

UNIVERZITA KONŠTANTÍNA FILOZOFA V NITRE
CONSTANTINE THE PHILOSOPHER UNIVERSITY IN NITRA

FAKULTA PRÍRODNÝCH VIED A INFORMATIKY
FACULTY OF NATURAL SCIENCES AND INFORMATICS

GEOGRAFICKÉ INFORMÁCIE
GEOGRAPHICAL INFORMATION

Ročník / Volume: 30

Číslo / Issue: 1

Rok / Year: 2026

GEOGRAFICKÉ INFORMÁCIE
GEOGRAPHICAL INFORMATION

Časopis Katedry geografie, geoinformatiky a regionálneho rozvoja
FPVaI UKF v Nitre
Journal of the Department of Geography, Geoinformatics and Regional Development
FNSI CPU in Nitra

Ročník / Volume: 30 Číslo / Issue: 1 Rok / Year: 2026

Vydavateľ / Publisher:
Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, Trieda A. Hlinku 1, 949 01 Nitra,
Slovenská republika
Constantine the Philosopher University in Nitra, Trieda A. Hlinku 1, 949 01 Nitra,
Slovak Republic
IČO: 00157716

Za jazykovú stránku príspevkov zodpovedajú autori.
The authors are responsible for the linguistic side of their submissions.

© 2026 Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre

Evidenčné číslo: EV 6290/25/PT
ISSN 1337-9453

OBSAH**CONTENTS****Matúš Maxin, Štefan Koco**

Modely antropogénnych foriem reliéfu s využitím metódy Structure from Motion

Anthropogenic Geomorphology Models Using Structure from Motion..... 4

Zuzana Pucherová, Lucia Jamrichová, Regína Mišovičová

Spatial Temperature Differences at Various Locations in the City of Nitra.... 20

Jana Némethová, Filip Gábriš

Južnoslovanská vinohradnícka oblasť – výsledky terénneho výskumu v oblasti vinohradníctva, vinárstva a vinárskeho turizmu

The South Slovakia Wine-Growing Region – Results of Field Research in Viticulture, Winemaking, and Wine Tourism..... 33

Adam Čaplák, Henrich Grežo

Povodňové riziko v plánovaných priemyselných areáloch v blízkosti rieky Hron

Flood Risk in Planned Industrial Areas Near the Hron River..... 54

Matej Vojtek, Jana Vojteková, Petra Hačková, Zuzana Jakabová

Evaluating Land Cover-Based Roughness Scenarios for Fluvial Flood

Inundation Modelling..... 64

MODELÝ ANTROPOGÉNNYCH FORIEM RELIÉFU S VYUŽITÍM METÓDY STRUCTURE FROM MOTION

Matúš Maxin, Štefan Koco

Abstract

Digital terrain modeling has become vital for the accurate mapping and structural characterization of anthropogenic landforms, surpassing the observational limits of traditional geomorphological mapping. The article is devoted to obtaining a 3D relief model of selected anthropogenic relief forms (sludge pond, quarry) using the photogrammetric method Structure from Motion. We present a method of using such a method as well as a comparison with other options for obtaining 3D models – their advantages and disadvantages. Structure from Motion in conjunction with the use of modern drones is a powerful tool for obtaining not only an accurate relief model but also a detailed orthorectified image. The resulting digital elevation model in tiff format is also widely usable in the entire range of GIS software that geographers have at their disposal today. The results of our work demonstrate not only that the used photogrammetric method is capable of achieving comparable accuracy to LIDAR data, but also that, thanks to its high resolution (in our case 4 cm), it has added value in the form of identifying those landforms that LIDAR smoothes at a higher resolution.

Keywords: geomorphology, structure from motion, UAV, quarry, man made landforms

Úvod

Úloha a miesto modelov reliéfu pri práci geografa je záležitosť dnes už nespochybniteľná. Už od príchodu prvých Geografických Informačných Systémov (GIS) sa modelovanie reliéfu rozvíjalo a dnes je neodmysliteľnou súčasťou mnohých štúdií a projektov. Medzi autorov, ktorí sa zaoberali otázkou využitia 3D modelov v geografii patria Jenčo et al. (2020), Meyer (2017), Brůha (2017), Kaňuk, Gally, Hofierka (2015), Hofierka a Kaňuk (2010). Hlavne v poslednej dekáde sa z pomerne nákladnej metódy vyžadujúcej prístup k diaľkovo ovládaným vrtuľníkom či leteckému snímkovaniu z relatívne malej výšky pridalo využitie dronov s rôznou úrovňou autonómie letu. Pri štúdiu antropogénneho reliéfu je pre získanie podrobných a presných modelov k dispozícii mnoho spôsobov získania potrebných údajov. Jednou veľmi dostupnou možnosťou je využitie metódy Structure from Motion (Ullman, 1979; Hartley a Zisserman, 2011), ktorá predstavuje nízkonákladovú, vysoko efektívnu metódu 3D rekonštrukcie povrchu.

Základom metódy je identifikácia identických bodov na viacerých prekrývajúcich sa snímkach. Metóda Structure from Motion (SfM) transformovala výskum reliéfu tým, že sprístupnila tvorbu digitálnych modelov s vysokým rozlíšením (HRDM) za zlomok ceny laserového skenovania (Fonstad et al., 2013). V súčasnosti tak pri tvorbe digitálneho modelu reliéfu stačí výskumníkom dron s fotoaparátom a záznamom svojej polohy (napr. GPS) v súčinnosti s presne zameranými bodmi na zemi (GCP) RTK GNSS zariadením. Následným spracovaním týchto dát v špecializovanom softvéri má užívateľ k dispozícii veľmi presný dátový model, ktorý má navyše ako vedľajší produkt aj kvalitnú ortorektifikovanú snímku skúmaného reliéfu. Metóda sa ukázala ako vysoko efektívna pri monitorovaní geomorfologických procesov a foriem (Lucieer et al., 2014; Smith et al., 2016; Llana et al., 2018; Omidiji et al., 2023). Náš výskum prebiehal v regióne stredného Spiša, ktorý predstavuje jednu z najvýraznejšie transformovaných krajín na Slovensku. Vysoká koncentrácia antropogénnych foriem reliéfu je tu výsledkom kontinuálneho osídlenia a intenzívnej hospodárskej činnosti, ktorá vrcholila v období industriálneho rozmachu baníctva a hutníctva. Mnohé z obcí tu preto majú dlhoročnú históriu ťažby a spracovania rôznych rúd, ktoré zákonite po sebe zanechali v krajine mnoho environmentálnych záťaží. Cieľom príspevku je predstavenie aplikovateľnosti a presnosti fotogrametrickej metódy SfM pri mapovaní morfológicky členitých antropogénnych foriem (haldy, odkaliská, agrárne terasy). Príspevok hodnotí efektivitu SfM pri tvorbe digitálnych modelov reliéfu v špecifických podmienkach stredného Spiša.

Metodika práce

Skúmané územie

Terénny zber údajov sme uskutočnili v regióne stredného Spiša na príklade starých banských záťaží v podobe odkalísk a aktívneho kameňolomu. Jednotlivé lokality mali svoje odlišnosti a vyžadovali špecifický prístup. Použitú metódu predstavujeme na príklade modelu odkaliska Markušovce a kameňolomu Olnava. Odkalisko Markušovce bolo budované v rokoch 1963 až 2004 a slúžilo primárne na uskladnenie flotačných kalov po spracovaní rudy v spracovateľskom závode Želba v Rudňanoch. Dnes je nevyužívané na svoj pôvodný účel a niektoré jeho časti slúžia ako čierna skládka komunálneho odpadu. Kameňolom v Olcave je aktívnou antropogénnou formou reliéfu využívanou od roku 1965 na ťažbu Dolomitického vápenca. Základnou dobývacou metódou je rozpojovanie horniny pomocou trhacích prác. Rúbanina je po odstrelé skladovaná a prepravená do drviacej a triediacej linky v areáli lomu (Maxin, 2019).

Structure from Motion

Metóda SfM je fotogrametrickou metódou, založenou na získaní 3D modelu za pomoci prekrývajúcich sa 2D fotografií z rôznej perspektívy, pričom používa štandardný fotoaparát a polohu z GNSS. Využitie tejto metódy v geografických vedách opisujú napríklad Eltner a Sofia (2020), Carrivick et al. (2016), alebo Eltner a Schneider (2016).

Pri zostavovaní modelov sme použili dron s fotoaparátom a záznamom svojej polohy. Pre spresnenie získaných dát sme využili aj zameranie tzv. GCP (ground control points – pozemných kontrolných bodov) pomocou RTK GNSS prístroja. Na zameriavanie sme použili viacúčelový GNSS prijímač HIPER HR od Topconu spolu s terénnym počítačom Topcon FC-5000. Výhodou tohto prístroja je jeho kvalitné spracovanie a odolnosť voči prašnosti i vode pri použití v náročných podmienkach. V neposlednom rade je to presnosť zameriavania, kedy je odchýlka horizontálna maximálne 5 mm a vertikálne 10 mm. Pri použití technológie Tilt compensated RTK dokonca horizontálna iba 1,3 mm a vertikálna odchýlka 1,8 mm. Pri určovaní polohy sme mali k dispozícii satelity sietí GPS, GLONASS, Galileo a BeiDou. Dronom použitým pri snímkaní bola quadrokoptéra DJI Phantom 4 PRO s ultra HD kamerou a trojosým stabilizovaným závesom, pozičným systémom a antikolíznymi senzormi. Kamera je schopná sa natáčať a zhotovovať sekvenčné snímky. Dron, DJI Phantom 4 Pro, je vybavený systémom FlightAutonomy s obrazovými a infračervenými snímačmi dokáže vnímať okolie v piatich smeroch a vyhnúť sa prekážkam v štyroch smeroch. Výsledkom terénneho zberu dát bola databáza snímok vhodných na použitie metódy SfM.

