sa vplyv výrazne odzrkadlil v K_s (Obrázok 1 – vpravo) čo v tomto prípade až také pozitívne nieje. Z výsledkov vyplýva aj to, že zvyšovanie koncentrácie biouhlia má priami vplyv na jednotlivé hydrolimity a na nasýtenú hydraulickú vodivosť pôdy (K_s).



Obrázok 1: Retenčné krivky (vľavo) a nasýtená hydraulická vodivosť (vpravo) pre kontrolnú vodoodpudivú piesočnatú pôdu a vodoodpudivú piesočnatú pôdu s aplikovaným biouhlím (rôzne varianty).

4 Záver

Z našich výsledkov vyplýva, že biouhlie vyrobené pri teplote 520 °C s koncentráciou 2% malo najpriaznivejší vplyv na retenčné vlastnosti (tj. zvýšila sa prístupnosť vody pre rastliny a znížila sa nasýtená hydraulická vodivosť) vodoodpudivej piesočnatej pôdy. Nepriaznivým výsledkom je zvýšenie nasýtenej hydraulickej vodivosti v porovnaní s kontrolou na ostatných variantoch experimentu, voda prístupná pre rastliny sa však naďalej držala vyššie v porovnaní s kontrolou.

5 Literatúra

- Botková, N., J.Vitková, P.Šurda, I.Massas, I.Zafeiriou, J.Gaduš, F.C.Rodrigues and P.F.S.Borges, 2023: *Impact of biochar particle size and feedstock type on hydro-physical properties of sandy soil*. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 71, 345-355.
- de Jesus Duarte S., A.Hubach and B.Glaser, 2022: *Soil water balance and wettability methods in soil treated with biochar and/or compost*. Carbon research, 1, 1-16.
- Faloye, O.T., E.A.Ajayi, J.Rostek, T.Babalola, A.Fashima and R.Horn, 2022: *Water hydraulics, retention and repellency; response to soil texture, biochar pyrolysis conditions and wetting/drying*. International Agrophysics, 36, 213-221.
- Hallin I.L., P.Douglas, S.H.Doerr and R. Bryant, 2015: *The effect of addition of a wettable biochar on soil water repellency*. European Journal of Soil Science, 66, 1063-1073.
- Toková L., S.Hološ, P.Šurda, J.Kollár and L.Lichner, 2022: *Impact of Duration of Land Abandonment on Infiltration and Surface Runoff in Acidic Sandy Soil*. Agriculture, 12, 168.
- Toková, L., J.Vitková, B.Kandra, P.Rončák and J.Gaduš, 2024: *Analýza vplyvu aplikácie biouhlia na vodoodpudivosť piesočnatých pôd v laboratórnych podmienkach*. Hydrological Processes, Ecosystems and Climate Change: book of peer-reviewed papers. Bratislava: IH SAS, 162-167. ISBN 978-80-89139-61-3.
- Toková, L. and J.Vitková, 2025a: *Influence of biochar addition on water repellent sandy soils*. Acta Hydrologica Slovaca, 26, 144-149.
- Toková, L. and J.Vitková, 2025b: *Laboratórne meranie nasýtenej hydraulickej vodivosti vodoodpudivej piesočnatej pôdy*. Hydrological Response to Changing Natural Conditions: electronic-book. Bratislava: IH SAS, 245-250. ISBN 978-80-89139-63-7.

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantového projektu APD0102 a projektu VEGA 2/0065/24.

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

Priemyselné sneženie v Košiciach

David Frnda^{1,2}

¹ Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského, Mlynská dolina F1, 842 48 Bratislava, david.frnda@fmph.uniba.sk

² Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15, Bratislava, david.frnda@shmu.sk

1 Úvod

Priemyselné sneženie je jav vyskytujúci sa na malej priestorovej škále v blízkosti priemyselných oblastí. V nich dochádza k uvoľňovaniu väčšieho množstva teplej vodnej pary a ďalších častíc (môžu plniť funkciu kondenzačných/ľadových jadier) do nízkej oblačnosti, čo vedie k jej presýteniu a následnej tvorbe zrážok v podobe snehových zŕn alebo ihličiek, pri kladnej teplote v podobe mrholenia. Tieto zrážky sú následne unášané prúdením a vypadávajú niekde v okolí, pričom podmienky sa väčšinou menia len nepatrne, čo môže viesť k výrazným rozdielom v počasí na stovkách, dokonca až desiatkach metrov. Keďže sa jedná o veľmi lokálny jav, informácie zo staníc nie sú postačujúce, preto je pre podrobnejšiu analýzu nutné zbierať informácie z médií, od náhodných pozorovateľov alebo z terénneho prieskumu. Významnosť tohto javu narastá v aglomeráciách alebo dôležitých dopravných uzloch, prípadne na letiskách. Preto je pre predpovednú prax, ale aj numerické modelovanie, dôležité poznať poveternostné podmienky a základnú klimatologiu javu.

Košické letisko je z hľadiska polohy významnou lokalitou, pretože disponuje profesionálnou stanicou s dlhodobým radom pozorovaní a podľa doterajších pozorovaní sa často nachádzalo v spáde priemyselného sneženia. Podľa predbežnej analýzy je výskyt priemyselného sneženia v Košiciach pomerne častý, čo je jednou z hlavných motivácií venovania sa tejto téme.

Hlavným cieľom práce je na základe analýzy vybraných prípadov v oblasti Košíc v rokoch 2017 – 2025, poukázať na spoločné črty poveternostných podmienok, pri ktorých k priemyselnému sneženiu dochádza. Cieľom práce je tiež v rámci možností odhadnúť výskyt priemyselného sneženia v minulosti klimatologickým spracovaním výskytu priemyselného sneženia na košickom letisku. Práca má tiež pozdvihnúť povedomie o priemyselnom snežení najmä u odbornej, ale aj laickej verejnosti, pretože jej nie je venovaná dostatočná odborná pozornosť, je veľmi často medializovaná a spája sa s ňou veľa nepravdivých informácií.

2 Dáta a metodika

2.1 Analýza prípadov

Pre výber prípadov sme zvolili obdobie 2017 až 2025 kvôli homogenite modelových výstupov. Prípady sme vyberali na základe družicových snímok, SYNOP správ a informácií získaných na sociálnych sieťach.

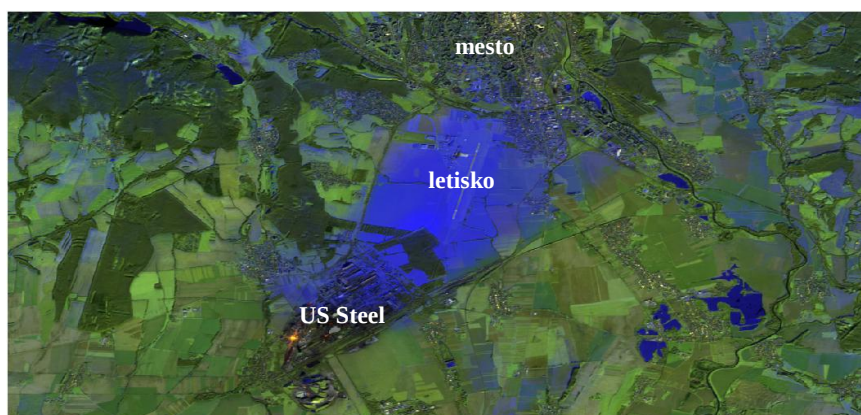
Na určenie veľkopriestorovej cirkulácie sme použili modelové reanalýzy ECMWF a GFS. Typ vzduchovej hmoty sme analyzovali na základe aerologických meraní a modelových pseudotempov z modelu ALADIN s horizontálnym rozlíšením 1 km. Pre poukázanie na priestorové rozloženie snehovej pokrývky, výskyt nízkej oblačnosti nad oblasťou Košíc a vplyv výstupných pohybov z priemyselnej oblastí na jej charakter, sme použili rôzne produkty z polárnych družíc. Pri analýze jednotlivých prípadov sme v programe Excel spracovali grafické priebehy teploty, rýchlosti a smeru vetra na stanici na košickom letisku a Kojšovskej holi, ktorými sme analyzovali mezo/mikroškálové podmienky.

2.2 Klimatologické spracovanie výskytu priemyselného sneženia v Košiciach

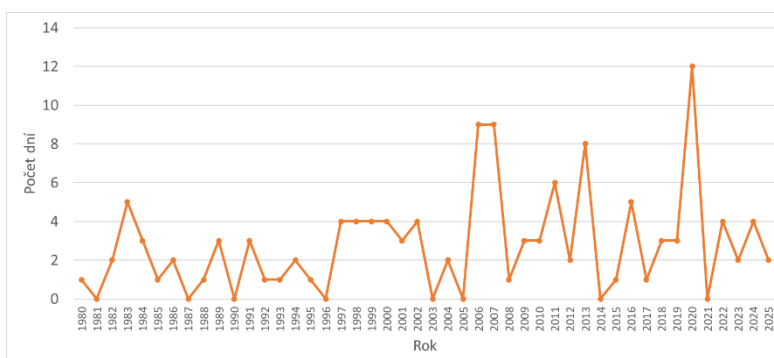
Zvolili sme obdobie rokov 1980 až 2025, z dôvodu dostupnosti údajov zo stanice Moldavy nad Bodvou, ktorá bola použitá na prvotnú analýzu. Niektoré prípady, ktoré sme našli od roku 2017 boli hľadané viacerými metódami spomenutými v predchádzajúcej kapitole. V prípade tohto spracovania bola najprv použitá selekcia lokálnych zrážok, ktoré sa vyskytli v zimnom období na stanici na košickom letisku. Pre každý deň počas zimných období v rokoch 1980–2025 sme hľadali prípady, kedy stanica na košickom letisku hlásila výskyt snehových zrážok, zatiaľ čo stanica v Moldave nad Bodvou nie. Následne sme to porovnali aj s ďalšími stanicami na východnom Slovensku: Trebišov, Michalovce, Prešov-vojsko, Bardejov, Humenné, Gánovce, Somotor a Košice – mesto. Najviac sme používali údaje

o prírastku snehovej pokrývky v klimatologických termínoch a type snehových zrážok. Keďže priemyselné sneženie je lokálny jav, cieľom tohto spôsobu spracovania bolo odfiltrovať veľkoplošné zrážky, ktoré sú spojené s prechodom frontu alebo výskytom tlakovej níše v našej oblasti. Vybrané dni sme ďalej podrobili analýzam makrosynoptických podmienok a teplotného zvrstvenia. V programe Excel sme urobili grafické spracovanie počtu dní s výskytom priemyselného sneženia v jednotlivých rokoch v období 1980–2025.

3 Výsledky



Obrázok 1: Prekrytie priestorových rozložení snehovej pokrývky z analyzovaných prípadov v Košiciach



Obrázok 2: Počet dní s výskytom priemyselného sneženia na letisku v Košiciach v rokoch 1980 – 2025

4 Záver

Na základe makrosynoptickej analýzy prípadov sme zistili, že priemyselné sneženie sa vyskytuje v prípade anticyklonálnych situácií v stabilných vzduchových hmotách. Z analýzy vyplýva, že aby sa priemyselné sneženie vyskytlo, inverzia nemusí trvať dlho. Stačí aj pár hodín. Tieto podmienky v našej oblasti nastali v teplých stabilných vzduchových hmotách, v ktorých sa v hraničnej vrstve vyskytoval chladný a vlhký vzduch, zatiaľ čo nad ňou bol vzduch suchý a teplý. Vo viacerých prípadoch boli prítomné výrazné inverzie teploty. Zistenie je v súlade s očakávaniami, keďže práve pri týchto typoch poveternostných situácií dochádza typicky k vzniku nízkej oblačnosti.

Z našej analýzy tiež vyplýva, že priemyselná zóna US Steel v Košiciach je lokalizovaná tak, že z nej vzniknuté priemyselné sneženie má spádovú oblasť presne v smere typického prúdenia v stabilných inverzných poveternostných situáciách v smere na letisko a do centra mesta. V prípade stanice na košickom letisku ide klimatologicky dokonca o jeden z dvoch dominantných smerov vetra.

Analýzou prípadov a klimatologickým spracovaním výskytu priemyselného sneženia na košickom letisku sme splnili vytýčené ciele práce.

Očakávané zmeny extrémnych viacdenných úhrnov atmosférických zrážok na základe výstupov klimatických modelov

Ladislav Markovič

*Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15, Bratislava, Slovensko,
ladislav.markovič@shmu.sk*

1 Úvod

Na základe výstupov správy medzivládneho panelu pre zmenu klímy (IPCC, 2021) sa pri pokračujúcom náraste globálnej teploty predpokladá, že výdatné zrážky budú vo všeobecnosti častejšie a intenzívnejšie, pričom nárast frekvencie silných zrážok bude nelineárny a s vysokou spoľahlivosťou bude vyšší pri zriedkavejších udalostiach s pravdepodobným zdvojnásobením až strojnásobením frekvencie 10-ročných a 50-ročných udalostí.

Na Slovensku, krajine s rôznorodou topografiou a vysokým percentom obyvateľstva sústredeným v mestských sídlach, je analýza predpokladaného budúceho vývoja hodnôt maximálnych viacdenných úhrnov zrážok kľúčová pre analýzu povodňového rizika alebo návrhy cestnej infraštruktúry a dopravných stavieb. V tejto práci sa preto zaoberáme analýzou scenárov vývoja maximálnych súm 5-denných úhrnov atmosférických zrážok (Rx5D) v období 2020 - 2099 na základe výstupov regionálnych klimatických modelov EURO-CORDEX (Kotlarski et al. 2014) pre 3 emisné scenáre RCP 2.6, RCP 4.5 a RCP 8.5 pre rok (I – XII) teplý polrok (IV – IX) a chladný polrok (X – III). Analýza výstupov klimatického modelovania Rx5D prináša nové poznatky do problematiky hodnotenia rizík spojených s výskytom extrémnych zrážok a je logickým pokračovaním predchádzajúcich spracovaní zaoberajúcimi sa dynamickou klimatológiou Rx5D (Markovič et al. 2021) a regionálnou frekvenčnou analýzou Rx5D (Markovič a Faško 2024).

2 Použité údaje a metodika

Na prípravu scenárov vývoja maximálnych ročných a sezónnych Rx5D v období 2020 - 2099 boli použité mediánové hodnoty projekcií denných úhrnov atmosférických zrážok, ktoré boli získané z 5 regionálnych klimatických modelov EURO-CORDEX (CNRM, MPI, NORESM, ECEARTH, MOHC) s rozlíšením 12 x 12 km pre 3 emisné scenáre RCP 2.6, RCP 4.5 a RCP 8.5 pre 66 klimatologických staníc. Tieto výstupy boli pripravené na Odbore klimatologická služba SHMÚ v rámci novej národnej adaptácie SR na zmenu klímy pod záštitou Ministerstva životného prostredia SR. Údaje boli zvalidované na základe historických staničných údajov v období 1951 - 2025.