Snímky boli následne spracované v softvéri Agisoft Metashape (Agisoft 2017), pričom sme využili najvýkonnejší počítač, ktorý bol k dispozícii a to pracovnú stanicu v laboratóriu diaľkového prieskumu Zeme. Počítač disponoval procesorom AMD Ryzen 9 3950X so 16-jadrovým procesorom s výkonom 3,98 GHz, RAM s kapacitou 128 GB, grafickú kartu Radeon RX Vega a operačný systém s 64 bitovou architektúrou. Výkon tejto stanice bol skutočne potrebný aj vzhľadom na čas jednotlivých procesov pri zostavení modelu reliéfu. Všetky ďalšie operácie už s exportovanými modelmi a ortofotosnímками prebiehali v prostredí QGIS.

Analýza presnosti a detekcie geomorfologických zmien

Použitie metódy SfM predstavuje pomerne jednoduchý a aj cenovo dostupný spôsob tvorby digitálneho modelu reliéfu (DMR). Pre overenie presnosti sme výsledné DMR z oboch území podrobili analýze presnosti s porovnaním presnosti s produktom z prvého cyklu leteckého laserového skenovania územia SR (ÚGKK

SR, 2023). Cieľom bolo posúdiť presnosť fotogrametrickej metódy SfM voči štátnemu štandardu a kvantifikovať objemové zmeny v mieste ťažby materiálu.

Pre obe územia boli použité dve časovo a technologicky odlišné epochy:

- Referenčná: DMR_{ref} z leteckého laserového skenovania (LLS SR - LiDAR) s rozlíšením 1 m, poskytnutý Úradom geodézie, kartografie a katastra SR.
- Porovnávaná: DMR_{sfm} generovaný metódou SfM s ultravysokým rozlíšením 4 cm, získaný z vlastného bezpilotného náletu.

Vzhľadom na výrazný nepomer rozlíšení (1:50) bola nevyhnutná harmonizácia dát s cieľom zabezpečiť sémantickú konzistenciu porovnávaných buniek. Proces prebehol v prostredí Python s využitím knižníc *rioxarray* a *rasterio* (Gillies, 2013; Hoyer a Hamman, 2017). SfM modely oboch území boli prevzorkované (downsampling) na rozlíšenie 1 m pomocou metódy priestorovej agregácie priemerom (average resampling), kedy každá nová bunka reprezentuje aritmetický priemer z 2500 pôvodných buniek vysokého rozlíšenia. Tento postup efektívne eliminuje mikro-šum fotogrametrických dát a zabraňuje vzniku artefaktov pri tvorbe diferenčného modelu.

Diferenčné modely reliéfu (DoD – DEM of Difference) boli vypočítané mapovou algebrou ako rozdiel nadmorských výšok (Wheaton et al., 2010):

$$DoD = DMR_{sfm} - DMR_{ref}$$

Pre obe lokality boli stanovené štatistické ukazovatele vertikálnej presnosti: stredná kvadratická chyba (RMSE) a robustná metrika NMAD (Normalized Median Absolute Deviation, Höhle a Höhle, 2009). Použitie NMAD je kľúčové pre územia s nenormálnym rozdelením chýb, kde sa vyskytujú extrémne odľahlé hodnoty (outliery):

$$NMAD = 1.4826 \times median(|\Delta Z_i - median\Delta Z|)$$

kde 1.4826 je normalizačný faktor (konštanta) pre prispôbenie mediánu štandardnej odchýlke pri normálnom rozdelení chýb, ΔZ_i predstavuje vertikálnu odchýlku (rozdiel výšok) v *i*-tej bunke rastra a $median\Delta Z$ je stredná hodnota (medián) všetkých vertikálnych odchýlok v rámci hodnoteného súboru dát.

Na základe teórie propagácie chýb oboch senzorov bol stanovený prah detekcie (LoD – Limit of Detection, Wheaton et al., 2010). Pre 95% interval spoľahlivosti bola určená hodnota LoD. Vertikálne rozdiely v intervale (-LoD; LoD) m boli v analýze klasifikované ako štatisticky nevýznamný šum merania a boli maskované.

V lokalite aktívneho lomu Olnava bol DoD model využitý na výpočet sedimentárnej bilancie (Sediment Budgeting, Wheaton et al., 2010). Celkový

objem odťaženej horniny (V_{ext}) a objem nových deponií (V_{dep}) bol stanovený sumáciou hodnôt buniek DoD presahujúcich prah LoD a ich vynásobením plochou pixelu (1 m^2):

$$V = \sum_{i=1}^n (\Delta Z_i \times A_{\text{pixel}})$$

kde V je predstavuje celkový vypočítaný objem v kubických metroch (m^3), n je celkový počet buniek (pixelov) rastra, ktoré vstúpili do výpočtu (ide o bunky presahujúce prah detekcie LoD), ΔZ_i je hodnota vertikálnej zmeny (výškový rozdiel) v i -tej bunke rastra vyjadrená v metroch a A_{pixel} predstavuje plošnú výmeru jednej bunky rastra.

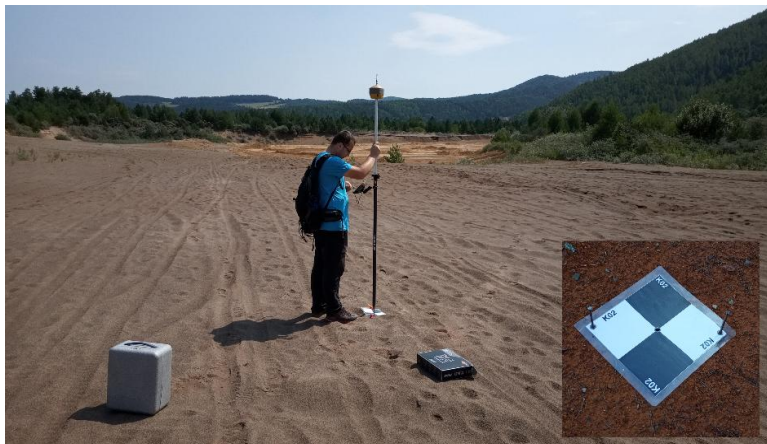
Čistá objemová zmena (V_{net}) v lome Olcnavá bola definovaná ako súčet objemov extrakcie (negatívne hodnoty) a deponizácie (pozitívne hodnoty), čo umožnilo exaktne kvantifikovať intenzitu ťažby medzi obdobím Lidarového snímania a fotogrametrického merania (SfM).

Získanie a spracovanie dát

V oboch prípadoch skúmaného územia bolo potrebné plánovanie samotného letu a aspoň odhad času, ktorý bude potrebný na zhotovenie všetkých snímok. Letový čas je v našom prípade 29 minút a dosah ovládania 7 km. To všetko samozrejme pri ideálnych podmienkach. Ovládač používa prepojenie so smartfónom, kde má pilot možnosť sledovať let a v prípade potreby zasiahnuť a prevziať riadenie. Systém inteligentného letu umožňuje automatický let po predpripravenej trase v nastavenej letovej výške. Užitočnou funkciou je v teréne možnosť návratu domov, teda zapamätanie si bodu vzletu a návrat naň po nasnímaní, čo nám dalo možnosť snímkovať zložitý terén kam bolo inak zložitá sa dostať, ako napr. vodná plocha, strmé svahy či hustá vegetácia. Pri použití drona bolo dôležité nájsť deň s dobrým počasím, jasnou oblohou, pokiaľ možno bezvetrím. Práve z tohto hľadiska je výhodné jeho nasadenie v letných mesiacoch. Ďalej bolo treba brať do úvahy skutočnosť, že všetky skúmané formy reliéfu sa nachádzajú v blízkosti lesného porastu na svahoch ktoré ho obkolesujú. Výška stromov bola rozdielna a bolo im treba prispôsobiť výšku letu z dôvodu aby nedošlo ku kolízii. Zvolili sme výšku podľa lokálnej situácie. Tu je potrebné dodať, že čím nižšie letí, tým sú získané snímky detailnejšie. Ak by terénne prekážky vyžadovali let príliš vysoko, zabránilo by to v identifikácii pozemných kontrolných bodov, ktoré je nutné neskôr v softvéri identifikovať. Limitujúcim faktorom použitia drona je stav a výdrž batérií. V našom prípade sme mali k dispozícii šesť batérií. Ich výdrž ovplyvňuje počasie. Dron nemusí lietať iba za

bezvetria, ale čas jeho letu bude skrátený, nakoľko bude spotrebúvať viac energie pri kompenzácii poryvov vetra. Kvôli výdrži jednotlivých batérií sme nalietavanú oblasť rozdelili na samostatné zóny (od rozlohy závisel ich počet). Po nalietaní jednej zóny nasledovala výmena batérie, presun na nový štartovací bod, kde dron pokračoval v snímkaní podľa vopred stanovenej trasy. Pri procese získavania fotografií sú okrem výšky stromov potenciálnymi problémami aj vtáky, ktoré môžu vnímať prítomnosť drona ako hrozbu. Nato aby mohli byť získané snímky neskôr spojené za použitia softvéru bolo treba vytvoriť dostatočné množstvo referenčných bodov a rozmiestniť ich rovnomerne na ploche odkaliska. Ako referenčné body sme využili zalaminované tabuľky upevnené k povrchu tak, aby sa po zameraní RTK GNSS prístrojom nepohli. Kontrastný čierno-biely dizajn pomáha ich identifikácii na získaných snímkach neskôr (obr. 1). Body sme sa snažili rozmiestniť rovnomerne a podľa veľkosti skenovanej formy aj prispôbovali ich počet. Ako príklad je obr. 2, kde sú zobrazené referenčné body na odkalisku Markušovce.

Obr. 1: Zameranie referenčných bodov a detail kontrastného terčika na lokalite Markušovce



Zdroj: Archív autora

Po nasnímaní celej lokality sa ťažisko práce presunulo do laboratória diaľkového prieskumu Zeme (DPZ), kde sme získané snímky preniesli z pamäťovej karty do prostredia softvéru Agisoft. Prvým krokom pri zostavení modelu je načítanie všetkých snímok z jednotlivých skenovacích zón, ktoré sú na základe polohy drona pospájané do jedného obrazu. Takto sme získali prvý grafický výstup – „roztrúsené mračno bodov“ (sparse point cloud), ktoré nám umožnilo skontrolovať správnu polohu fotografií (obr. 3).

Obr. 2: Rozmiestnenie kontrolných bodov na odkalisku Markušovce. Zobrazené sú aj polohy a odhady chýb. Chyby na osi Z znázorňuje farba, chyby na osi X a Y znázorňuje tvar elipsy.

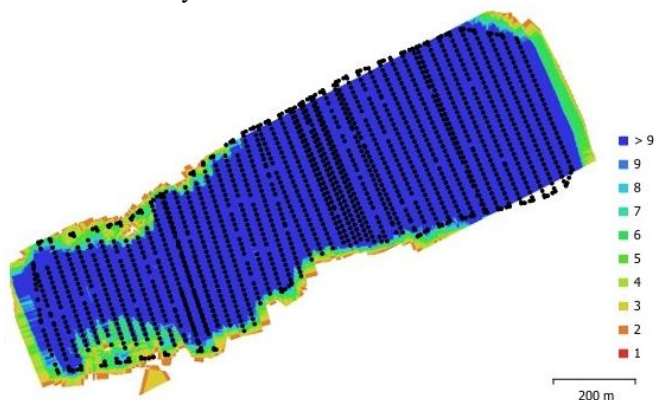


Zdroj: Vlastné spracovanie

Druhým krokom je identifikovanie GCP bodov, resp. GCP terčov ktoré sme v teréne zamerali a priradenie zameraných súradníc nájdeným bodom. To dalo vytváraným modelom oveľa väčšiu presnosť. Tento krok zároveň transformuje pôvodnú dronom využívanú súradnicovú sústavu WGS 84 do nášho zaužívaného súradnicového systému S-JTSK. Po kontrole správnosti a odchýlok sme pristúpili ku zhotoveniu takzvaného „hustého mrača bodov“ (dense point cloud). Práve pri vytváraní hustého mrača bodov je dôležitá výkonná pracovná stanica, keďže kvôli čo najkvalitnejším výsledkom je vhodné zvoliť vysokú kvalitu mrača bodov. Po kontrole vytvoreného mrača bodov, ktorého veľkosť a čas zhotovenia závisí od počtu fotografií, resp. rozlohy pôvodnej formy reliéfu sme pristúpili k vytvoreniu digitálneho modelu reliéfu (DMR) a ortorektifikovanej snímky. Rozlíšenie snímky je veľmi vysoké – jeden pixel je na skúmaných formách 1,5 – 2 cm skutočnej plochy povrchu. Kvalita je neporovnateľne vyššia v porovnaní so satelitnými snímkami. Prvý vytvorený model povrchu (DSM) na naše účely nepostačoval a tak sme ešte na záver pristúpili ku klasifikácii tých bodov (tvoriacich husté mračno bodov) ktoré nepredstavovali reliéf. Touto klasifikáciou sme z modelu odstránili vegetáciu a tak sme mohli pracovať so skutočnou výškou povrchu (DEM).

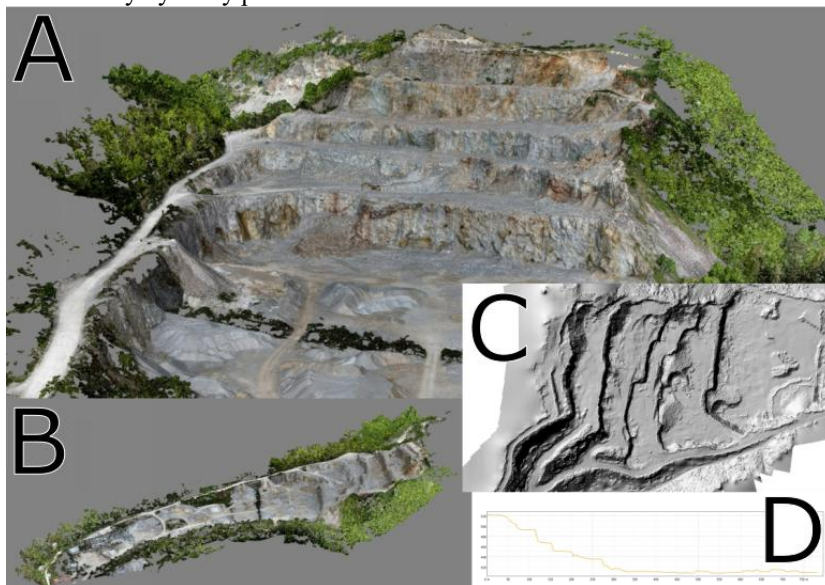
Ešte v softvéri Agisoft je možná práca s mračnom bodov v podobe vytvorenia videa či inej 3D vizualizácie nasnímaného reliéfu. Jednotlivé body mrača totižto nesú aj údaj o farbe. Je tak k dispozícii replika krajiny už po zostavení finálneho mrača bodov (dense point cloud). Exportom modelu reliéfu v podobe spomínaného DEM je známy a využívaný formát tiff, ktorý je ďalej využiteľný v rôznych GIS aplikáciách. Ako príklad uvádzame kameňolom Olnava na obr. 4.

Obr. 3: Prekrytie skenovaných miest fotografiami. Legenda udáva počet prekrývajúcich sa fotografií. Prekrytie sa 2D obrázkov z rôznej perspektívy je základom metódy SfM.



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 4: Kameňolom Olcava. A – detail mračna bodov v podobe etáží lomu, B – pohľad na celú snímkovанú plochu, C – detail etáží už ako DEM v prostredí QGIS, D – detailný výškový profil lomu Olcava



Zdroj: Vlastné spracovanie

Výsledky a diskusia

Realizovaný výskum v lokalitách stredného Spiša potvrdil, že metóda fotogrametrie Structure from Motion (SfM) s využitím bezpilotných leteckých prostriedkov (UAV) predstavuje vysoko efektívnu a presnú alternatívu k tradičným geodetickým metódam, a v lokálnom meradle dokáže dopĺňať štátne mapové diela založené na leteckom laserovom skenovaní (LiDAR). V oboch sledovaných územiach, Markušovce a Olcnava, sme dosiahli digitálne modely reliéfu (DMR) s pôvodným priestorovým rozlíšením 4 cm, čo poskytuje bezprecedentný detail morfolometrických parametrov v porovnaní s referenčným modelom DMR 5.0 s rozlíšením 1 m leteckého laserového skenovania SR (ÚGKK SR, 2023). Prezentovaný metodický postup tvorby DMR prostredníctvom SfM chápeme ako pomerne lacnejšiu a efektívnu alternatívu v porovnaní s údajmi získaných prostredníctvom LiDARu. Výsledné DMR sme porovnali s produktom DMR 5.0 (ÚGKK SR, 2023) z leteckého laserového skenovania (LiDAR) územia SR v rámci prvého cyklu. Obe územia spadajú do polygónu Poprad, kde skenovanie prebehlo v čase od 29.03.2021 do 05.05.2021. Naše snímkovanie prebehlo 27.09.2019 v lokalite Markušovce a 22.05.2021 v Olcnave.

Pre lokalitu Markušovce, reprezentujúcu stabilnú starú banskú záťaž, bola zistená stredná kvadratická chyba (RMSE) na úrovni 0,7254 m, zatiaľ čo v dynamickom prostredí lomu Olcnava táto hodnota narástla až na 1,5409 m. Vedecká interpretácia RMSE však môže byť zavádzajúca, pretože táto metrika je mimoriadne citlivá na odľahlé hodnoty (outliery), ktoré v prípade kameňolomu nereprezentujú chybu merania, ale reálnu zmenu reliéfu.

Z tohto dôvodu sme v súlade s metodikou autorov Höhle a Höhle (2009) implementovali robustnú metriku NMAD (Normalized Median Absolute Deviation). V lokalite Markušovce dosiahla hodnota NMAD 0,2013 m, čo indikuje, že na drvivej väčšine plochy (cca 68 % až 95 % podľa typu rozdelenia) dosahuje SfM model presnosť okolo 20 cm. V lokalite Olcnava je hodnota NMAD 0,2866 m, čo napriek obrovským rozdielom v metroch spôsobených ťažbou dokazuje, že SfM model je na stabilných plochách (prístupové cesty, etáže) takmer rovnako presný ako v lokalite Markušovce. Tento nepomer medzi vysokým RMSE a relatívne nízkym NMAD vedecky potvrdzuje prítomnosť "geomorfologického signálu" – teda reálnej zmeny povrchu, ktorá maskuje skutočnú technickú presnosť senzora. Systematický posun (Bias) bol v oboch lokalitách záporný (-0,12 m pre Markušovce a -0,28 m pre Olcnavu), čo naznačuje mierne podhodnotenie výšok SfM modelom, pravdepodobne v dôsledku vplyvu tieňov alebo vegetácie, ktorú LiDAR na rozdiel od SfM dokáže penetrovat'.