Za 5-denný úhrn zrážok boli v analýze považované také situácie, pri ktorých musel byť v každý deň tohto 5-denného obdobia nameraný nenulový denný úhrn zrážok. Rx5D boli vypočítané z denných úhrnov atmosférických zrážok získaných z klimatických projekcií ako maximálne mesačné sumy viacdenných úhrnov atmosférických zrážok, na základe ktorých boli identifikované maximálne ročné (I-XII) a sezónne hodnoty pre teplý polrok TP (IV-IX) a chladný polrok CHP (X-III).

Analýza výstupov klimatického modelovania bola zameraná na bodovú analýzu stacionarity mediánových hodnôt časových radov klimatických projekcií Rx5D v období 2020 – 2099 použitím Mann-Kendallovho testu a Senovho odhadu sklonu a identifikáciu relatívneho nárastu hodnôt Rx5D porovnaním priemeru hodnôt v obdobiach 2006 – 2025 a 2080 – 2099 na staničnej úrovni.

3 Výsledky

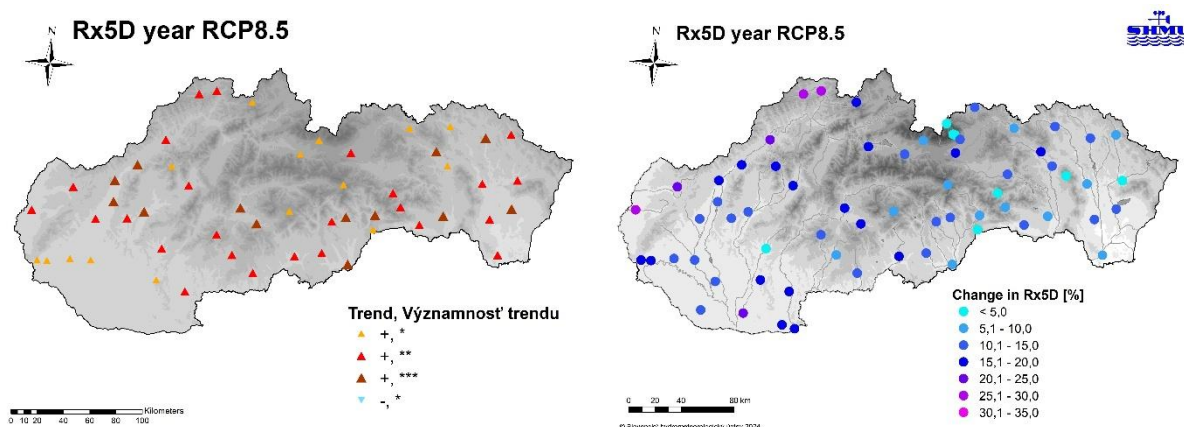
Na základe trendovej analýzy sezónnych Rx5D (Tab.1) je možné konštatovať, že pre scenáre RCP2.6 a RCP4.5 sú časové rady na väčšine staníc stacionárne – bez výskytu štatisticky významných trendov. Naopak pre emisný scenár RCP8.5 bol vo všetkých analyzovaných sezónach identifikovaný nárast počtu staníc so štatisticky významnými trendmi, pričom všetky trendy mali rastúcu tendenciu. Prejavil sa tu však signifikantný rozdiel medzi chladným CHP a teplým polrokom TP, keď štatistický významný trend bol v CHP určený až na viac ako 90 % analyzovaných staníc, o 75 % viac ako v TP (15,1 %), pričom táto vysoká relatívna početnosť sa premietla aj do vysokej početnosti staníc s rastúcim

trendom v rámci maximálnych ročných hodnôt Rx5D (80,3 %) (Tabuľka.1) (Obrázok.1). Pre emisný scenár RCP8.5 bol v horizonte 2080 – 2099 zároveň identifikovaný aj percentuálne najväčší nárast priemerných hodnôt Rx5D až na hladine 25 – 30 % v porovnaní s obdobím 2006 – 2025, a to predovšetkým v západnej polovici územia, konkrétne na Záhorí a na Kysuciach (Obrázok 1).

Na základe výstupu použitých RCMs je tak možné konštatovať, že pre emisný scenár RCP8.5 je možné predovšetkým v chladnom polroku očakávať významný nárast Rx5D.

Tabuľka 1: Relatívna početnosť staníc [%] so štatisticky významným trendom (sign_trend) v období 2020 - 2099 a priemerným relatívnym (minimálnym; maximálnym) rozdielom hodnôt [%] Rx5D v obdobiach 2006 – 2025 a 2080 – 2099 pre emisné scenáre RCP2.6, RCP4.5 a RCP8.5.

Scenár	Rok		Teplý polrok		Chladný polrok	
	sign_trend [%]	delta25_99 [%]	sign_trend [%]	delta25_99 [%]	sign_trend [%]	delta25_99 [%]
RCP2.6	3,0	1,3 (-10,6;10,6)	6,1	1,8 (-12,1;14,7)	6,1	2,6 (-10,3;12,5)
RCP4.5	9,1	6,4 (-1,7;16,6)	7,6	7,4 (-3,3;25,5)	6,1	5,9 (-7,7;21,5)
RCP8.5	80,3	12,6 (-0,8;26,7)	15,1	9,8 (-2,4;26,7)	90,9	14,9 (1,6;26,7)



Obrázok 1: Stanice s identifikovaným štatisticky významným nárastom ročných Rx5D na hladinách významnosti 0,05 (); 0,01 (**) a 0,001 (***) vľavo a relatívna zmena ročných Rx5D v obdobiach 2006 – 2025 a 2080 – 2099 pre emisný scenár RCP8.5 vpravo.*

4 Záver

Na základe výstupov trendovej analýzy klimatických modelov bolo pre sezónne hodnoty Rx5D možné identifikovať významný rastúci trend a to predovšetkým pre chladný polrok (CHP) a emisný scenár RCP8.5. V chladnom polroku sú na našom území hlavným zdrojom maximálnych viacdenných úhrnov atmosférických zrážok predovšetkým stratiformné zrážky, ktoré bývajú v horských oblastiach častokrát zosilnené vplyvom náveterných a zúveterných efektov. Hlavným faktorom podmieňujúcim detegovaný nárast maximálnych hodnôt Rx5D na juhu a západe územia je tak pravdepodobne relatívna zmena cirkulačných podmienok v chladnom polroku. V chladnom polroku a konkrétnejšie v zimných mesiacoch (DJF) je aj v súčasnosti identifikovaný nárast pomeru tekutých zrážok na úkor tuhých a zmiešaných zrážok (Markovič et al. 2020) a zároveň aj nárast ich intenzity. Táto skutočnosť sa pravdepodobne odzrkadlila aj vo výstupoch klimatických modelov a pre emisný scenár RCP8.5, sa to prejavilo v podobe opakovaného výskytu vyšších hodnôt päťdenných úhrnov atmosférických zrážok.

Trendová analýza výstupov klimatického modelovania maximálnych súm 2 a 5-denných úhrnov atmosférických zrážok pre súbor 66 staníc v rámci emisných scenárov RCP2.6, RCP4.5 a RCP8.5

uvádzaná v našom spracovaní má potenciál poskytnúť praktické dôsledky pre budúce hospodárenie s vodnými zdrojmi, hodnotenie povodňového rizika a pripravované adaptačné stratégie na zmenu klímy na Slovensku.

5 Literatúra

IPCC (2021). Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

KOTLARSKI S, et al. (2014). Regional climate modeling on European scales: A joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble (2014) Geoscientific Model Development, 7 (4), pp. 1297-1333. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1297-2014>

Markovič, L., Faško, P. (2024). Regional frequency analysis for maximum 5-day precipitation totals using L-moments approach in Slovakia. *Theor Appl Climatol* (2024). <https://doi.org/10.1007/s00704-024-04970-2>

Markovič L, Faško P, Pecho J (2021) Climatology of the extreme heavy precipitation events in Slovakia in the 1951–2020 period. *Acta Hydrol Slovaca* 22(2):294–303. 2644–6291 (printed until 2018). <https://doi.org/10.31577/ahs-2021-0022.02.0033>

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

Analýza meteorologických situácií v kontexte veľkých lavín

Filip Poljak

Univerzita Komenského v Bratislave, Fakulta matematiky fyziky a informatiky, Mlynská dolina, blok F1, 842 48, Bratislava, Slovenská republika, poljak12@uniba.sk

1 Úvod

V práci sa zaoberáme problematikou lavín v súvislosti s meteorologickými prvkami, ktoré vplyvajú na lavínovú situáciu. Cieľom je identifikovať a analyzovať kľúčové meteorologické prvky ako napríklad teplota vzduchu, zrážky, resp. nový sneh, vietor a slnečné žiarenie a ich vplyv na vývoj lavínovej situácie na území Vysokých a Západných Tatier. Analyzujeme aj geografické predpoklady na vznik lavín, ako sú sklon svahu a orientácia svahu.

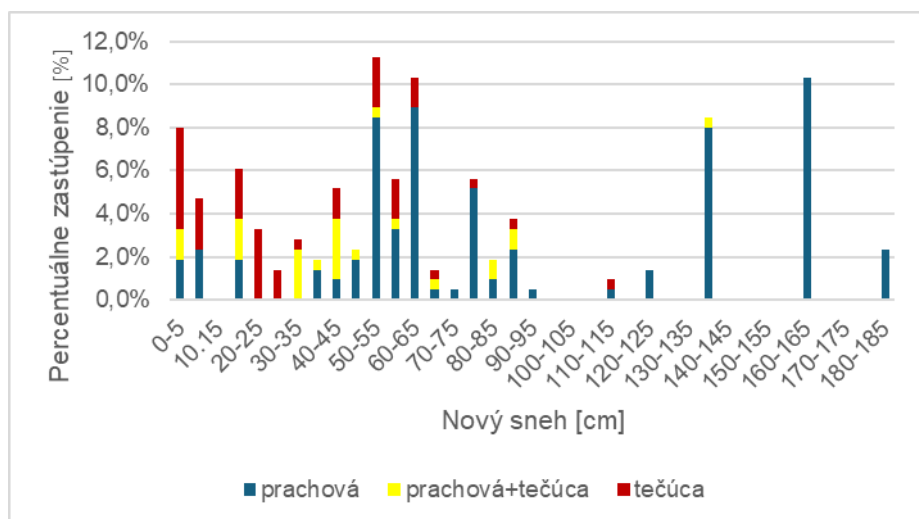
2 Metodika práce

V práci pracujeme s dátami, ktoré nám poskytli Slovenský hydrometeorologický ústav a Horská záchranná služba. Ďalej pracujeme s voľne dostupnými dátami z meteorologických staníc z Poľska. Patria sem evidencie lavín, stupňov lavínového nebezpečenstva a namerané hodnoty meteorologických prvkov z analyzovaného územia. Na spracovanie týchto dát sme použili štatistické metódy a vypracovali grafy na priblíženie vplyvu jednotlivých nameraných meteorologických prvkov.

Pracujeme s lavínami evidovanými v zimách 1999/2000, 2008/2009 a 2018/2019 na území Západných a Vysokých Tatier. Výber období nebol náhodný, snažili sme sa vybrať obdobia kedy boli zaznamenané lavínové nebezpečenstvá 4. a 5. stupňa čo zodpovedá veľkému až veľmi veľkému lavínovému nebezpečenstvu, podľa medzinárodnej stupnice lavínového nebezpečenstva. Práve v týchto obdobiach sme predpokladali zvýšený výskyt lavín na nami vybranom území.

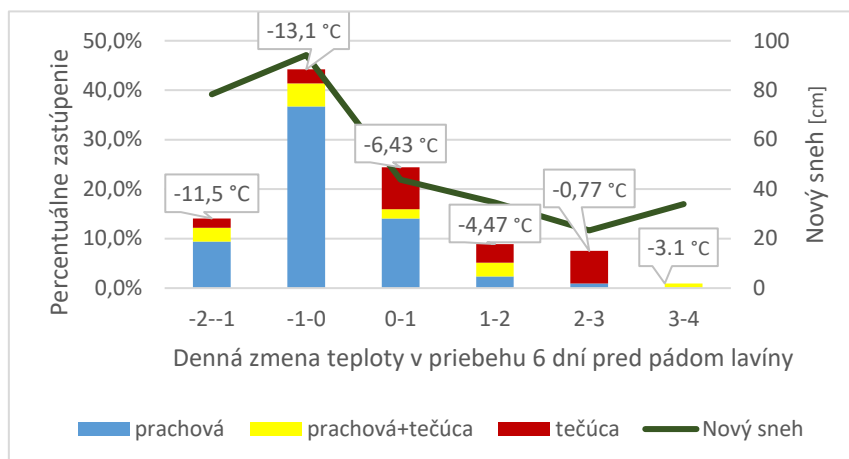
3 Výsledky

Množstvo nového snehu je jedným s rozhodujúcich faktorov pri vyhodnocovaní lavínovej situácie. Z evidovaných lavín sme vytvorili histogram, v ktorom máme rozdelené množstvá napadnutého snehu v 5 centimetrových intervaloch a percentuálne zastúpenie lavín, ktoré padli pri danom množstve nového snehu za poslednú periódu sneženia. Dodatočne sme rozdelili lavíny podľa typu pohybu, čo nám môže priblížiť vplyv iných faktorov na snehovú pokrývku.



Obrázok 1: percentuálne zastúpenie a typ pohybu evidovaných lavín pri rôznych hodnotách novo napadnutého snehu za poslednú periódu sneženia. Získané spracovaním údajov z evidencie lavín a nameraných hodnôt z meteorologických staníc

Teplota výrazným spôsobom ovplyvňuje lavínovú situáciu už len tým, že spolu so zrážkami tvoria predpoklad na sneženie. Samotná denná teplota však pravdepodobne nebude mať veľký vplyv na lavínovú situáciu, pokiaľ nepresahuje 0°C. Zaujímavé z hľadiska lavínového nebezpečenstva je pozorovať ako sa teplota vzduchu v čase mení, respektíve aká je zmena teploty v priebehu dní.



Obrázok 2: percentuálne zastúpenie padnutých lavín pri rôznych denných zmenách teploty vzduchu v priebehu 6 dní. Zeleným vyznačené priemerné množstvo nového snehu za poslednú periódu sneženia pri jednotlivých zmenách teploty. V bublinách priemer z teploty vzduchu v deň pádu lavíny. Získané spracovaním údajov z evidencie lavín a nameraných hodnôt z meteorologických staníc

4 Záver

Výsledky, ktoré sme získali v našej práci poskytujú základný pohľad na analýzu lavínovej problematiky. Je však potrebné povedať, že pri takomto spracovaní údajov a štatistickom vyhodnotení by bolo vhodné pracovať s väčším množstvom dát, čím by sme docielili vyššiu spoľahlivosť výsledkov.