Porovnanie modelov bolo realizované cez diferenčný model reliéfu (DoD – DEM of Difference; Wheaton et al., 2010), ktorý vznikol odpočítaním LiDARového modelu od resamplovaného SfM modelu. Pre minimalizáciu vplyvu

šumu spôsobeného objektami na skenovanom povrchu sme do výpočtu aplikovali prah detekcie (LoD – Limit of Detection). Na základe teórie propagácie chýb sme stanovili hodnotu $LoD = 0,31$ m pre 95% interval spoľahlivosti. Výber hodnoty 31 cm bol založený na výpočte (Wheaton et al., 2010):

$$\sigma_{DoD} = \sqrt{\delta Z_{LiDAR}^2 + \delta_{SfM}^2}$$

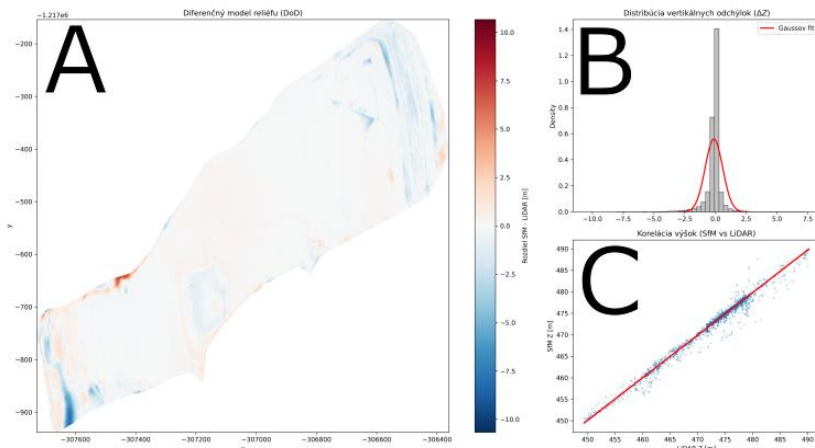
kde sme uvažovali s technickou neistotou LiDARu 0,15 m (požiadavka DMR 5.0) a SfM 0,05 m. Ignorovanie všetkých zmien v intervale $\pm 0,31$ m nám umožnilo očistiť výsledky od štatistického šumu spôsobeného napríklad nízkou vegetáciou (tráva), drobnými chybami v georeferencovaní alebo generalizáciou 1 m mriežky LiDARu, ktorá nevyhnutne vyhladzuje mikrorelief. Bez aplikácie tohto prahu by do sedimentárnej bilancie vstupovali milióny buniek s falošnými zmenami, čo by viedlo k masívnemu skresleniu výsledných objemov.

Komplexný pohľad na priestorovú distribúciu odchýlok v lokalite Markušovce (obr. 5) zobrazuje relatívnu stabilitu územia. Diferenčný model (obr. 5A) je dominantne sivý, čo svedčí o vysokej miere zhody medzi SfM (2019) a LiDAR (2021). Modré línie v juhozápadnej časti zachytávajú mikrodepresie a ryhy, ktoré sú v LiDAR modeli vyhladené, ale SfM vďaka 4 cm rozlíšeniu ich zachytáva exaktne. Histogram vertikálnych odchýlok ΔZ (obr. 5B) vykazuje veľmi ostrý vrchol okolo nuly s normálnym (Gaussovým) rozdelením, čo potvrdzuje kvalitu fotogrametrického spracovania. Korelačný graf (obr. 5C) vykazuje takmer lineárnu závislosť s minimálnym rozptylom, čo potvrdzuje NMAD hodnotu 20 cm.

V prípade lokality Olcna môžeme vidieť úplne iný charakter distribúcie chýb. DoD mapa (obr. 6A) odhaľuje veľké plochy rozdielov (sýtomodré a červené farby). Histogram má výrazne širšiu základňu a "dlhé chvosty" siahajúce od -15 m do +10 m. Táto asymetria v histograme (obr. 6B) je dôkazom, že rozdiely medzi modelmi nie sú náhodným šumom merania, ale odrážajú antropogénne procesy – ťažbu horniny a tvorbu depónií v aktívnom lome. Rozptyl v korelačnom grafe (obr. 6C) je podstatne vyšší, čo je priamym dôsledkom fyzických zmien v teréne medzi jednotlivými meraniami. Porovnanie SfM a LiDARu viedlo k zisteniu, že v tomto špecifickom prípade neporovnávame len dva senzory, ale monitorujeme dynamiku ťažby v čase. Keďže SfM meranie v Olcnavě prebehlo 22. 5. 2021 a LiDARové snímanie v rámci polygónu Poprad sa realizovalo v tesnom predstihu (marec – máj 2021), detegované zmeny sú mimoriadne aktuálne a reprezentujú intenzívnu činnosť v lome práve v tomto jarnom období. Tento fakt nás viedol k výpočtu sedimentárnej bilancie (Sediment Budgeting) podľa metodiky Wheatona et al. (2010), aby sme kvantifikovali celkový objem presunutého materiálu. Obr. 6a vizualizuje filtrované DoD, kde sivá farba maskuje všetko pod prahom LoD 0,31 m. Sýtomodré plochy reprezentujú miesta extrakcie, kde objem odťaženej horniny dosiahol až 88 883 m³.

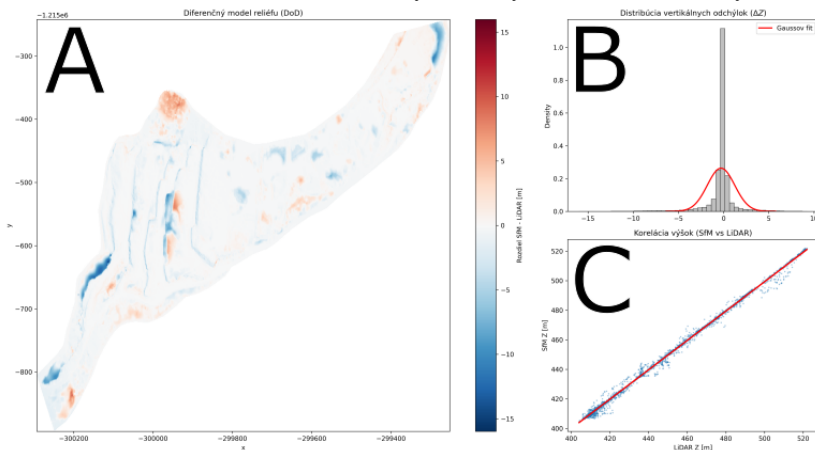
Červené plochy identifikujú nové haldy materiálu s celkovým objemom 39 232 m³. Táto bilancia jasne ukazuje prevahu ťažby nad navážaním materiálu v sledovanom krátkom období, čo korešponduje so zisteným záporným Biasom (-0,28 m).

Obr. 5: Analýza presnosti DMR na lokalite odkaliska Markušovce. A – diferenčný model reliéfu, B – distribúcia vertikálnych odchýlok, C – korelácia výšok



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 6: Analýza presnosti DMR na lokalite kameňolomu Olcava. A – diferenčný model reliéfu, B – distribúcia vertikálnych odchýlok, C – korelácia výšok



Zdroj: Vlastné spracovanie

Výsledky našej práce demonštrujú, že SfM fotogrametria je schopná dosahovať porovnateľnú presnosť s LiDARovými dátami štátneho štandardu DMR 5.0, pričom na stabilných plochách bez vysokej vegetácie sa priemerná odchýlka pohybuje v rozmedzí 20 až 28 cm (NMAD). Ultravysoké rozlíšenie SfM modelu (4 cm) prináša zásadnú pridanú hodnotu v možnosti identifikácie mikro-formiem reliéfu, ktoré LiDAR v 1 m rozlíšení nevyhnutne vyhladzuje.

Záver

Vhodnosť použitia takéhoto prístupu k získaniu priestorových údajov závisí od prístrojového vybavenia. Pozemné skenovanie (napr. laserové pomocou prístroja FARO) nemusí byť vhodné ak ide o väčšie územie. Lidarové skenovanie je výhodnejšie pri vegetácii, no zároveň je finančne náročnejšie. Predstavená fotografická metóda okrem detailného modelu reliéfu umožňuje aj získanie podrobnej ortorektifikovanej snímky. Jej použitie je výhodné v prípadoch kedy skúmané územie nepokrývajú veľké a husté kusy vegetácie (Eltner et al., 2016), prístup neblokujú napríklad elektrické stĺpy vysokého napätia, či sa v oblasti nevyskytujú hniezdiace chránené druhy vtákov, ktoré by vnímali dron ako hrozbu a hrozil by kontakt počas snímkovania. Jej presnosť je taktiež silne závislá od kvality georeferencovania. Použitie vlícovacích bodov (GCP) je nevyhnutné pre elimináciu systematických chýb, ako je napríklad efekt "kupoly" (doming effect) pri lineárnom snímaní (James a Robson, 2014). Podobné využitie tejto metódy napríklad pri fluválnej geomorfológii opísali Carrivick a Smith (2019), pedogeografii Dobbs et al. (2023), Koco, Vilček a Torma (2023), výskume lavín Salazar et al. (2020). Nami uskutočnené využitie snímkovanie antropogénnych tvarov reliéfu poskytuje možnosť získania kvalitných a podrobných priestorových údajov pri ďalšom výskume aj pri rozhodovacích procesoch vzhľadom na to, že tieto lokality sú environmentálnymi záťažami, ktoré budú potrebovať v budúcnosti nájsť riešenie ich zabezpečenia, odstránenia alebo rekultivácie. Metóda SfM potvrdila svoje využitie aj pri týchto špecifických banských a priemyselných formách reliéfu. Z hľadiska praktického využitia v geovedách je kľúčovým zistením nevyhnutnosť používania robustných štatistík (NMAD) a prahu detekcie (LoD), najmä v dynamických prostrediach ako sú kameňolomy. Aplikácia LoD = 0,31 m sa ukázala ako kritická pre validný výpočet sedimentárnej bilancie, pričom v lokalite Olnava sme úspešne kvantifikovali objemy ťažby, ktoré by inak boli skreslené šumom merania. SfM tak predstavuje nielen nízkonákladovú náhradu LiDARu, ale v kombinácii s ním tvorí výkonný nástroj pre 4D monitoring (priestor + čas) antropogénnych zmien krajiny. Zároveň, navrhnutý postup harmonizácie dát v prostredí Python s využitím knižnic rioxarray a rasterio (Gillies, 2013; Hoyer a Hamman, 2017) je plne automatizovaný a replikovateľný pre podobné štúdie zamerané na detekciu zmien digitálnych modelov reliéfu.

Pod'akovanie

Príspevok bol spracovaný v rámci projektu EU NextGenerationEU through the Recovery and Resilience Plan for Slovakia under the project No. 09I03-03-V05-00006.

Literatúra

- AGISOFT PHOTOSCAN. 2017. *User manual. Professional Edition, Version 1.3.* [Online]. [Cit. 12. 1. 2026]. Dostupné na internete: http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_3_en.pdf
- BRŮHA, L. 2017. Modely prostorových dat v GIS: od 2D k 3D. In *Geografické rozhledy*. ISSN 1210-3004, 2017, roč. 26, č. 4, s. 18-19.
- CARRIVICK, J. L. – SMITH, M. W. – QUINCEY, J. 2016. *Structure from Motion in the Geosciences*. Wiley-Blackwell: Chichester, UK, 2016. 208 p. ISBN 978-1-1188-9584-9.
- CARRIVICK, J. L. – SMITH, M. W. 2019. Fluvial and aquatic applications of Structure from Motion photogrammetry and UAV/drone technology. In *Wiley Interdisciplinary Reviews*. ISSN 1939-5108, 2019, vol. 6, no. 1. DOI: <https://doi.org/10.1002/wat2.1328>
- DOBBS, A. M. – GINN, D. – SKOVSEN, S. K. – YADAV, R. – JHA, P. – BAGAVATHIANNAN, M. V. – MIRSKY, S. B. – HORTON, C. S. – LEON, R. G. 2023. Using structure-from-motion to estimate cover crop biomass and characterize canopy structure. In *Field Crops Research*. ISSN 0378-4290, 2023, vol. 302. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109099>
- ELTNER, A. – SCHNEIDER, D. 2016. Analysis of Different Methods for 3D Reconstruction of Natural Surfaces from Parallel-Axes UAV Images. In *The Photogrammetric Record*. ISSN 1477-9730, 2016, vol. 30, no. 151, pp. 279-299. DOI: <https://doi.org/10.1111/phor.12115>
- ELTNER, A. – KAISER, A. – CASTILLO, C. – ROCK, G. – NEUGIRG, F. – ABELLÁN, A. 2016. Image-based surface reconstruction in geomorphometry – merits, limits and developments. In *Earth Surface Dynamics*. ISSN 2196-632X, 2016, vol. 4, no. 2, pp. 359-389. DOI: <https://doi.org/10.5194/esurf-4-359-2016>
- ELTNER, A. – SOFIA, G. 2020. Structure from motion photogrammetric technique. In *Developments in Earth Surface Processes*. ISSN 0928-2025, 2020, vol. 23, pp. 1-24.
- FONSTAD, M. A. – DIETRICH, J. T. - COURVILLE, B. C. - JENSEN, J. L. – CARBONNEAU, P. E. 2013. Topographic structure from motion: a new development in photogrammetry. In *Earth Surface Processes and Landforms*. ISSN 1096-9837, 2013, vol. 38, no. 4, pp. 421-430. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.3366>

- GILLIES, S. 2013. Rasterio: geospatial raster I/O for Python programmers. Mapprox. Dostupné na internete: <https://github.com/rasterio/rasterio>
- HARTLEY, R. – ZISSERMAN, A. 2011. *Multiple View Geometry in Computer*. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. 670 p. ISBN 978-0521540513.
- HOFIERKA, J. – KAŇUK, J. 2010. Aplikácie 3D modelov miest v geografickom výskume In *Geographia Cassoviensis*. ISSN 1337-6748, 2010, roč. 4, č. 1, s. 69-72.
- HÖHLE, J. – HÖHLE, M. 2009. Accuracy assessment of digital elevation models by means of robust statistical methods. In *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. ISSN 0924-2716, 2009, vol. 64, no. 4, pp. 398-406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.02.003>.
- HOYER, S. – HAMMAN, J. 2017. xarray: N-D labeled arrays and datasets in Python. In *Journal of Open Research Software*. ISSN 2049-9647, 2017 vol. 5, no. 1, pp. 10. DOI: <https://doi.org/10.5334/jors.148>
- JAMES, M. R. – ROBSON, S. 2014. Mitigating systematic error in topographic models derived from low-cost UAV imagery. In *Earth Surface Processes and Landforms*. ISSN 1096-9837, 2014, vol. 39, no. 10, pp. 1413-1418. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.3609>
- JENČO, M. – FULAJTÁR, E. – BOBÁĽOVÁ, H. – MATEČNÝ, I. – SAKSA, M. – KOŽUCH, M. – GALLAY, M. – KAŇUK, J. – PÍŠ, V. – ORŠULOVÁ, V. 2020. Mapping Soil Degradation on Arable Land with Aerial Photography and Erosion Models, Case Study from Danube Lowland, Slovakia. In *Remote Sensing*. ISSN 2072-4292, 2020, vol. 12, no. 24. Article number 4047. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12244047>
- KAŇUK, J. – GALLAY, M. – HOFIERKA, J. 2015. Generating time series of virtual 3-D city models using a retrospective approach. In *Landscape and Urban Planning*. ISSN 0169-2046, 2015, vol. 139, pp. 40-53.
- KOCO, Š. – VILČEK, J. – TORMA, S. 2023. Alternatívne metódy mapovania vodnej erózie. In *Naše pole*. ISSN 1335-2466, 2023, roč. 27, č. 7, s. 32-34.
- LLENA, M. – VERICAT, D. – MARTINEZ-CASASNOVAS, J. A. 2018. Application of Structure from Motion (SfM) algorithms for the historical analysis of changes in fluvial geomorphology. In *Cuaternario y geomorfología*. ISSN 0214-1744, vol. 32, no. 1-2, pp. 53-73. DOI: <https://dx.doi.org/10.17735/cyg.v32i1-2.60410>
- LUCIEER, A. – de JONG, S. M. – TURNER, D. 2014. Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. In *Progress in Physical Geography*. ISSN 1477-0296, 2014, vol. 38, no. 1, pp. 97-116. DOI: <https://doi.org/10.1177/0309133313515293>
- MAXIN, M. 2019. Aktuálny stav banských foriem reliéfu vo vybraných obciach Spiša. In *Geografické informácie*. ISSN 2730-0196, roč. 23, č. 2, s. 4-15.

- MEYER, P. 2017. 3D modely v geografii a jejich nevyužitý potenciál In *Geografické rozhledy*. ISSN 1210-3004, 2017, roč. 26, č. 4, s. 20-21.
- OMIDIJI, J. – STEPHENSON, W. – NORTON, K. 2023. Cross-scale erosion on shore platforms using the micro-erosion meter and Structure-from-Motion (SfM) photogrammetry. In *Geomorphology*. ISSN 1872-695X, 2023, vol. 434, article number 108736. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108736>
- SALAZAR, S. – SMEBYE, H. – FRAUENFELDER, R. – MILLER, F. – SOLBAKKEN, E. – HUMSTAD, T. – MCCORMACK, E. 2020. Airborne Structure-from Motion modelling for avalanche and debris flow paths in steep terrain with limited ground control. In *EGU General Assembly*. [online], 2020, [cit. 4.2.2026]. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-20529>
- SMITH, M. W. – CARRIVICK, J. L. – QUINCEY, D. J. 2016. Structure from Motion (SfM) photogrammetry in geomorphology. In *Progress in Physical Geography*. ISSN 1477-0296, 2016, vol. 40, no. 2, pp. 247-275. DOI: <https://doi.org/10.1177/03091333156158>
- ULLMAN, S. 1979. *The Interpretation of Visual Motion*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1979. 244 p. ISBN 0-262-71011-0. DOI: <https://doi.org/10.7551/mitpress/3877.001.0001>
- ÚRAD GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A KATASTRA SLOVENSKEJ REPUBLIKY. 2023. Digitálny model reliéfu Slovenskej republiky – DMR 5.0. [online dataset]. Bratislava: ÚGKK SR. Dostupné na: <https://www.skgeodesy.sk/gku/produkty-sluzby/na-stiahnutie/zbgbis.html#l1s>
- WHEATON, J. M. – BRASINGTON, J. – DARBY, S. E. – SEAR, D. A. 2010. Accounting for uncertainty in DEMs from repeat topographic surveys: improved sediment budgets. In: *Earth Surface Processes and Landforms*. ISSN 0197-9337, 2010, vol. 35, no. 2, pp. 136-156. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.1886>