Výsledky našej práce ukazujú, že najväčší vplyv na lavínovú situáciu budú mať najmä zrážky, resp., množstvo napadnutého snehu, teplota a rýchlosť a smer vetra. Sneh predstavuje stavebný materiál lavín, z čoho vyplýva, že lavínová situácia bude výrazným spôsobom ovplyvnená snehovými pomermi v jednotlivých lokalitách. S rastúcim množstvom nového snehu sme pozorovali väčšie percentuálne zastúpenie prachových lavín, ku ktorým došlo práve z nového snehu za poslednú periódu sneženia. Pri menších hodnotách nového snehu prevládali skôr prachovo-tečúce a tečúce lavíny, kde sme zaznamenali vplyv iných meteorologických prvkov, najmä teploty a rýchlosti vetra.

5 Literatúra

- Slovenská lesnícka spoločnosť *Klimatické pomery Vysokých Tatier*, Tatranská Lomnica: Scientica, s.r.o., 2012, Odborná štúdia k projektu OPVV 26220220087, s. 9–14.
- Slovenský hydrometeorologický ústav 2022. *Klimatologické a fenologické normály v období 1991/2020*, [CD-ROM], Bratislava: SHMÚ. [s.a.]
- Schweizer, J. Jamieson, J.B. Schneebeli, M. 2003. *Snow avalanche formation*, Reviews of Geophysics, roč. 41, č. 4, 1016 s., Dostupné z doi: 10.1029/2002RG000123
- Mair, R., Nairz, P. 2018. *Lawine: Die entscheidenden Probleme und Gefahrenmuster erkennen, Das Standardwerk zur Schnee- und Lawinenkunde*, 5, vyd, Innsbruck: Tyrolia-Verlag, 232 s., ISBN 978-3-7022-3504-8.

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu APVV...

Využitie meteorologických dát pri výpočte začiatku rojenia lykožrúta smrekového (*Ips typographus* L.) v oblasti Horehronia

Ing. Jozef Rozkošný, PhD.¹

¹*Slovenský hydrometeorologický ústav, Odbor klimatologická služba, Jeséniová 17 Bratislava 833 15, jozef.rozkosny@shmu.sk*

1 Úvod

Lesy v strednej Európe sú čoraz viac stresované vysokými teplotami vzduchu a suchom, najmä počas vegetačného obdobia. Tieto podmienky sú často spojené s aktivizáciou podkôrneho hmyzu (ALLEN ET. AL. 2010), na smreku najmä lykožrútom smrekovým. Alarmujúci je trend zastúpenia smreka na Slovensku, ktorý za posledné desaťročia výrazne klesol z 26 % (1970) na 21,1 % (2024) (ZELENÁ SPRÁVA 2024). Takýto pokles zastúpenia smreka je výsledkom komplexu faktorov ako zmena klimatických podmienok, aktivizácia podkôrneho hmyzu atď. Práve včasná aktívna ochrana lesa (feromónový monitoring, klasické lapáky) môžu výraznou mierou znižovať populáciu lykožrúta smrekového a znižovať škody na smrekových ekosystémoch. Ich včasnosť vieme vypočítať práve pomocou meteorologických charakteristík, ako teplota vzduchu v spojení s modelom PHENIPS.

2 Metodika práce

Začiatok rojenia bol vypočítaný na základe modelu PHENIPS. Tento model výpočtu rojenia sa zakladá na prahovej priemernej dennej teplote vzduchu a jej sumy kladnej odchýlky vzduchu. Prahová hodnota bola určená ako denná priemerná teplota vzduchu 8,3 °C. Kladné odchýlky od tejto dennej priemernej teploty vzduchu sa spočítavajú od 1.4. v danom roku. Pri dosiahnutí sumy 60 dennostupňov a viac nastáva začiatok rojenia. Ďalšou podmienkou rojenia je dosiahnutie maximálnej dennej teploty vzduchu 16,5 °C a viac 3 nasledujúce dni po sebe (BEIER ET. AL. 2007; FLEISCHER ET. AL. 2016). Vzhľadom na extrémne teploty vzduchu v závere zimy 2023/2024 a začiatkom jari 2024 sme začali počítat dennostupne vplývajúce na vývoj lykožrúta už od 1.1. v sledovanom období. Predpokladáme, že vo výrazne sa meniacich klimatických podmienkach, ako tomu bolo v roku 2024 je potrebné posunúť začiatok výpočtu už od 1.1.

Priemerné denné teploty vzduchu pre lokalitu Horehronia sme vypočítali na základe tzv. gridovaných dát s veľkosťou bunky 1x1 km. Je to priestorová vrstva interpolovaná z nameraných údajov meteorologickej siete SHMÚ. Tento výpočet je založený na metóde interpolácie, ktorú vytvoril FREI (2014) pre územie Švajčiarska, následne bola implementovaná aj pre Rakúsko (HIEBL A FREI, 2016). Jedná sa o tzv. dvojzložkový postup interpolácie, založený na počítaní tzv. pozadovej a reziduálnej teploty. Pri požadovanej teplote sa aproximuje parametrická funkcia na vertikálny teplotný profil staníc. Reziduálna teplota odráža rôzne teplotné anomálie oproti vypočítanej pozadovej teplote, ktoré sa prejavujú len v menšej oblasti. Interpolácia reziduálnej teploty prebieha na neeuklidovských vzdialenostiach a je pri nej zohľadnený parameter bariérneho efektu georeliéfu (FREI 2014).

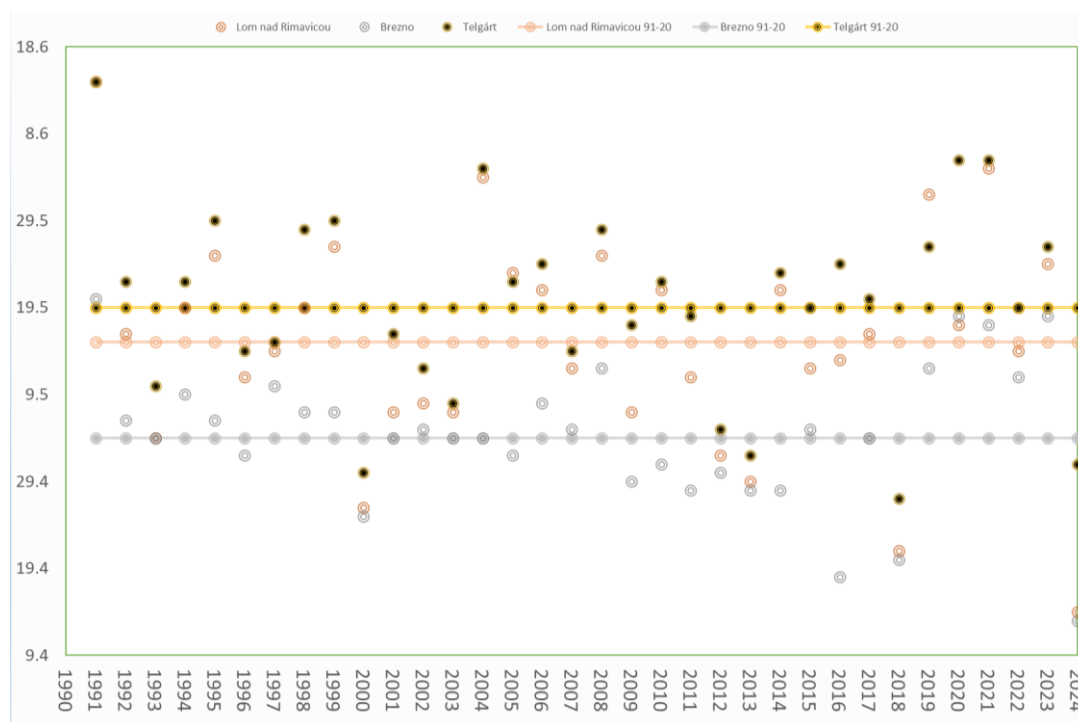
Vypočítaný nástup rojenia lykožrúta smrekového, sme porovnali s odchytmi lykožrúta smrekového v rámci feromónového monitoringu na jednotlivých lesných správach nachádzajúcich sa na území OZ Horehronie podľa STN 48 2711.

3 Výsledky

Klimatické podmienky sa na Slovensku výrazne menia. Túto skutočnosť potvrdil aj rok 2024, ktorý bol najteplejší od začiatku meteorologických meraní na Slovensku. Zima 2023/2024 bola v porovnaní s dlhodobým normálom 1991-2020 extrémne teplá. Celkovo na Slovensku táto zima skončila ako najteplešia od začiatku meteorologických meraní. Priemerná mesačná teplota vzduchu bola na viacerých meteorologických staniaciach vo februári 2024 porovnateľná už s teplotami vzduchu vyskytujúcimi sa v jarných mesiacoch. S takto extrémnym priebehom februára súvisela aj absentujúca

snehová pokrývka, či nadpriemerne vysoké teploty pôdy. Komplex týchto klimatických faktorov umožňoval extrémne skorý nástup jarných fenologických fáz drevín, ale aj podkôrneho hmyzu.

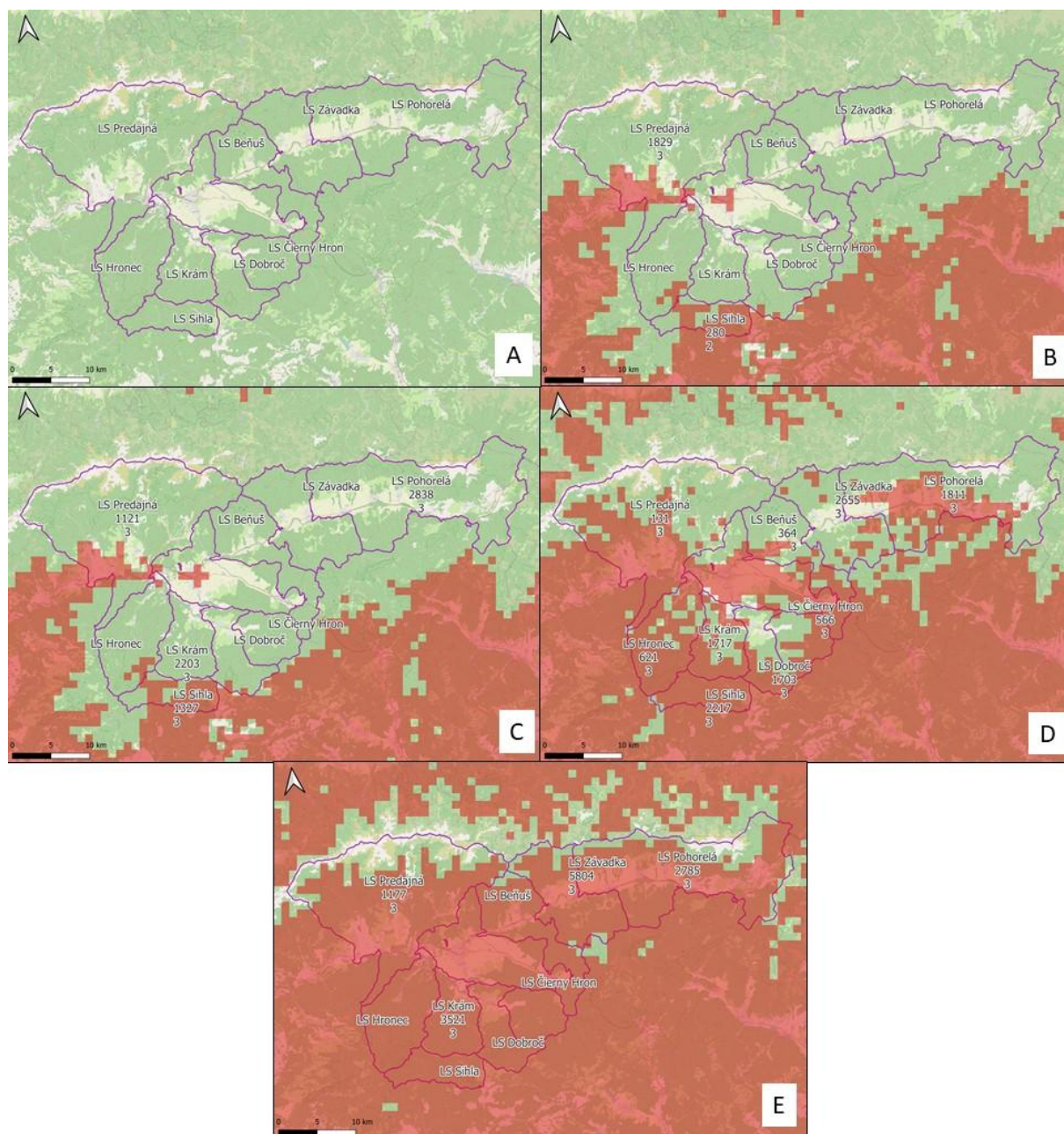
Od roku 1990 zaznamenávame v lokalite Horehronia čoraz skorší začiatok rojenia. V roku 2024 to bolo v lokalite Brezno už 14.4.2024, v Lome nad Rimavicou 15.5.2024, čo predstavuje najskorší začiatok rojenia lykožrúta smrekového aspoň od roku 1990. V lokalite Telgárt začiatok rojenia nastal 2.5.2025, čo je 3. najskorší nástup rojenia v tejto lokalite (Obrázok 1). V priebehu februára a marca boli v lokalite Horehronia dlhodobo vysoké priemerné denné teploty vzduchu, ktoré pravdepodobne spôsobili takto skorý začiatok rojenia.