ANTHROPOGENIC GEOMORPHOLOGY MODELS USING STRUCTURE FROM MOTION

Summary

The article focuses on the use of the photogrammetric method Structure from Motion (SfM) in anthropogenic geomorphology. We demonstrate this by obtaining a 3D model of anthropogenic landforms. We compare the creation of a relief model with other methods such as ground scanning or lidar scanning. Each of these methods has its advantages and disadvantages, which we describe in the relevant places. We conducted our research in the region of central Spiš. It is a region with a rich history of mining and ore processing, and therefore many

anthropogenic landforms are found there. We focused on the larger ones and as an example in the article we present the model of the Markušovce mine tailings pond, which is a remnant from the processing of ores mined in this region and today represents an environmental burden on nature. Today it is no longer used for its original purpose. The second location from which the SfM demonstration comes is a still active Olcnavá quarry. The SfM is based on taking pictures from multiple angles and using GNSS position sensing. When compiling 3D models, we used the DJI Phantom 4 Pro drone with an ultra HD camera to obtain basic images with spatial information. To refine the obtained models and transform them into the SJTSK coordinate system used in our country, we also used an RTK GNSS device. Specifically, it was the HIPER HR from Topcon together with the Topcon FC-5000 field computer with high accuracy and resistance to the elements. We subjected the scanned locations to a preliminary field survey to determine the suitability of using the drone (so that there were no no-fly zones, high-voltage pylons, bird nesting sites that could have contact with the drone). We placed targets for ground control points (GCP) on the scanned area and chose a suitable flight height, so that there would be no collisions and these GCPs were still identifiable. We processed the acquired images using Agisoft software, created a dense point cloud, removed vegetation and other obstacles, and thus obtained a digital elevation model (DEM). The entire process of creating a relief model is continuously shown in the attached figures 1-4, as well as the outputs in the form of TIFF format usable in GIS software. In the chapter "Results and Discussion" we compare the obtained relief models with the available LiDAR scanning of the territory of the Slovak Republic. We explain the use of the Normalised Median Absolute Deviation method, which shows the high accuracy of the SfM method. By subtracting the LiDAR relief model from the resampled SfM model, we obtained a comparison of both models. We also graphically displayed a comprehensive view of the spatial distribution of deviations in both locations in Figures 5 and 6. As a result, SfM is not only comparably accurate as LiDAR scanning, but also allows the study of microforms of the relief due to its high resolution. The obtained relief models represent an excellent alternative to terrestrial laser or lidar scanning. They are a good basis for further research or decision-making processes in the landscape management.

Mgr. Matúš Maxin, PhD.

Doc. RNDr. Štefan Koco, PhD.

Katedra geografie

Fakulta humanitných a prírodných vied

Prešovská univerzita v Prešove

Ul. 17. novembra 1, 080 01 Prešov

E-mail: matus.maxin@unipo.sk

SPATIAL TEMPERATURE DIFFERENCES AT VARIOUS LOCATIONS IN THE CITY OF NITRA

Zuzana Pucherová, Lucia Jamrichová, Regína Mišovičová

Abstract

The city, as a component of the cultural landscape, can be perceived as an open and dynamic system whose development is conditioned by the relationship between natural processes, urban structure, and human activity. These relationships lead to the continuous transformation of the spatial organization of the territory. Using the example of the city of Nitra, we evaluated spatial temperature differences in six locations. The analysis was based on data from monitoring stations collected between 1 November 2024 and 31 October 2025, covering temperature measurements in six time intervals during day. For each monitoring location, within a 200 m buffer around the station, we determined the proportion of built-up, permeable, and impermeable surfaces based on land-use patterns. Each monitoring station was classified into a local climate zone within the city of Nitra, and the results indicate differences in the thermal regime of the urban environment. The temperature patterns observed during the evaluated period highlight the influence of urban structure, degree of built-up area, and vegetation cover at the individual locations. The aim of the paper is to point out temperature differences in relation to landscape cover and in terms of the proportion of vegetation at the evaluated locations within the climatic zones of the city of Nitra over a period of one year.

Keywords: urban environment, temperature, land use, climate zone, urban heat island, Nitra

Introduction

In recent years, cities have become increasingly involved in processes aimed at mitigating the impacts of climate change and adapting to them. Their vulnerability to climate change arises from a combination of high population density, specific geographic and environmental conditions, and extensive technical infrastructure.

The urban heat island (UHI) is a climatic phenomenon associated with urbanization. In the context of climate change, municipalities must adapt to the increasing occurrence of heat waves by managing the UHI (Foissard et al., 2019). The Urban Heat Island (UHI) effect is characterized by elevated air temperatures in urban and industrialized areas compared to adjacent rural regions (Jabbar et al.,

2023). This phenomenon is mainly attributed to urban buildings and paved surfaces that absorb and retain heat, as well as additional heat emissions from human activities. Depending on factors such as the size of the city and the physical properties of the surface materials, the temperature difference between urban and rural environments can range from 1 °C to 7 °C (Akbari et al., 2001). The urban heat island (UHI) effect manifests itself as differences in air temperature near the ground (the tree canopy layer) due to different cooling patterns in urban and rural areas (Mandjoupa et al., 2025). The combined effects of city size, geographic setting, temporal variability, and the structural and functional properties of urban areas contribute to elevated urban temperatures.

Urban design plays an important role in shaping the UHI effect, with factors such as urban canyon dimensions, aspect ratio, building height, ventilation corridors, building density, site planning, and the extent of greenery influencing microclimate dynamics (Yang et al., 2021). Vegetation cover has a significant impact on surface temperature distribution, as there is a relationship between land cover structure and urban area materials with increasing temperature in urban areas (Gorgani et al., 2013). The relationship between land cover structure and urban area materials with increasing temperature in urban areas is becoming increasingly important for understanding the impacts on the environment as well as on human health (Stone, Rodgers, 2001). Marzban et al. (2018) state that it is important to understand the relationship between land cover and surface temperature, which allows for a better understanding of the magnitude and pattern of the UHI and how different land cover types contribute to its formation.

The aim of the contribution is to evaluate temperature differences in 6 locations in the city of Nitra over a period of one year (1.11.2024 – 31.10.2025) and to point out the relationship between temperature and landscape cover, or the proportion of vegetation in the given locations within the climatic zones of the city of Nitra.

Materials and Methods

When determining temperature differences, we used data from 10 SOFTEC R-Enviro (REN) monitoring stations, model from 2020, located in the city of Nitra. The monitoring itself is part of the operation of the IoT (Internet of Things)-based meteorological data collection system within the project "Comprehensive smart solution for air monitoring in Nitra". For the purposes of our contribution, we used results from only 6 stations: 1. Hviezdoslavova trieda/Dolnočermánska; 2. Štefánikova/Štúrova; 3. Staré mesto - Svätoplukovo námestie; 4. Svätourbanská Zobor; 5. Detské dopravné ihrisko Chrenová; 6. Novozámocká/R1 Horné Krškany (Figure 1, Table 1). The reason for selecting only 6 stations was the significant amount of missing measurement data at the remaining four stations.

For individual monitoring stations, we used available data regarding daily temperatures in 6 time intervals: 1. morning (6:00-9:00 a.m.), 2. afternoon (9:00-11:00 a.m.), 3. lunch (11:00-1:00 p.m.), 4. afternoon (1:00-3:00 p.m.), 5. evening (6:00-10:00 p.m.) and 6. night (10:00 p.m.-6:00 a.m.). The temperatures in these time intervals were averaged and the resulting temperature was given for the entire monitoring time interval. For the purposes of our case study, we chose a time series of complete data from November 1, 2024 to October 31, 2025. Buffers ranging from 100 m to 500 m are most commonly used to characterize the immediate environment of each monitoring station (Ju et al., 2024; de la Iglesia Martinez, Labib, 2023; Jimenez et al., 2022) depending on the density of development and the proportion of vegetation. Lower buffer values (100 m – 300 m) better capture immediate residential greenery and higher density of development, while higher buffer values (500 m and more) better capture neighbourhood-level access and lower density of development. Following the methodological procedure of Foissard et al. (2019) and for the purposes of this study, we have allocated a circular buffer with a radius of 200 m from each monitoring station. We performed an analysis of land use in individual buffers and expressed the share of built-up areas (buildings), permeable areas, i.e. areas with vegetation cover (vegetation), and impervious areas with non-vegetation cover (paved surfaces, e.g. sidewalks, roads, parking lots, etc.). The share of built-up areas was derived from a vector layer of buildings obtained from the freely available OpenStreetMap database and these were subsequently updated from orthophotomaps from 2020 in the 5514 coordinate system, with a number of channels of 4 (RGBN 8-bit), with a resolution of 20 cm/1 pixel. The individual orthophotos were multispectral and contain a near infrared band, based on which we were able to derive and classify NDVI value indices (vegetation areas). Areas with NDVI values indicating vegetation cover were included in the vegetation category. The proportion of impervious areas was subsequently determined indirectly as the remaining part of the circular buffer area after subtracting built-up and vegetation areas. The percentage representation of individual surface types thus obtained was used to interpret differences in the temperature regime between the monitored locations. We assigned each of the monitoring stations to a local climate zone (Figure 2).

Figure 1: Distribution of monitoring stations in the city of Nitra

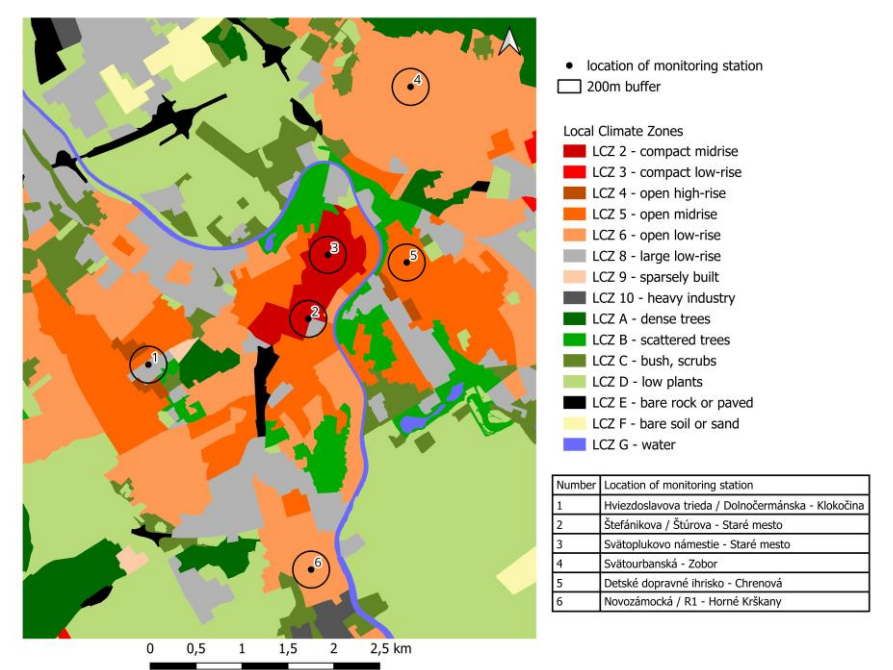


Author: Jamrichová, L. (2026)

Table 1: Locations of meteorological stations

Location name		Place of installation
1	Hviezdoslavova trieda/Dolnočermánska – Klokočina	48°18'07.6"N 18°03'45.9"E
2	Štefánikova/Štúrova – Staré mesto	48°18'28.6"N 18°05'08.0"E
3	Svätoplukovo námestie – Staré mesto	48°18'51.6"N 18°05'15.3"E
4	Svätourbanská – Zobor	48°19'53.0"N 18°05'51.1"E
5	Detské dopravné ihrisko – Chrenová	48°18'51.4"N 18°05'57.2"E
6	Novozámocká/R1 – Horné Krškany	48°17'00.9"N 18°05'21.1"E

Figure 2: Monitoring stations, 200 m buffers and local climate zones in the city of Nitra



Author: Jamrichová, L. (2026)

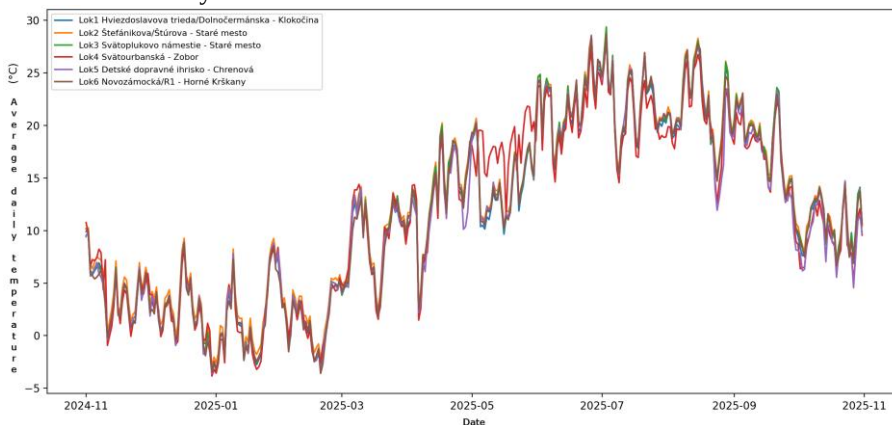
Results

The evaluation of air temperature measurements in six locations in the city of Nitra points to significant spatial differences in the thermal regime of the urban environment. The temperature trend also indicates a significant influence of the urban structure, the degree of building, vegetation covers and traffic load.

From the daily temperature measurements in six locations in the city of Nitra, the average daily temperature trend was evaluated for the period from 1 November 2024 to 31 October 2025. For each location, the average daily temperature was calculated as the average of six daily intervals (morning, forenoon, lunch, afternoon, evening, night) (Graph 1). Subsequently, the basic characteristics of the temperature regime (average, minimum, maximum) between individual locations were compared. The results show that the temperature course during the year shows similar seasonal dynamics in all locations - with minima during the winter months (December to February) and maxima during the summer

period (June to August). However, differences between locations are identifiable mainly in the level of average temperature and the range of extremes.

Graph 1: Average daily temperature trend (from 1.11.2024 to 31.10.2025) at 6 locations in the city of Nitra

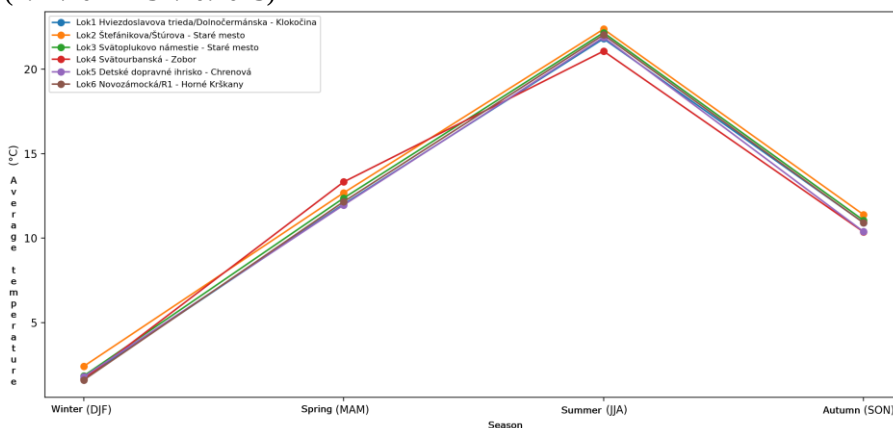


The highest average daily temperature was recorded in Location 2 (Štefánikova/Štúrova – Old Town), which indicates a more pronounced urban character of the area (built-up area, paved surfaces, lower proportion of vegetation), and thus a potentially higher impact of the urban heat island effect (UHI). The lowest average daily temperature was observed in Location 5 (Children's Traffic Playground – Chrenová), which may be more influenced by vegetation elements and more favorable microclimatic conditions. In terms of temperature extremes, the highest maximum temperature was recorded in Location 3 (Svätoplukovo námestie – Old Town), which may be related to intense overheating of the central area with a higher proportion of paved surfaces and high heat accumulation. On the contrary, the lowest minimum values were recorded at Location 4 (Svätourbanská – Zobor), which indicates a higher susceptibility to cooling (e.g. due to relief, openness of space, vegetation or local circulation conditions).

Overall, it can be stated that locations in the central zone of the city (Old Town) show higher temperatures especially during the warm period of the year, while peripheral or vegetationally more favourable locations show lower average temperatures and a different course of extremes. This result supports the importance of green infrastructure and surface structure in regulating the local temperature regime of the city. In graph 2, it is possible to see the seasonal course of temperatures at all locations. The highest seasonal averages in the summer

months (June, July, August) are achieved by Location 2 – Štefánikova/Štúrova (Old Town), which together with Location 3 Svätoplukovo námestie (Old Town) maintain higher averages especially in warm periods. The coldest location for the winter months (December, January, February) is Location 6 – Novozámocká/R1 (Horné Krškany), and Location 4 – Svätourbanská (Zobor) is also very close. This location has an interesting seasonal pattern, as it is the warmest in the spring months, which is probably related to the relief and faster overheating of the more southerly exposed/deforested areas (Graph 2).

Graph 2: Seasonal temperature averages in 6 locations in the city of Nitra (1.11.2024 – 31.10.2025)



The highest average difference between day (morning, forenoon, lunch, afternoon) and night (evening, night) is at Location 5 Detské dopravné ihrisko - Chrenová $\sim +1.88$ °C and just behind it is Location 3 Svätoplukovo námestie – Staré mesto $\sim +1.85$ °C. The lowest difference between day and night, i.e. a relatively more balanced temperature regime between day and night, is at Location 4 Svätourbanská (Zobor) $\sim +1.19$ °C. A higher difference between day and night means stronger overheating during the day (exposed surfaces) or weaker heat retention at night. A lower difference between day and night may indicate higher night heat retention (urbanized core) or a stabilizing effect of relief or vegetation (graph 3).