Obrázok 1. Začiatok rojenia lykožrúta smrekového na základe výpočtu modelu PHENIPS v lokalite Telgárt, Lom nad Rimavicou a Brezno od roku 1990 do 2024 a porovnanie začiatku rojenia s dlhodobým priemerom 1991-2020

Nástup rojenia lykožrúta na OZ Horehronie v závislosti od začiatku výpočtu (od 1.1. a od 1.4.) v roku 2024

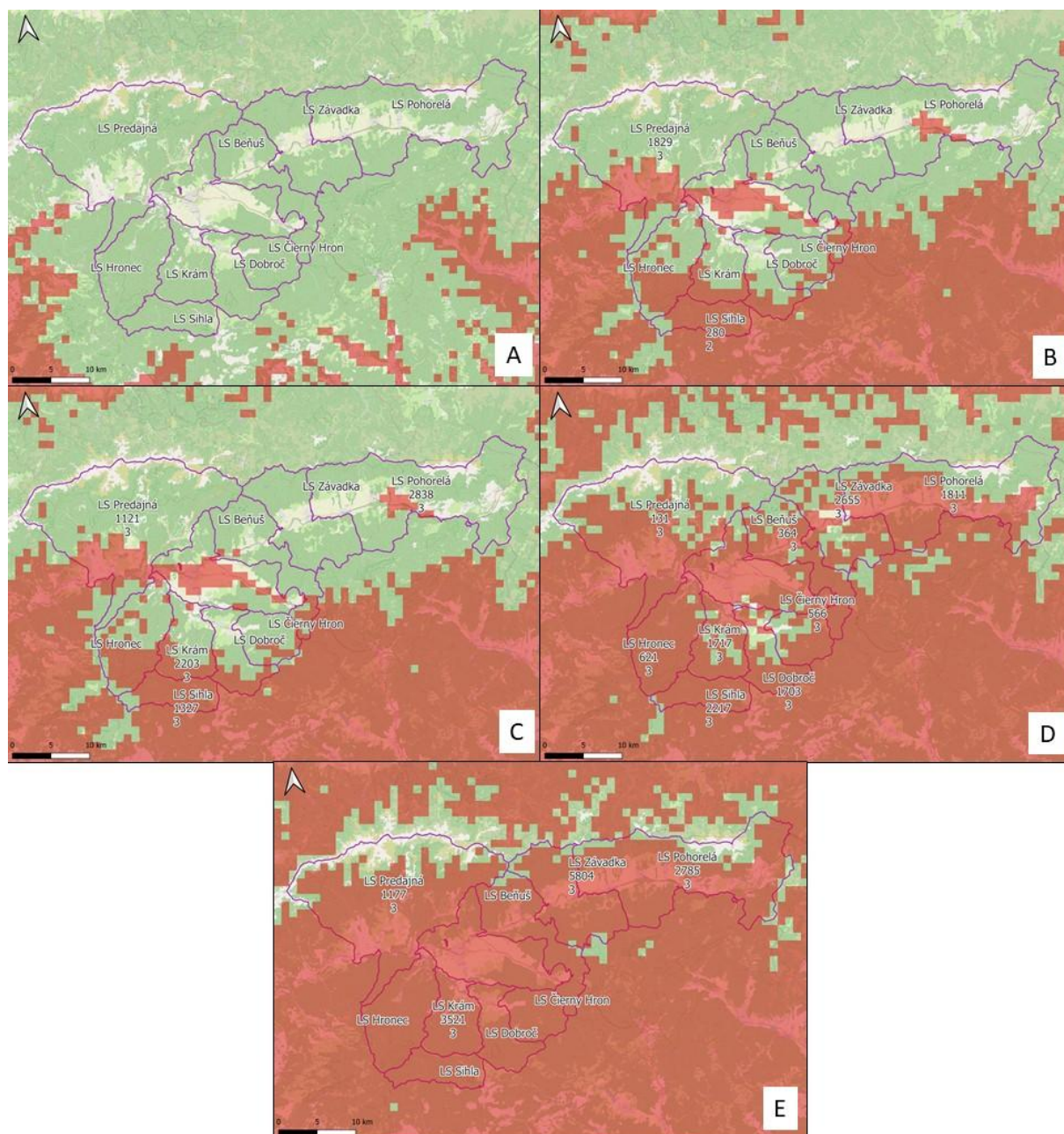
Ako môžeme vidieť na mapách (Obrázok 2) tak 11. apríla ešte neboli splnené podmienky rojenia ani na jednom z území lesných správ. V období okolo 18. apríla už boli splnené podmienky rojenia na LS Predajná a LS Sihla. V tomto období boli zaznamenané aj prvé odchvy lykožrúta smrekového lesnými pracovníkmi práve v územiach týchto lesných správ. V období okolo 25. apríla sa územia, kde boli splnené podmienky pre rojenie nerozšírili (vplyv chladnej dekády v apríli), avšak na ďalších lesných správach boli zaznamenané odchvy (LS Krám, LS Pohorelá). V období okolo 2. mája boli splnené podmienky na viacerých miestach územia OZ Horehronie. Súčasne sú zachytené aj odchvy lykožrútov v lapačoch v každej lesnej správe v tomto období. Od 9. mája sú splnené podmienky prakticky na celom území OZ Horehronie s výnimkou najvyšších polôh.



Obrázok 2. Nástup rojenia podľa výpočtu od 1.4. a odchty v jednotlivých LS na území OZ Horehronie v roku 2024 (v dátumoch: A: 10.4., B: 17.4., C: 24.4., D: 1.5., E: 8.5.)

Pre porovnanie rojenie vypočítané od 1.1. v období okolo 11. apríla boli už v najnižších polohách Horehronia takmer splnené podmienky pre rojenie lykožrúta. okolo 18. apríla vo viacerých lesných správach. Navyše v porovnaní s klasickým výpočtom od 1.4. to bolo aj v LS Dobroč, LS Krám, ale aj LS Pohorelá. V nasledujúcom období sa územie kde boli splnené podmienky pre rojenie lykožrúta nerozšírilo vplyvom chladnej epizódy v tomto období. Od 1.5. boli splnené podmienky na väčšine územia s výnimkou najvyšších polôh, v súlade boli aj odchty lykožrúta smrekového v rámci každej LS na území OZ Horehronia v tomto období. Od 8.5. boli podmienky pre rojenie lykožrúta splnené už prakticky na celom území. Vypočítaný začiatok rojenia od dennostupňov od 1.1. bol v priemere posunutý o 10 dní v porovnaní so začiatkom výpočtu od 1.4. (Obrázok 3).

Zaujímavé je, že počas celého sledovaného obdobia boli zaznamenané silné odchty lykožrútov v lapačoch jednotlivých lesných správ, čo môže byť dôsledok nadpriemerne teplej zimy a pravdepodobne prakticky žiadnej mortality prezimovaných imág lykožrúta smrekového.



Obrázok 3. Nástup rojenia podľa výpočtu od 1.1. a odchty v jednotlivých LS na území OZ Horehronie v roku 2024 (v dátumoch: A: 10.4., B: 17.4., C: 24.4., D: 1.5., E: 8.5.)

4 Záver

Výsledky našej práce poukazujú na model PHENIPS ako vhodný ukazovateľ na výpočet začiatku rojenia lykožrúta smrekového, a tým aj vhodné načasovanie ochranných opatrení proti tomuto škodcovi. Podľa našich zistení, aktuálna metodika výpočtu od 1.4. už nie je dostatočujúca najmä v klimaticky extrémnych podmienkach ako tomu bolo v závere zimy 2023/2024 a počas jari 2024. Z tohto dôvodu je vhodné počítať sumy efektívnych teplôt už od 1.1. v danom roku, čo potvrdzujú aj odchty lykožrútov prostredníctvom odborných lesných hospodárov na OZ Horehronie, ktoré boli viac v súlade s výpočtom od 1.1.

5 Literatúra

- Allen C., Macalady A., Chenchouni H., et. al. 2010: A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests, *Forest Ecology and Management*,
- Baier P., Pennerstorfer J., Schopf P., 2007: PHENIPS—A comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation, *Forest Ecology and Management*, Volume 249, Issue 3, 171-186.
- Faško P., Kajaba P., Rozkošný J., et. al., 2024: Zhodnotenie jari 2024. Dostupné na internete: https://www.shmu.sk/File/prednasky/SHMU_PPT_jar24.pdf.
- Fleischer P. jr., Fleischer P., Frenčík J. et. al. 2016: Elevated bark temperature in unremoved stumps after disturbances facilitates multi-voltinism in *Ips typographus* population in a mountainous forest. *Lesn. Cas. For. J.* 62. 15–22. <https://doi.org/10.1515/forj-2016-0002>.
- Frei C., 2014: Interpolation of temperature in a mountainous region using nonlinear profiles and non-Euclidean distances. *International Journal of Climatology*, 34(5).
- Hiebl J., Frei C., 2016: Daily temperature grids for Austria since 1961 concept, creation and applicability. *Theoretical and applied climatology*, 124(1), 161-178.
- Hroščo B., Mezei P., Potterf. et. al. 2020: Drivers of Spruce Bark Beetle (*Ips typographus*) Infestations on Downed Trees after Severe Windthrow. *Forests*, 11(12), 1290. <https://doi.org/10.3390/f11121290>
- Kunca, A.: Sanitary felling in Slovak forests in 2023. *APOL*, 2024, vol. 5, no. 2, 189–196.
- Labudová, L., Ivaňáková G., Faško P. et al. 2024: Changes in drought occurrence and intensity in the context of climate change in Slovakia. *Theor Appl Climatol* 155, 4009–4022. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-04864-3>.
- Netherer S., Schebeck M., Morgante G. et. al., 2022: European Spruce Bark Beetle, *Ips typographus* (L.) Males Are Attracted to Bark Cores of Drought-Stressed Norway Spruce Trees with Impaired Defenses in Petri Dish Choice Experiments. *Forests*, 13, 537. <https://doi.org/10.3390/f13040537>
- STN 482711: Ochrana lesa. Ochrana lesa proti hlavným druhom podkôrneho hmyzu na smreku.
- Wermelinger, B., Seifert, M., 1998: Analysis of temperature dependent development of spruce bark beetle *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolitidae). *Journal of Applied Entomology*, 122:185–191.
- Zelená správa 2024: Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2023, 78.

Validácia gridovaných údajov UTCI založených na reanalýze ERA5 v porovnaní so staničnými meraniami na území Slovenska

Mgr. Kristína Szabóová¹

¹Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova, 17, 833 15,
Bratislava, Slovenská republika, kristina.szaboova@shmu.sk

¹Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského, Mlynská dolina F1, 842 48,
Bratislava, Slovenská republika, kristina.szaboova@fmph.uniba.sk

1 Úvod

Univerzálny index tepelného komfortu (UTCI) predstavuje komplexný biometeorologický ukazovateľ tepelného stresu človeka v exteriéri, ktorý spája vplyv teploty vzduchu, vlhkosti, vetra a slnečného žiarenia do jedného ekvivalentného teplotného parametra. V posledných rokoch sa UTCI široko využíva v oblasti skúmania vplyvu počasia na ľudské zdravie, klimatických dopadov a včasného varovania pred extrémnymi teplotnými situáciami.

Napriek jeho rastúcej popularite existuje len obmedzený počet regionálnych validácií gridovaných údajov UTCI, najmä v podmienkach strednej Európy. Presnosť týchto údajov môže byť ovplyvnená zjednodušeným terénom a priestorovým spriemerovaním v reanalýzach, čo je obzvlášť dôležité v členitých oblastiach Karpát. Cieľom tejto štúdie je preto zhodnotiť spoľahlivosť hodnôt UTCI odvodených z reanalýzy ERA5 v porovnaní s údajmi vypočítanými z meraní na 30 meteorologických staniách Slovenska za obdobie 2002–2022.

2 Metodika práce

Na výpočet UTCI z reanalýzy ERA5 boli použité základné meteorologické premenné – teplota vzduchu, relatívna vlhkosť, rýchlosť vetra a globálne slnečné žiarenie (Di Napoli et al., 2020). Výpočet sa realizoval podľa oficiálneho postupu definovaného pre UTCI (Jendritzky et al., 2012). Staničné hodnoty UTCI ($UTCI_{MEA}$) boli vypočítané z hodinových meraní meteorologických staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu a následne porovnané s gridovanými hodnotami UTCI ($UTCI_{GRID}$) odvodenými z ERA5.

Porovnanie zahŕňalo analýzu dlhodobých priemerov, extrémnych hodnôt a kategórií tepelného stresu (Tabuľka 1). Na kvantifikáciu rozdielov boli použité štatistické ukazovatele ako korelačný koeficient (r), odmocnená stredná kvadratická odchýlka (RMSE) a vážená absolútna percentuálna chyba (WAPE). Hodnotila sa aj sezónnosť a vplyv nadmorskej výšky, s osobitným zameraním na rozlíšenie nížinných, stredných a horských staníc.

Tabuľka 2: Kategórie indexu UTCI

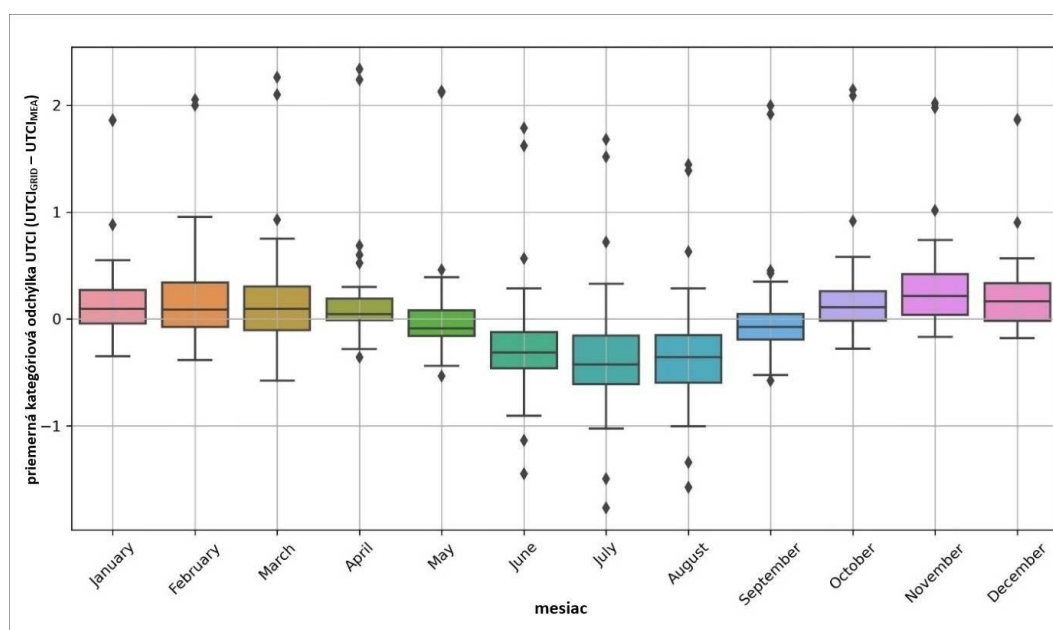
UTCI [°C]	Kategória UTCI	Číslo kategórie
pod -40	Extrémny chladový stres	1
-40 až -27	Veľmi silný chladový stres	2
-27 až -13	Silný chladový stres	3
-13 až 0	Mierny chladový stres	4
0 až 9	Slabý chladový stres	5
9 až 26	Bez tepelného stresu	6
26 až 32	Mierny tepelný stres	7
32 až 38	Silný tepelný stres	8
38 až 46	Veľmi silný tepelný stres	9
nad 46	Extrémny tepelný stres	10

3 Výsledky

Výsledky ukázali, že medzi údajmi $UTCI_{GRID}$ a $UTCI_{MEA}$ existuje veľmi dobrá zhoda v nížinných oblastiach Slovenska, najmä počas letného obdobia, kde korelácia dosahovala hodnoty nad 0,9. V horských oblastiach, najmä v Tatrách a na severe krajiny, sa však presnosť výrazne znižuje. To súvisí s tým, že reanalýza ERA5 zobrazuje terén zhladenejšie, čo spôsobuje podhodnocovanie chladových extrémov a nadhodnocovanie miernych hodnôt.

Rozdiely v počte dní s extrémnym tepelným stresom ukázali, že ERA5 má tendenciu podceňovať výskyt dní so silným chladovým stresom vo vyšších nadmorských výškach, zatiaľ čo počet dní s extrémnym teplom je v nížinách pomerne dobre zachytený (Obrázok 1). Analýza potvrdila, že nezhody medzi dátovými súbormi sa vyskytujú najmä pri chladovom strese a vo vyšších nadmorských výškach.

Zistené výsledky naznačujú, že $UTCI$ odvodené z ERA5 sú vhodné pre analýzy regionálnych a mezoškálových trendov, ako aj pre systémy včasného varovania na regionálnej úrovni. Na druhej strane, pre detailné lokálne analýzy, štúdie mikroklimy a aplikácie v horskom turizme je ich použitie výrazne obmedzené.



Obrázok 1: Priemerná odchýlka medzi $UTCI_{GRID}$ a $UTCI_{MEA}$ podľa kategórií v priebehu mesiacov.

4 Záver

Štúdia potvrdila, že gridované údaje $UTCI$ odvodené z reanalýzy ERA5 spoľahlivo reprezentujú priestorové a sezónne vzorce tepelného stresu v nížinách a stredných polohách Slovenska. V členitých oblastiach, najmä v Karpatskom oblúku, však dochádza k významným odchýlkam v dôsledku priestorového spriemerovania terénu a limitovaného rozlíšenia vstupných údajov.

Výsledky poukazujú na potrebu regionálnej validácie reanalytických produktov pred ich aplikáciou v lokálnych podmienkach. Napriek týmto obmedzeniam má $UTCI$ založený na údajoch ERA5 potenciál zlepšiť monitorovanie teplotných rizík, podporiť výstražné systémy a zvýšiť povedomie verejnosti o účinkoch horúčav a chladových epizód na zdravie obyvateľstva.

5 Literatúra

Di Napoli, C., Hogan, R. J., & Pappenberger, F. (2020). Mean radiant temperature from ERA5 reanalysis data. *International Journal of Biometeorology*, 64, 1233–1248.

Jendritzky, G., Havenith, G., Weihs, P., & Batchvarova, E. (2012). UTCI – a Universal Thermal Climate Index. *Int. J. Biometeorol.*, 56, 431–440.

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia vedeckého projektu Central European Alliance for Increasing Climate Change Resilience to Combined Consequences of Drought, Heatwave, and Fire Weather through Regionally-Tuned Forecasting (Clim4Cast), CE0100059 Interreg Central Europe, Co-funded by European Union

Representation learning of near-surface atmospheric fields

Martin Vozár^{1, 2, 3}

¹FMPH, Comenius University, Bratislava, Slovakia

²IBL Software Engineering, Bratislava, Slovakia

³Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia

1 Introduction

Recent advances in Numerical Weather Prediction (NWP) and Machine Learning Weather Prediction (MLWP) focus on high-resolution forecasts, increasing data volumes and straining computational efficiency. Computer Vision (CV) research has addressed efficiency in Deep Learning (DL) designs.

We adapt one such efficient architecture, the Single-Head Vision Transformer (SHViT), using its original repository. We configure the architecture for representation learning (finding a lower-dimensional data representation). This task serves as an interpretable baseline for model development and allows the architecture to be adapted for tasks like downscaling, forecasting, or general NWP post-processing.

Inspired by recent MLWP Generative Adversarial Networks (GANs), this study also examines techniques to enhance these methods.

2 Data

Experiments use data from the CERRA 5.5km reanalysis and the UKV 2.2km forecast rolling archive. For CERRA, we use selected regions (full size or with random crops for generalization). For UKV, we use a fixed region and the whole domain (with random crops of the same size).

Variables include 2m temperature and relative humidity, mean sea level pressure, and 10m wind speed. The exception is the full CERRA region, which uses u, v wind components. We use sample-wise, channel-wise robust scaling for normalization; preliminary tests showed it provided a more even error distribution than standard scaling. Other methods (e.g., log scaling, moving average) remain to be explored.

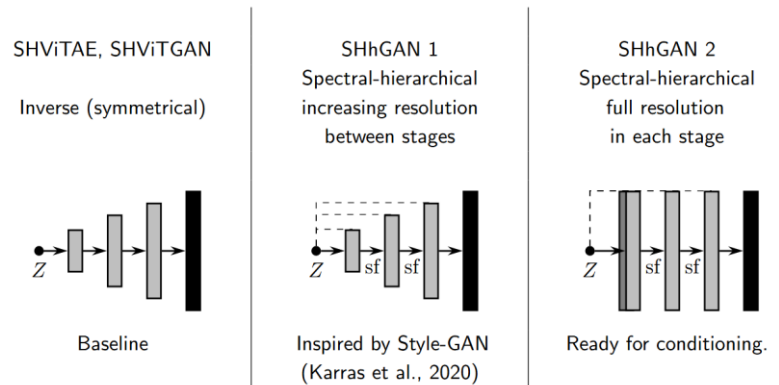
3 SHViT Modules

MLWP workflows often use CV-inspired modules like Convolutional Neural Networks (CNNs) to process gridded data, though recent research favors Vision Transformer (ViT) architectures.

We selected the Single-Head Vision Transformer (SHViT) for its computational efficiency; it uses less memory and time to achieve results comparable to many CNNs or ViTs. Its concise codebase simplifies modification and reuse, making it ideal for exploring architectural designs. We augmented the original Encoder by implementing a complementary Decoder/Generator.

We present results of SHViTAE, SHViTGAN, and SHhGAN 1 variants. For the GAN training, we combine Adversarial Auto-Encoder and GAN optimization strategies.

Fig. 1: Schematic visualization of developed variants of the Generator module.

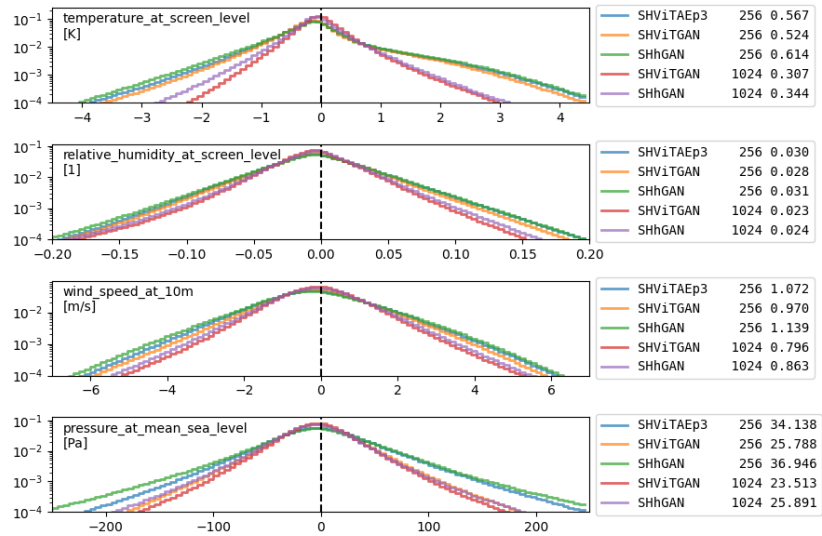


4 Results

We present result of the experiments on UKV 2.2km dataset.

Currently, the baseline architecture in GAN configuration performs the best. For mean sea level pressure it performs similarly well compared to SHhGAN with 4x the latent representation size.

Fig. 2: Distribution of difference of selected converged models and the ground truth. The first number represent the size of the latent representation, the second number represent the average error.



5 Discussion and Conclusion

The experiments show promising results at capturing the main character of near-surface atmospheric fields. Issues arise at small scales, such as convective events or isolated extremes.

Future work involves exploring additional datasets, developing the architectures further, as well as adapting the workflow to existing frameworks. This might include enforcing a more organized structure to the latent representation and more thorough and comprehensive evaluation.

6 References

- Schimanke, S. et al. (2021). CERRA sub-daily regional reanalysis data for Europe on single levels from 1984 to present. Accessed on 26-03-2025. doi: 10.24381/cds.622a565a. url: <https://doi.org/10.24381/cds.622a565a>.
- MetOffice (2025). Met Office UK Deterministic (UKV) 2 km. <https://registry.opendata.aws/met-office-uk-deterministic>. 2-year rolling archive. Accessed: 2025-05-01.
- Yun, Seokju a Youngmin Ro (2024). SHViT: Single-Head Vision Transformer with Memory Efficient Macro Design. arXiv: 2401.16456 [cs.CV]. url: <https://arxiv.org/abs/2401.16456>.
- Brochet, Clément et al. (2025). “Enriching Operational High-Resolution EnsembleForecasts with Generative Deep Learning”. In: Artificial Intelligence for the Earth Systems4.1. doi: 10.1175/AIES-D-24-0058.1. url: <https://doi.org/10.1175/AIES-D-24-0058.1>.
- Karras, Tero et al. (2020). Analyzing and Improving the Image Quality of StyleGAN. arXiv: 1912.04958 [cs.CV]. url: <https://arxiv.org/abs/1912.04958>.
- Lang, Simon et al. (2024). AIFS – ECMWF’s data-driven forecasting system. arXiv: 2406.01465 [physics.ao-ph]. url: <https://arxiv.org/abs/2406.01465>.
- Nipen, Thomas Nils et al. (2024). Regional data-driven weather modeling with a global stretched-grid. arXiv: 2409.02891 [physics.ao-ph]. url: <https://arxiv.org/abs/2409.02891>

This study is a part of NWP postprocessing framework development at IBL Software Engineering.

III. Sekcia mladých vodohospodárov

Modelling the Impact of Climate Change on an Urban Sewer Network

Raghad Awad ¹

¹*Slovak University of Technology in Bratislava , Department of Sanitary and Environmental Engineering , Faculty of Civil Engineering, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovakia, raghad.awad@stuba.sk*

1 Introduction

Urbanisation presents numerous challenges, including the management of stormwater, mitigation of drainage problems, and the intensification of the urban heat island effect. The extensive use of impervious surfaces, such as roads, pavements, and rooftops, along with extensive underground piping, accelerates surface runoff, reduces infiltration, and disrupts natural hydrological cycles. Rapid runoff can lead to elevated water levels in retention structures, increased flow velocities, soil erosion, sediment accumulation, and a higher risk of urban flooding. (Semadeni-Davies *et al.*, 2008). Moreover, accelerated runoff often carries pollutants, such as sediments, nutrients, and heavy metals, directly into rivers, lakes, and reservoirs, posing risks to water quality and urban ecosystems (Stalter *et al.*, 2013 ; Paul and Meyer, 2001). The aim of this study is to evaluate the effects of climate change on existing urban environments, particularly focusing on combined sewer networks. Climate change refers to shifts in climate patterns caused by increased greenhouse gas emissions from human activities. These changes are projected to cause severe short-term rainfall events in urban areas and prolonged heavy rains in upstream river basins . To examine these dynamics at a local scale, this study focuses on the town of Vrable, located in the northern part of the Danubian Lowland in Nitra District (Fig. 1). The town has a population of 9,381 and covers an area of 3,829 hectares, with a built-up area of 402 hectares. Four rivers flow through the town: Žitava, Telinský Potok, Širočina, and Host'ovský Potok. The Vrable Reservoir is located nearby, and Dyčanské Lake lies in the direction of Nitra (Vrable, n.d).

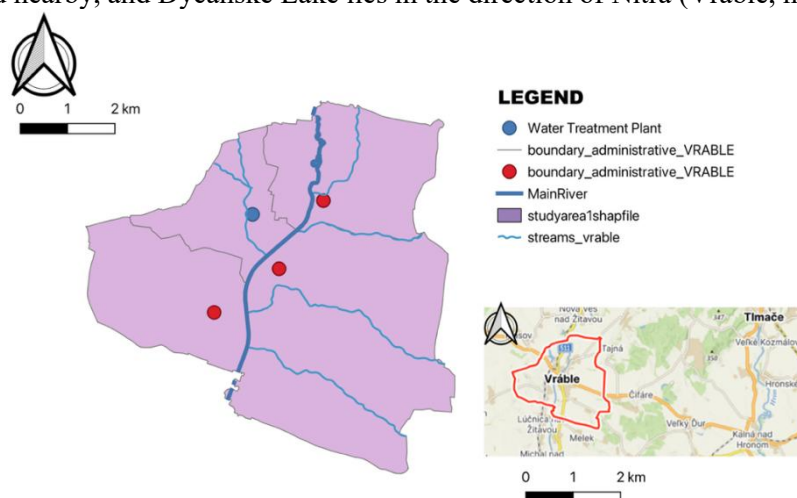


Figure 1: The location of the study Area Vrable shown , the location of the Main River and streams are indicated in the study area.

2 Methodology

Nearby the study area Vrable, the Vrable Reservoir can be found, along with Dyčanské Lake toward the Nitra direction (Vrable, n.d.) The drinking water supply for the settlement unit Vrable – Dyčka – Horný Ohaj is provided by a DN 700 transmission pipeline along the Gabčíkovo – Nové Zámky – Vrable route, passing through the Dyčka reservoir ($2 \times 10,000 \text{ m}^3$). The town is connected to the reservoir via a DN 500 supply pipeline. From the Dyčka reservoir, a DN 500 transmission pipeline extends to Zlaté Moravce. Within the town, a water distribution network with DN 100, 150, and 200 dimensions has been constructed, with a total length of approximately 45.1 km. Vrable's wastewater infrastructure is managed by the West Slovak Water Company (ZSVS). The town's wastewater is treated at the Vrable treatment plant, located south of the urban area, which discharges into the Žitava River. The sewer

network comprises two functional overflow chambers and four pumping stations, facilitating wastewater transport from lower-lying to higher-elevation areas. MIKE software, developed by the Danish Hydraulic Institute (DHI) and fully integrated with ArcGIS, offers three methods for calculating surface runoff in combined sewer systems: Model A (Time and Area Method based on the Isochron method), Model B (Non-Linear Reservoir or kinematic wave method), and Model C (Linear Reservoir Method). This study employed the Isochron method, which divides the catchment into smaller areas but neglects water retention, suitable when only runoff coefficients are known. Default hydrological parameters were used, with initial losses set at 0.6 mm and permanent losses (evaporation and infiltration) at 0.9 mm. MIKE Urban recognizes three catchment shapes for spatiotemporal analysis: rectangular (TACurve 1), expanding (TACurve 2), and narrowing (TACurve 3) with Vráble's catchment classified as rectangular (TACurve 1) due to its mixed shape characteristics. The modeling of Vráble's sewer network began with importing a detailed .dwg map into ArcGIS and MIKE URBAN, containing data on pipes, terrain, and manholes. Drainage boundaries were defined, focusing on a roadway drainage ditch and a sewer under arable land. Using MIKE URBAN's Catchment Delineation and Connection Wizards, the area was divided into sub-catchments linked to manholes. Impervious surfaces were mapped, and runoff coefficients were assigned based on land use across three zones: southern residential (0.2), northern Horný Oháj (0.05), and central/industrial (0.8) shown in figure 2. Four 15-minute rainfall events (two block and two Šifalda synthetic) were simulated. Manholes were typically 1 m in diameter, with PVC pipes used up to DN 400 and concrete for DN 600+.

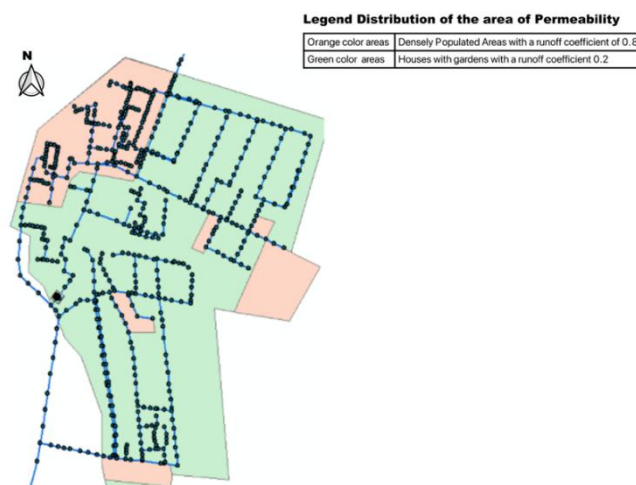


Figure 2: Distribution of the area by permeability: the orange color represents densely built-up areas with a runoff coefficient of 0.8, while the green color represents houses with gardens with a runoff coefficient of 0.2.

Table 1: values for calculation of Yield and Rainfall

P=0.5, t=15	K	B	a	Q14(l/s,ha)	Q15x1,6(l/s,ha)
	2252.7	4.35	0.915	138.493	221.589

3 Results

In the study of Vráble's sewer network, simulations were conducted using the Run MOUSE tool in MIKE URBAN, with a focus on assessing the system's capacity under different rainfall scenarios. Four simulations were performed: two using block rainfall models and two using synthetic Šifalda rainfall models. Each simulation involved two key phases: the surface runoff simulation, tailored to a specific rainfall input, and the hydraulic simulation within the sewer network based on that runoff. The first simulation, using Rain 1 (a 15-minute block rainfall with an intensity of 138.493 l/s·ha), revealed no flooding, confirming that the current system can manage baseline rainfall effectively. However, the second simulation with Rain 2 (intensity increased by 60% to 221.584 l/s·ha) identified several critical areas prone to flooding, especially in the upper sections of the network before node 181, where the system becomes hydraulically overloaded. Longitudinal profile analysis showed rising water levels in

initial manholes and flooding near Pumping Station CS2, likely due to inadequate pump capacity or limited station storage. In total, 19 manholes flooded, and 38 had water levels within 0.5 m of the surface. The study underscores the need for infrastructure upgrades to address increased flooding risks from more intense rainfall due to climate change. Simulations with Rain 3 (138.49 l/s·ha) showed the network struggles with peak runoff, while Rain 4 (221.59 l/s·ha) caused flooding at up to 75 manholes a 2.53% increase over Rain 2. These results reveal limited system capacity under extreme conditions.

4 Conclusion

The study evaluated the current capacity of the sewer network in Vráble and its resilience under projected climate change impacts, using real-world data and future rainfall scenarios based on the Slovak Republic's fifth national climate report. Using MIKE software, four rainfall scenarios two block rains and two synthetic Šifalda rains were simulated. The results showed that the existing network can handle baseline rainfall (Rain 1) without flooding. However, with intensified rainfall (Rains 2, 3, and 4), flooding was observed primarily in the initial sections of smaller street drains and near Pumping Station CS2, indicating insufficient pipe diameters in these areas. The study recommends reconstruction measures, including enlarging pipe diameters in key sections to both reduce hydraulic load and increase in network storage capacity. Additionally, it suggests upgrading the pump at CS2 to a higher capacity (0.11 m³/s) to prevent overloading during peak flows.

5 Acknowledgments

This work was supported by the Scientific Grant Agency of the Ministry of Education, Youth and Sports of the Slovak Republic and the Slovak Academy of Sciences within the project VEGA 1/0682/23, co-funded by the Slovak Research and Development Agency (contract No. VV-MPV-24-0180). The author would also like to thank the DHI Group for providing access to MIKE software that was conducted under a student license which was used for this research study.

6 References

Bujňáková, M., P. Marič, et al., 2009: Expected impacts of climate change on sector hydrology and water management. In: The Fifth National Communication of the Slovak Republic on Climate Change, Chapter 6.3.1.

Semadeni-Davies, A., C. Hernebring, G. Svensson and L.-G. Gustafsson, 2008: The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Suburban stormwater. *Journal of Hydrology*, 350(1–2), 1–12.

Vrable, n.d.: Encyclopaedic Entry.

Available at: <http://www.vrable.sk/encyklopedicky.phtml?id3=4102> .

Wikipedia, n.d.: Vrable. Available at: <http://sk.wikipedia.org/wiki/Vr%C3%A1ble>.

DHI, (2017). Modelling of runoff from green urban areas. https://www.evanet.dk/wp-content/uploads/2017/05/4_Modellers-guide-%E2%80%93-vejledning-fra-DHI.pdf

ZSVS, n.d.: About the Company: Territorial Competence. Available at: <http://www.zsvs.sk/o-spolocnosti/uzemna-posobnost>.

Stalter, D., A. Magdeburg, K. Quednow, A. Botzat and J. Oehlmann, 2013: Do contaminants originating from state-of-the-art treated wastewater impact the ecological quality of surface waters? *PLoS ONE*, 8(4), e60616–60632. Paul, M.J. and J.L. Meyer, 2001: Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32, 333–365.

Proces tvorby 2D hydrodynamických modelov na účel tvorby máp povodňového rizika a ohrozenia

Ing. Matúš Gatiaľ

SVP, š.p., Povodie Hrona, odštepny závod, Partizánska cesta 69, 974 98, Banská Bystrica, Slovensko, Matus.Gatial@svp.sk

1 Úvod

Povodne predstavujú významné prírodné riziko na území Slovenskej republiky a ich hodnotenie je nevyhnutné pre tvorbu máp povodňového ohrozenia a rizika. Hlavným predmetom práce je presná simulácia povodní pomocou 2D hydrodynamického modelovania v softvéri HEC-RAS, ktoré poskytuje realističtší obraz prúdenia ako tradičné 1D modely.

2 Metodika práce

Cieľom príspevku je predstaviť proces tvorby 2D hydrodynamického modelu pomocou softvéru HEC-RAS, pre účel tvorby máp povodňového ohrozenia a máp povodňového rizika (MPO a MPR), a to v kontexte podmienok Slovenskej republiky. MPO a MPR predstavujú dôležitý nástroj riadenia, plánovania a prevencie povodňových udalostí. Ich tvorba vychádza zo zákona č. 7/2010 Z.z. o ochrane pred povodňami, ktorým sa do národnej legislatívy transponovala Smernica 2007/60/ES o hodnotení a manažmente povodňových rizík.

Na Slovensku ide o mapy, ktoré zobrazujú potenciálnu zaplavenú plochu, hĺbku a rýchlosť prúdenia (MPO) a následne kombinujú tieto údaje s expozíciou a zraniteľnosťou prvkov (MPR) – napríklad populačné údaje, majetkové hodnoty či environmentálne sústavy. Tieto mapy predstavujú základný podklad pre plány manažmentu povodňových rizík a pre strategické rozhodovanie v oblasti územného plánovania a ochrany pred povodňami.

Pre dosiahnutie spoľahlivých výstupov sa čoraz častejšie využíva 2D hydrodynamické modelovanie, ktoré umožňuje realističtšie simulovať šírenie neustáleného nerovnomerného prúdenia cez toky, ako aj rozsah záplavy pri ustálenom nerovnomernom prúdení oproti 1D prístupu.

Modelovanie v 2D umožňuje vytvoriť výpočtovú mriežku záplavovej plochy, zohľadniť rôzne smery a rýchlosti prúdenia – čo je kľúčové najmä pri komplexnejších terénoch.

Proces tvorby 2D hydrodynamického modelu v HEC-RAS začína prípravou vstupných údajov, predovšetkým digitálneho modelu terénu s dostatočným rozlíšením, ktorý slúži ako základ pre výpočet prúdenia vody v modelovanej oblasti. K nemu sa dopĺňajú údaje o geometrii riečneho koryta a ďalších objektoch, ktoré ovplyvňujú prúdenie. V ďalšom kroku sa vytvára výpočtová sieť, ktorá rozdeľuje modelované územie na menšie prvky (bunky), na okrajoch a v strede ktorých prebieha výpočet. Hustota výpočtovej siete sa prispôsobuje morfológii územia.

V prostredí HEC-RAS sa okrajové podmienky (boundary conditions) používajú na definovanie správania modelu v miestach kde voda vstupuje, opúšťa alebo interaguje v rámci modelovanej oblasti. Rozlišujeme hornú okrajovú podmienku (HOP), ktorá reprezentuje vstup do modelu, v našom prípade v podobe ustáleného nerovnomerného prúdenia alebo neustáleného nerovnomerného prúdenia. Dolná okrajová podmienka (DOP) opisuje spôsob, akým voda z modelu odteká, v našom prípade máme DOP zadanú ako „Normal Depth“ – sklon čiary energie v okolí DOP. Sklon vodnej hladiny v blízkosti DOP je často dobrým odhadom sklonu čiary energie. Keďže pred samotným výpočtom nepoznáme ani sklon hladiny pri DOP, tak pre počiatočný výpočet používame sklon terénu v osi toku. Vnútorne okrajové podmienky (OP) umožňujú simulovať prítoky vo vnútri modelu. Vo všeobecnosti HEC-RAS umožňuje kombinovať rôzne typy okrajových podmienok, čo poskytuje flexibilitu pri modelovaní zložitých hydraulických situácií a umožňuje realističtšie zachytiť správanie toku počas povodňovej udalosti.

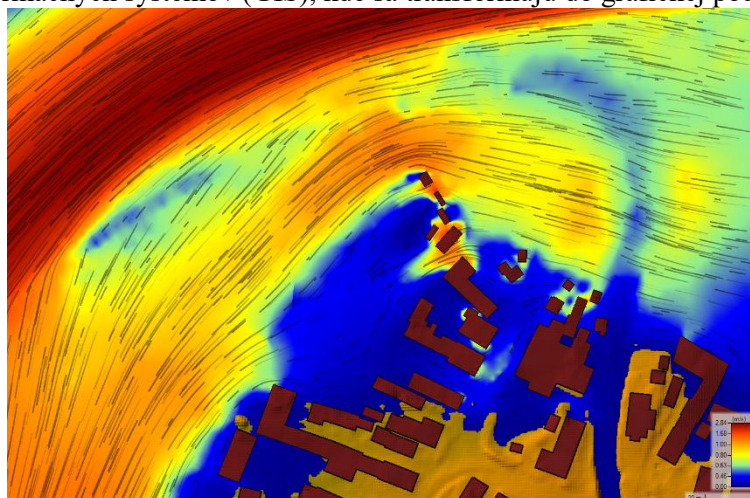
Dôležitým krokom je zadanie drsnosti povrchu prostredníctvom Manningových súčiniteľov drsnosti, ktoré sa priradujú jednotlivým typom povrchov (napr. lúka, orná pôda, cesta,...). Tieto hodnoty významne ovplyvňujú rýchlosť prúdenia a rozsah zaplavenia. V prostredí HEC-RAS sa zadávajú v samostatnej vrstve „Land Cover“ v podobe máp drsností.

Po zostavení geometrie modelu a nastavení potrebných parametrov nasleduje fáza samotného výpočtu. Model počíta zmeny hladiny, rýchlosti a prietoku v jednotlivých bunkách výpočtovej siete a výsledky zaznamenáva v časových krokoch, ktoré musia byť dostatočne krátke na zachytenie dynamiky prúdenia, no zároveň numericky stabilné. Pre potreby tvorby MPO a MPR zostavujeme výpočtové scenáre pre prietoky s pravdepodobnosťou opakovania sa raz za 10, 100 a 1000 rokov.

Posledným krokom je citlivostná analýza ktorou sa určí rozsah hodnovernosti modelu, úpravou DOP a porovnaním výsledkov citlivostnej analýzy a výsledkov samotného výpočtu. Tak zistíme po kadial' je model ovplyvnený DOP.

3 Výsledky

Výsledkom 2D modelovania sú rastre hĺbky, rýchlosti (Obrázok 1) a nadmorskej výšky hladiny. Pre naše účely sú výsledky doplnené aj o rýchlosti prúdu v smere osi X a rýchlosti prúdu v smere osi Y umiestnenými v strede každej výpočtovej bunky. Výsledky sú následne využívané ako vstupy do geografických informačných systémov (GIS), kde sa transformujú do grafickej podoby MPO a MPR.



Obrázok 1: Výsledkový raster rýchlostí so zapnutým „particle tracing“ – graficky znázorňuje dráhu častice vody.

4 Záver

Z technického hľadiska možno konštatovať, že 2D modelovanie v HEC-RAS predstavuje efektívny a dostupný nástroj pre aplikácie v oblasti hodnotenia povodňových rizík. Jeho otvorená licencia, intuitívne prostredie a integrácia s GIS umožňujú jeho široké využitie nielen vo vedeckej sfére, ale aj v praxi vodohospodárskych organizácií. Výsledkom je zlepšené pochopenie správania toku počas povodní a efektívnejšia podpora rozhodovania pri navrhovaní protipovodňových opatrení.

5 Literatúra

Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky. Plán manažmentu povodňového rizika v čiastkovom povodí Hrona: aktualizácia 2021. Bratislava: Ministerstvo životného prostredia SR, 2021. Dostupné na: <https://www.enviro.gov.sk>

U.S. Army corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. HEC-RAS Documentation and Tutorials. Davis, California: USACE, 2024. Dostupné na: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu APVV...

Multifunkčné opatrenia na Detvianskom potoku

Ing. Erik Harman

*Slovenský vodohospodársky podnik, š. p., Oddelenie plánovania manažmentu povodia Hron,
Partizánska cesta č. 69, 974 01, Banská Bystrica, Slovenská republika, erik.harman@svp.sk*

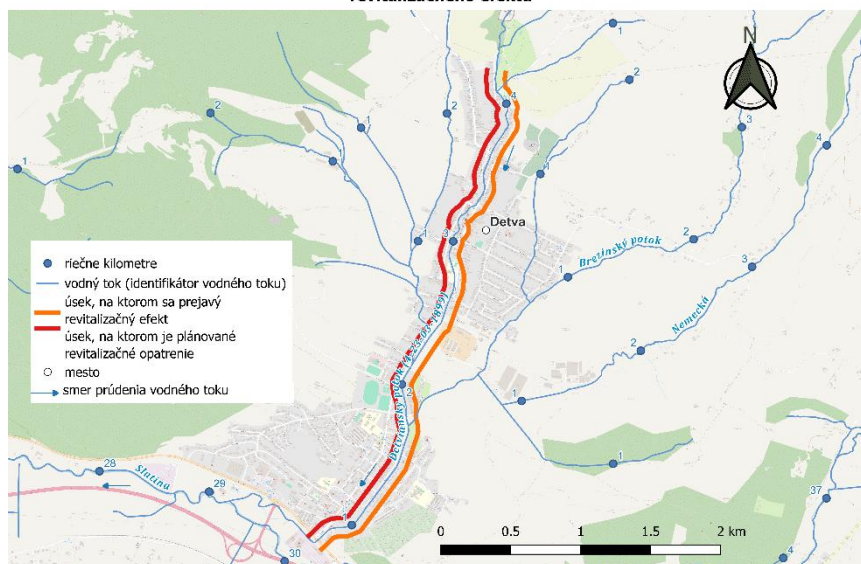
1 Úvod

Vodné toky v intravilánoch sú dlhodobo vystavené dvojitému tlaku. Z jednej strany požiadavkám na bezpečné prevedenie povodňových prietokov, z druhej strany potrebe zlepšiť ekologický stav/ekologický potenciál podľa rámcových environmentálnych cieľov. Klimatické zmeny tieto protichodné nároky ešte vyostrejujú, či už častejšími a kratšími extrémnymi zrážkami zvyšujú pravdepodobnosť rýchlych vzostupov hladín, alebo dlhšími suchšími obdobiami vyžadujú opatrenia na udržanie konektivity a kvality biotopov pri nízkych hladinách.

Príspevok sumarizuje prípravu a priebeh realizácie revitalizačnej údržby Detvianskeho potoka v intraviláne mesta Detva (r. km 0,700–4,270), motivovanú dlhodobou akumuláciou jemných sedimentov a náletov krovín znižujúcich prietoknú kapacitu. Na základe geodetického zamerania a PD (Veis 2020; 2022) boli spracované dve etapy (0,700–2,700 a 2,720–4,270), v ktorých sa selektívne odstraňovali nánosy a krovité porasty. Cieľom bolo zachovať prietoknú kapacitu pre potreby protipovodňovej ochrany a súčasne posilniť hydromorfologickú a habitatovú rozmanitosť v technicky upravenom koryte.

Pre slovenské intravilánové úseky, ako na Detvianskom potoku, je revitalizačná údržba mimoriadne relevantná, prepája pravidelný údržbový cyklus s prírodou blízкими opatreniami, ktoré sa kumulujú v čase a zlepšujú hydromorfologické podmienky bez kompromisu voči protipovodňovej bezpečnosti.

Detva- revitalizačná údržba v r.km 0,700 - 2,700 a 2,720 - 4,270 - mapa revitalizačného efektu



Obrázok 1: mapa revitalizačného efektu revitalizačnej údržby na Detvianskom potoku

Zdroj údajov: SVP, š. p.; Úrad geodézie, kartografie a katastra SR (ÚGKK SR, ZBGIS®).

Mapové spracovanie: QGIS, autor: Ing. Erik Harman, 2025.

2 Metodika práce

Revitalizačná údržba sa na Detvianskom potoku realizuje v dvoch nadväzujúcich úsekoch na základe geodetického zamerania a PD (Veis 2020; 2022). Revitalizačnej údržbe predchádzala dôkladná terénna obhliadka za účasti odborného ekologického dozoru RNDr. Vladimíra Drugu. Preferovaným termínom realizácie je neskoré leto a jeseň (september–október), jarné zásahy sa vykonávajú len v

nevyhnutnosti a s ekologickým dozorom. Práce sa organizujú po častiach tak, aby bola zabezpečená prietočnosť a možnosť pre vodné organizmy „uniknúť“ pred zásahom do „refúgií“.

V každom úseku sa vykoná odťaženie nánosov v rozsahu určenom PD (pri poklese prietočného profilu približne o 10–15 %) a výkazom výmer 1. úsek r. km 0,700–2,700: cca 6 850 m³ a 2. úsek r. km 2,720–4,270: cca 3 376,6 m³.

Ťažba nánosov prebieha mechanizovane pomocou Menzi Muku (kráčajúce rýpadlo) z brehu (prednostne). Profil sa upraví na návrhový tvar podľa priečných rezov PD tak, aby sa obnovila prietočná kapacita vodného toku a aby sa v koryte vodného toku vytvorila menšia zvlnená kyneta, ktorá sústreďuje prietok počas nízkych vodných stavov. Pôvodné opevnenia brehov sa nenarušujú z dôvodu, že sa záujmová oblasť nachádza v intraviláne mesta Detva.

V súlade s PD sa vykoná odstránenie krovitého porastu len v nevyhnutnom rozsahu na zabezpečenie prístupu a prietočnosti 1. úsek 0,700–2,700: približne 350 m² a 2. úsek 2,720–4,270: približne 100 m².

Vyťažený materiál (nánosy, krovinná biomasa) sa odvezie pomocou Tatry 815 na skládku s dopravnou vzdialenosťou do cca 15 km.

3 Výsledky

Selektívnou revitalizačnou údržbou bol obnovený prietočný profil a preukázateľne zvýšená protipovodňová bezpečnosť intravilánu. Zachovaním a cielene podporenou členitosťou dna (plytčiny, berma, hĺbková diverzifikácia prietočného profilu) došlo k obnoveniu hydromorfologickej rozmanitosti a k stabilizácii priaznivých habitatových podmienok pre vodné a brehové spoločenstvá. Sústredenie prúdenia pri nízkych prietokoch znižuje tepelnú expozíciu hladiny a zlepšuje teplotný a kyslíkový režim, čím vytvára priaznivejšie prostredie pre vodnú biotu v suchších obdobiach. V dôsledku týchto zásahov sa formuje funkčný mokrad'ový biotop v okrajoch prietočného profilu, ktorý zvyšuje ekologickú hodnotu úseku bez závažného znižovania hydraulickej kapacity.



Obrázok 3: pred revitalizačnou údržbou



Obrázok 4: po revitalizačnej údržbe

Ako doplnkové opatrenie sa navrhuje výsadba pôvodných brehových drevín s cieľom zabezpečiť zatienenie vodnej hladiny a znížiť riziko prehrievania toku počas vysokých teplôt. Výber druhovej skladby a konkrétne úseky musia byť dendrologicky posúdené a odkonzultované so samosprávou mesta Detva.

4 Záver

Revitalizačná údržba Detvianskeho potoka v intraviláne mesta Detva (r. km 0,700–4,270) splnila hlavné ciele. Obnovila prietočnú kapacitu a zároveň posilnila ekologické funkcie toku. Súčasne boli vytvorené predpoklady pre dlhodobé zlepšovanie hydromorfologickej rozmanitosti (plytčiny/bermy, tieniaca brehová zeleň), ktoré podporí plánovaná výsadba pôvodných drevín.

5 Literatúra

Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky. 2023. *Metodická príručka postupov pre revitalizácie vodných tokov*. Bratislava.

VEIS, I. (2020). Detva – údržba Detvianskeho potoka r. km 0,700–2,700. Projektová dokumentácia, PS. Zvolen: SVP, š. p., SPHH Zvolen. Arch. č.: 850/ZV.

VEIS, I. (2022). Detva – údržba Detvianskeho potoka r. km 2,720–4,270. Projektová dokumentácia, PS. Zvolen: SVP, š. p., SPHH Zvolen. Arch. č.: 863/ZV.

Šedá voda v kontexte klimatických zmien ako nástroj adaptácie a prevencie nedostatku vody

Bc. et Bc. Samuel Klimík

¹Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 2766/11, 810 05, Bratislava – Staré mesto, Slovensko, xklimik@stuba.sk

1 Úvod

Zhoršujúce sa dopady klimatickej zmeny a rastúca spotreba vody prispievajú k potrebe udržateľného hospodárenia s vodnými zdrojmi. Jedným z potenciálnych možností je recyklácia šedej vody, ktorá vzniká pri osobnej hygiene a praní. Po adekvátne dostačujúcom prečistení priamo v objekte kde vznikla ju je možno použiť ako technickú vodu, čím sa znižuje spotreba pitnej vody v domácnosti. V rámci práce sa venujeme využívaniu šedej vody v domácnostiach a jej technickej, ekonomickej a environmentálnej udržateľnosti.

2 Metodika práce

Metodika práce vychádza z analyticko-syntetického prístupu, ktorého cieľom je zhodnotiť udržateľnosť využívania šedej vody v rôznych typoch obytných objektov.

Pre účely komparácie boli definované dve kategórie objektov. Prvý bol rodinný dom s nižším objemom produkovanej šedej vody, ale s vyššou možnosťou individuálnej inštalácie systému. Druhým objektom bol bytový dom s vyšším potenciálom úspor, ale s komplikovanejšou koordináciou správy a údržby systému. Porovnanie týchto dvoch objektov bolo založené na kritériách technickej uskutočniteľnosti, ekonomickej efektívnosti (vstupné náklady, návratnosť) a environmentálnej udržateľnosti (zníženie spotreby pitnej vody, zníženie odtoku do kanalizácie).

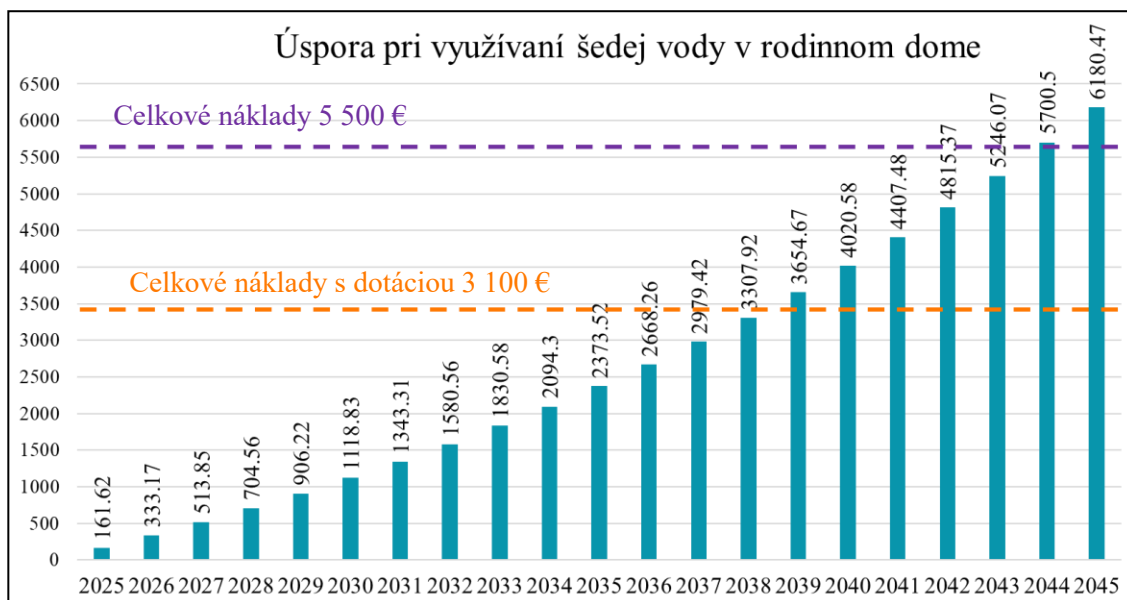
Ročná produkcia odpadovej vody v rodinnom dome, ktorý obývajú 4 obyvatelia je na úrovni 146 m³/rok. Produkcia šedej a znovu použiteľnej vody predstavuje 93,44 m³ za rok (Tabuľka 1). Tento údaj predstavuje zásadné množstvo vody, ktoré je možné recyklovať a opäť využiť na splachovanie alebo polievanie. V rámci bytového domu, ktorý užíva 64 obyvateľov je ročná spotreba pitnej vody na úrovni 2 336 m³/rok. Ročná produkcia šedej vody je na úrovni 1 495 m³/rok (Tabuľka 1). V rámci výpočtu sme ráтали, že vyčistená šedá voda sa bude používať výlučne na splachovanie toaliet.

Tabuľka 1: Ročná spotreba pitnej vody a produkcia šedej vody v závislosti od objektu

Činnosť	Rodinný dom		Bytový dom	
Počet obyvateľov	4		64	
Osobná hygiena	65,7	m ³	1 051,2	m ³
Pranie a upratovanie	21,9		350,4	
Umývanie rúk	5,84		93,44	
Splachovanie WC	36,5		584	
Varenie a kuchyňa	13,14		210,24	
Pitie	2,92		46,72	
Celková ročná produkcia	146		2 336	
Ročná produkcia šedej vody	93,44		1 495, 04	

3 Výsledky

Pri využívaní šedej vody sa dá opätovne využiť pri rodinných a bytových domoch 63,77 % odpadových vôd. Tým pádom sa znižujem množstvo pitnej vody odoberanie zo siete a znižuje sa aj zaťaženie kanalizačného systému. V našich výpočtoch bola voda používaná len na splachovanie WC avšak vieme s takto vyčistenou vodou aj splachovať.



Obrázok 1: Finančná úspora a návratnosť pri využívaní šedej vody v rodinnom dome

Čo sa týka ekonomickej stránky inštalácie a prevádzacky systému tak pri rodinných domoch je návratnosť s dotáciou 14 rokov a bez dotácie až 19 rokov. V rámci bytových domov je návratnosť s použitím dotácie 11 rokov a bez dotácie 14 rokov. Prvotné nákladný sú však vyššie. Pojem dotácia bol prezvaný a jeho hodnota určená na základe modelu podpory šedej vody v Českej republike (Dešťovka). Na Slovensku absentuje akákoľvek forma podpory v tejto oblasti.

4 Záver

Analýzou sme potvrdili že recyklácia šedej vode dokáže byť udržateľným adaptačným opatrením na zmenu klímy a prispeje k šetreniu pitnej vody. Má taktiež pozitívny vplyv na odľahčenie kanalizácie. Ekonomické hodnotenie poukázalo na postupnú návratnosť investície, ktorá je ovplyvnená veľkosťou objektu, typom technológie a frekvenciou využívania recyklovanej vody. Napriek vyšším vstupným nákladom je prevádzka systému dlhodobo udržateľná a finančne výhodná. Celkové výsledky teda potvrdzujú, že využívanie šedej vody je opodstatnené a efektívne z ekologického aj ekonomického hľadiska. Pri inštalácii systému je možné ušetriť minimálna 40% pitnej vody čo predstavuje značnú úsporu, či už z ekonomického ale aj ekologického hľadiska. Ako hlavný problém považujeme absenciu štátnych podporných schém, ktoré by prispeli k značnej inštalácii systému v rodinných a bytových domoch.

5 Literatúra

GHAITIDAK, D.M. Yadav. K.D. 2013. Characteristics and treatment of greywater-a review. Environ Sci Pollut Res Int, 2013. 20(5): p.2795-809.

BS 8525-1:2010 Greywater systems Part 1: Code of practise. UK: BSI, 2010

Srážkové a šedé vody aneb „colors of water“, Zborník konference, 2013, www.asio.cz

BS 8525-1:2010 Greywater systems Part 2: Code of practise. UK: BSI, 2010

Uvolnění Moravy z okovů

Ing. Jakub Kološ¹

¹*SINDLAR SK s.r.o. Pekárska 11, 917 01 Trnava, Slovensko, jakub.kolos@sindlar.cz*

1 Úvod

Řeka Morava, jako jedna z mnoha, byla v minulém století proti své vůli spoutána. Její okovy měly paradoxně pomáhat a chránit. K určité míře ochrany rozhodně došlo, zároveň se ale ukázaly i negativní důsledky regulace řeky, které po mnoha letech vedly ke snaze zabezpečit účinnou pomoc a milost pro řeku samotnou. Právě na tomto přirovnání je založena mnoholetá práce odborníků a také obsah tohoto příspěvku.

Předmětem příspěvku je shrnutí vývoje řeky Moravy v čase a její cestu ke znovunabytí alespoň části své svobody – formou rozsáhlé revitalizace toku. První část práce je popis a řešení problematiky zaklesávání dna, zvýšení sklonu dna a transportu sedimentů, snížení četnosti rozlivu do lužních lesů, ohrožení biotopů aj. Druhá část práce je zaměřena přímo na projekt revitalizace toku Morava a jeho implementaci do výstavby a praxe. Třetí část práce se pak věnuje budoucnosti toku v čase s vazbou na klimatickou změnu, manažment povodí a další.

Jedním z cílů příspěvku je informovat o složitém, avšak úspěšném procesu vrátit toku svou tvář. Dalším cílem je představit největší projekt revitalizace toku na Slovensku z pohledu projektového manažera, projektanta a milovníka vody jako takové.

2 Metodika práce

Příspěvek je založen na výzkumných projektech VÚVH a archivních materiálech místních znalců, SVP š.p., aj. Dále využívá aktuální data SHMU a části podrobné projektové dokumentace revitalizace toku Morava, kterou vede a nadále zpracovává zpracovatel příspěvku a jeho kolegové. Pro demonstrování problematiky jsou přebírána data z množství vykonané práce na toku, doplněné o data z vlastní projekce a praxe.

Práce není vědeckým dílem, spíše představuje konkrétní projekt revitalizace toku Morava ve vazbě na již vyhotovené vědecké práce v lokalitě (VÚVH, UZ SAV, SVP, ŠOP SR).

Projekt revitalizace Moravy je zpracováván specializovanou projekční kanceláří ŠINDLAR. V rámci zpracování projektu je využit pro návrh řešení projekční software Atlas DMT, software HEC-RAS pro hydrotechnické ověření návrhu a dále běžné textové a výpočetní softwary (Excel, Word aj.).

3 Výsledky

Výsledek mnoholeté práce je právě probíhající stavba Revitalizace Moravy I, příprava stavby revitalizace Moravy II a probíhající projekt návrhu opatření další etapy revitalizace, zahrnující prognózy vývoje Moravy v následujících 50 letech. V rámci Moravy I budou prezentovány výsledky z celého procesu příprav, projekce, jednání atd. až po samotnou vodohospodářskou stavbu. Z druhého projektu budou prezentovány výstupy projektové dokumentace včetně problematiky vnějších vazeb. Z třetího projektu budou nastíněny metodiky a plán přístupu k celé akci. V souhrnu tvoří výsledky komplex provedených činností vedoucích k úspěšné realizaci revitalizace Moravy.

Všechna dosavadní práce i dosažené výsledky jsou úzce koordinovány a konzultovány nejen napříč organizacemi na Slovensku, ale také s Rakouskými subjekty (Viadonau, WWF aj.).

Návrh na SO	ID opatrenia	typ opatrenia
SO 01	SKM0002_001	prepoj ramena
	SKM0002_002	odstránenie opevnenia
SO 02	SKM0002_003	odstránenie opevnenia
	SKM0002_005	odstránenie opevnenia
	SKM0002_007	odstránenie opevnenia
	SKM0002_009	odstránenie opevnenia
SO 03	SKM0002_010	prepoj ramena
	SKM0002_011	úprava brehového opevnenia
SO 05	SKM0002_014, 14a	prepoj ramena
SO 04	SKM0002_012	prehrazenie (veľký meander)
	SKM0002_013	zasypání (veľký meander)
	SKM0002_015	prehrazenie (veľký meander)
	ATM0002_016	prehrazenie (veľký meander)
	ATM0002_018	zasypání (veľký meander)
	ATM0002_020	prehrazenie (veľký meander)
	SKM0002_017	premeandrovanie (veľký meander)
	SKM0002_019	stabilizácia (veľký meander)
SO 06	-	Prijazdové komunikácie a medzidepónie
SO 07	SKM0002_021	odstránenie opevnenia
SO 08	SKM0002_022	odstránenie opevnenia
SO 09	SKM0002_023	odstránenie opevnenia
	SKM0002_024	prepoj ramena
SO 10	SKM0002_025	zniženie brehu
	SKM0002_026	prepoj ramena – VYPUSTENÉ Z REALIZÁCIE
SO 11	SKM0002_027	odstránenie opevnenia
	SKM0002_028	prepoj ramena
SO 12	SKM0002_029	odstránenie opevnenia
	SKM0002_030	prepoj ramena
SO 13	SKM0002_031	odstránenie opevnenia
	SKM0002_032	prepoj ramena
	SKM0002_033	odstránenie opevnenia
	SKM0002_034	odstránenie opevnenia
SO 14	SKM0002_035	zniženie brehu
	SKM0002_036	prepoj ramena

Kód SO	Název SO	Rkm	ID opatření	typ opatření
SO 01	Obnovenie meandra	17,1-19,7	SKM0002_037	premeandrovanie toku, zmena trasy koryta toku cez meander SK
			SKM0002_038	prehrazenie koryta toku
			SKM0002_039	zasypání koryta
			SKM0002_040	prehrazenie koryta toku
	Odstránenie opevnenia 01		SKM0002_042	odstránenie brehového opevnenia
SO 02	Odstránenie opevnenia 02	16,0-17,7	SKM0002_047	odstránenie brehového opevnenia
SO 03	Odstránenie opevnenia 03	13,2-14,8	SKM0002_048	odstránenie brehového opevnenia
SO 04	Odstránenie opevnenia 04	11,8-12,3	SKM0002_049	odstránenie brehového opevnenia
SO 05	Obnovenie prietoknosti ramien a odstránenie opevnenia 05	8,8-10,1	SKM0002_050	obnovenie prietoknosti ramien a odstránenie brehového opevnenia
SO 06	Odstránenie opevnenia 06	7,7-8,0	SKM0002_051	odstránenie brehového opevnenia
SO 07	Odstránenie opevnenia 07	6,0-6,8	SKM0002_052	odstránenie brehového opevnenia
SO 08	Oživenie alúvia Devín	0,2-1,0	SKM0002_054	oživenie ramena (alúvia) Devín
SO 09	Pristupové komunikácie a medzidepónie	0,0-20,0	-	

Obrázek 1: Přehled opatření zpracovaných realizačních projektů (vlevo Morava I/vpravo Morava II).



Obrázek 2: Ukázky stavby revitalizace Moravy, vlevo – vyhloubení koryta integrovaného meandru výtok; vpravo – vyhloubený úsek propojení relikvů doplněný o mrtvé dřevo



Obrázek 3: Řeka Morava – vlevo historický stav – regulované koryto (Děvín); vpravo řeka v rozlivu – středně vysoký průtok

4 Závěr

Příspěvek informuje o vývoji řeky a stručně shrnuje problematiku dlouhodobého procesu rozsáhlé revitalizace toku Morava, aneb její částečné uvolnění z okovů.

5 Literatura a zdroje

Revitalizácia rieky Moravy: Plán opatrení pripravený v súlade so smernicami EK o ochrane vôd a prírody - MoRe (VÚVH, ÚH SAV, ŠOP SR, SVP aj.), Bilaterálny súhrnný projekt - Morava: Ochrana revitalizáciou: stratégia a manažment riečného systému dolnej Moravy (INTERREG IIIA, BGM II, 2005-2007), terénni průzkumy zpracovatele, geodetické měření v různých obdobích a letech, dendrologické průzkumy, laboratorní rozborů sedimentů, biologický průzkum. PD spol. ŠINDLAR s.ro.

Intensification of constructed wetland using biochar

Ščavnická K.¹

¹*Institute of Chemical and Environmental Engineering, Faculty of Chemical and Food Technology,
Slovak University of Technology, Radlinského 9, 811 07, Bratislava, Slovakia,
kristina.scavnicka@stuba.sk*

1 Introduction

Natural wastewater treatment technologies were investigated with a focus on their enhancement through the application of biochar, a material that can be produced from various biomaterials, including agricultural by-products such as crop residues [1]. This approach presents economic benefits by promoting the recycling of waste materials. Laboratory-scale models of soil filters and constructed wetlands were developed to assess the combined effects of biochar amendment and vegetation on purification efficiency and effluent quality. The findings demonstrated that both biochar and vegetation exerted positive influences on treatment performance, particularly by enhancing the removal of ammoniacal nitrogen and chemical oxygen demand (COD).

2 Materials and methods

A laboratory model consisting of two identical 5 L containers simulating a vertical flow constructed wetland was assembled. The filter media in model 1 comprised sand and gravel, while model 2 included an additional biochar layer. In the initial phase, the effect of biochar alone on pollutant removal efficiency was assessed by comparing effluent parameters of models 1 and 2, without vegetation and at equal hydraulic retention times. In the subsequent phase, Irises (*Iris sanguinea*) were planted in both models to evaluate the impact of vegetation on treatment efficiency compared to the previous phase.

3 Results

The experiment confirmed the beneficial effect of biochar and planted Irises on natural wastewater treatment in vertical flow constructed wetlands. Biochar increased effluent wastewater pH by an average of 0.172 relative to the control, attributable to its alkaline nature [2]. Ammonium nitrogen removal improved significantly from 19% in the control to 38% with biochar addition before planting vegetation. After planting Irises, removal efficiency increased further to 75%, compared to 69% in the control. COD removal efficiency also increased from 43% to 47% with biochar and further to 67% after planting Irises, compared to 57% without biochar, indicating a synergistic effect. Phosphate removal was minimal in our system, likely due to the absence of enhanced biological phosphorus removal or chemical precipitation processes. Nitrite concentrations remained low (0.002–0.2 mg/L), indicative of proper progression of nitrification and denitrification [3].

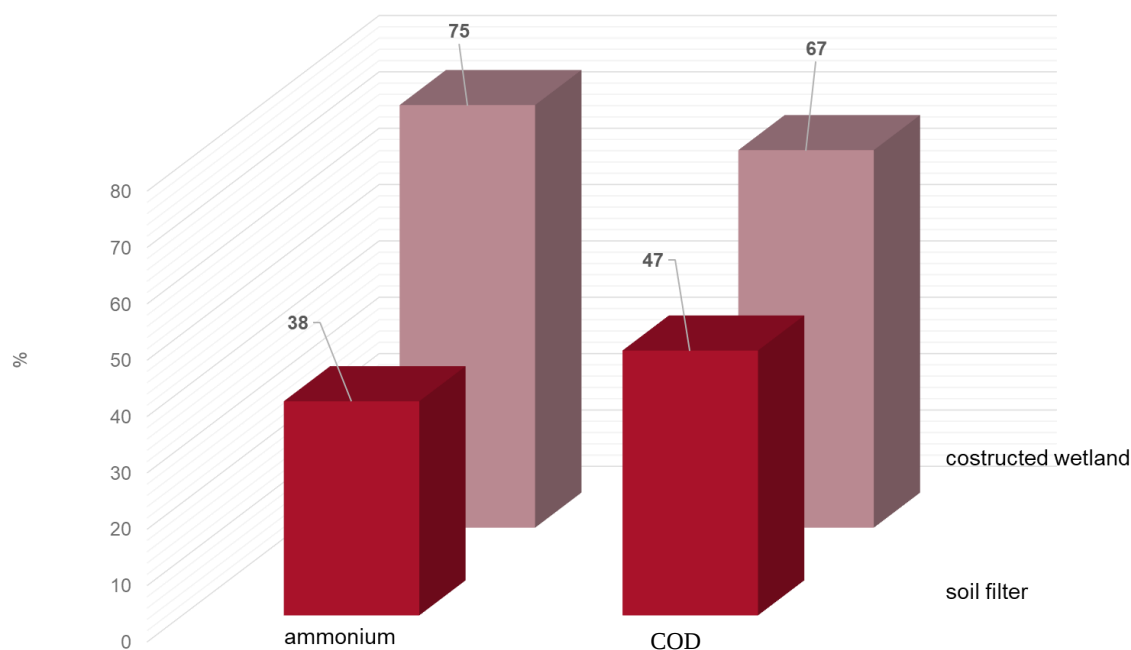


Figure 2 Evaluation of model efficiency

4 Conclusions

The intermittent vertical flow system provided adequate oxygenation of the filter bed, supporting nitrifying bacteria growth, while biochar's high surface area and ion exchange capacity enhanced ammonium adsorption and microbial colonization [2]. Integration of modified biochar into vertical flow constructed wetlands substantially improved ammonium and organic matter removal, providing an effective, sustainable treatment option for regions with limited sewage infrastructure. Planting Irises further enhanced oxygen transfer to the rhizosphere, boosting microbial activity and overall treatment efficiency. This combined approach offers a promising solution to meet European Union wastewater treatment standards [4], enabling sustainable recycling of biomass and organic residues within eco-friendly treatment systems.

5 References

- [1] Balwant. Singh, Marta. Camps-Arbestain, and Johannes. Lehmann, *Biochar : a guide to analytical methods*. CSIRO Publishing ; CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017.
- [2] P. Gupta, T. W. Ann, and S. M. Lee, "Use of biochar to enhance constructed wetland performance in wastewater reclamation," *Environmental Engineering Research*, vol. 21, no. 1, pp. 36–44, Mar. 2016, doi: 10.4491/EER.2015.067.
- [3] *Analytika vody | VSCHT*. Accessed: Oct. 25, 2025. [Online]. Available: <https://vydavatelstvi.vscht.cz/p/193-analytika-vody>
- [4] "Inštitút environmentálnej politiky Analýza odkanalizovania Slovenska," 2024.