In the 200 m buffers around each of the monitoring sites, there are differences in the representation of built-up areas, permeable areas with vegetation cover and impermeable areas with non-vegetation cover (Figure 3). The largest shares of built-up areas are in the areas of the Old Town Štefánikova/Štúrova (44.20%) and Svätoplukovo námestie (34.81%). The smallest share of built-up

areas is in the site 4 Svätourbanská – Zobor (9.74%). The highest share of permeable areas with vegetation cover is in the sites Detské ihrisko Chrenová (49.71%) and Svätourbanská – Zobor (40.38%), and conversely the lowest share of such areas is in the Štefánikova/Štúrova (Old Town) site 4.13%. Impermeable surfaces are most represented at the Hviezdoslavova tryda/Dolnočermánska (Klokočina) location (74.10%) and least at the Detské dopravné ihrisko (Chrenová) location (37.11%) (Table 2).

Graph 3: Monthly average temperature difference day vs. night (ΔT) in 6 locations of the city of Nitra (1.11.2024 – 31.10.2025)

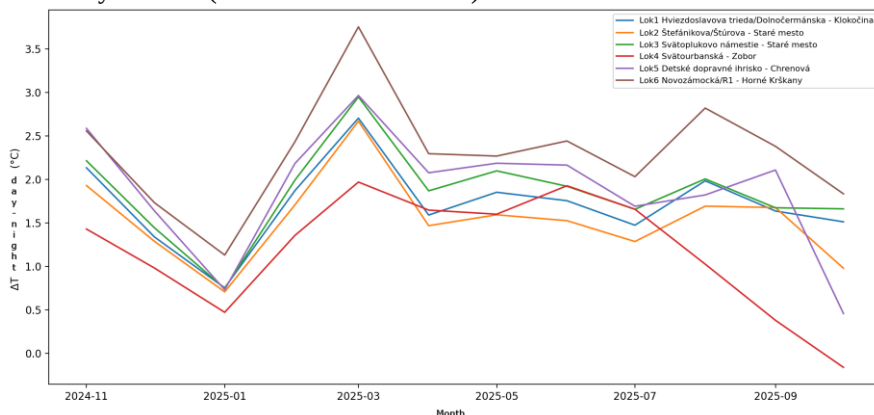
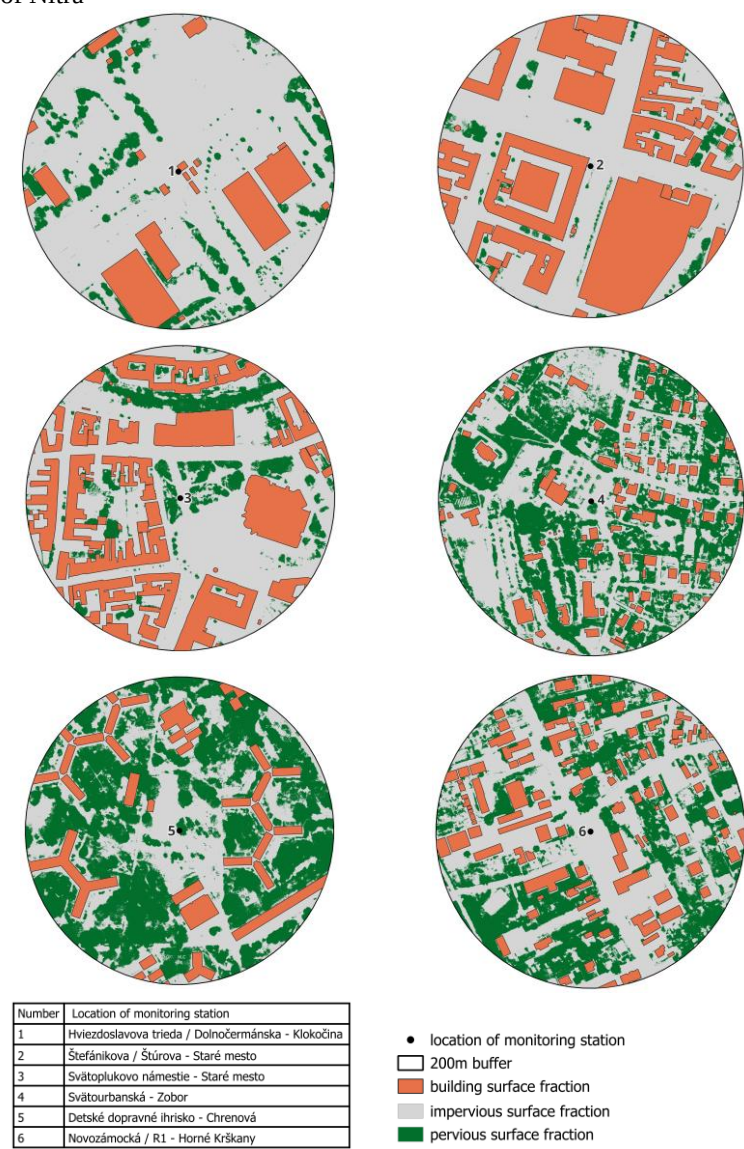


Table 2: Built-up areas, areas with vegetation and non-vegetation cover in 200 m buffers of six monitoring sites in the city of Nitra

Location name		200 buffer		BA		PA		IA	
		(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
1	Hviezdoslavova trieda/Dolnočermánska (Klokočina)	12,55	100	1,70	13,56	1,55	12,34	9,30	74,10
2	Štefánikova/Štúrova (Staré mesto)	12,55	100	5,55	44,20	0,53	4,22	6,47	51,58
3	Svätoplukovo námestie (Staré mesto)	12,55	100	4,37	34,81	1,55	12,36	6,63	52,83
4	Svätourbanská (Zobor)	12,55	100	1,22	9,74	5,07	40,38	6,26	49,88
5	Detské dopravné ihrisko (Chrenová)	12,55	100	1,65	13,18	6,24	49,71	4,66	37,11
6	Novozámocká/R1 (Horné Krškany)	12,55	100	2,01	16,04	4,13	32,89	6,41	51,07

Notes: BA = built-up areas; PA = permeable areas; IA = impermeable areas

Figure 3: Built-up, permeable and impermeable areas at monitoring sites in the city of Nitra



Autor: Jamrichová, L. (2026)

Discussion and conclusion

The urban environment is a dynamic system characterized by constant change. Due to climate change, cities are under increased pressure and face growing adaptation challenges. The increase in urban temperatures caused by urbanization (Oke et al., 2017) has profound implications for public health (M'endez-L'azaro et al., 2018), energy consumption (Radhi et al., 2015), greenhouse gas emissions (O'Malley et al., 2015) and heat generated by human activities in cities (Rao et al., 2021). Urbanization leads to significant changes in land use/land cover (LU/LC) in urban areas, including the expansion of impervious surfaces, loss of vegetation and wetlands, etc. (Asabere et al., 2020; Wnek et al., 2021). These changes can significantly alter land surface temperatures (LST) in built-up areas (Li et al., 2016; Zhou et al., 2022).

The evaluation of air temperature measurements from six locations in the city of Nitra for the period from 1 November 2024 to 31 October 2025 shows significant spatial differences in the thermal regime of the urban environment. The temperature course shows the influence of urban structure, building density, vegetation covers and traffic load. In the local climatic zones of the city of Nitra, there were visible differences in temperatures when comparing the six locations. The results confirm the importance of greenery and urban design in regulating microclimatic conditions in the city. One of the effective tools for mitigating the impacts of climate change in the urban environment is vegetation.

Acknowledgement

The contribution was prepared within the framework of the project No. 09I01-03-V04-00092 INKLIPLAN funded by the EU NextGenerationEU through the Recovery and Resilience Plan of the Slovak Republic. Thanks also go to the City of Nitra for the data provided from the monitoring stations.

References

- AKBARI, H. – POMERANTZ, M. – TAHA, H. 2001. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. In *Solar Energy*. vol. 70, pp. 295-310. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X)
- ASABERE, S. B. – ACHEAMPONG, R. A. – ASHIAGBOR, G. – BECKERS, S. C. – KECK, M. – ERASMI, S. – SCHANZE, J. – SAUER, D. 2020. Urbanization, land use transformation and spatio-environmental impacts: Analyses of trends and implications in major metropolitan regions of Ghana. In *Land Use Policy*. vol. 96, article number 104707. DOI:

- <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104707>
- DE LA IGLESIA MARTINEZ, A. – LABIB, S. M. 2023. Demystifying normalized difference vegetation index (NDVI) for greenness exposure assessments and policy interventions in urban greening. In *Environmental Research*. vol. 220, article number 115155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115155>
- FOISSARD, X. – DUBREUIL, V. – QUÉNOL, H. 2019. Defining scales of the land use effect to map the urban heat island in a mid-size European city: Rennes (France). In *Urban Climate*. vol. 29, article number 100490. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100490>
- GORGANI, S. A. – PANAHI, M. – REZAIE, F. 2013. The Relationship between NDVI and LST in the urban area of Mashhad, Iran. In *International Conference on Civil Engineering Architecture & Urban Sustainable Development*, 27-28 November 2013, Tabriz, Iran.
- JABBAR, H. K. – HAMOODI, M. N. – AL-HAMEEDAWI, A. N. 2023. Urban heat islands: A review of contributing factors, effects and data. In *Proceedings of the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*; IOP Publishing: Bristol, UK, 2023; vol. 1129, article number 012038. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41370-022-00409-w>
- JIMENEZ, R. B. – LANE, K. J. – HUTYRA, L. R. – FABIAN, M. P. 2022. Spatial resolution of Normalized Difference Vegetation Index and greenness exposure misclassification in an urban cohort. In *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*. vol. 32, no. 2, pp. 213-222. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41370-022-00409-w>
- JU, Y. – DRONOVA, I. – MA, Q. – LIN, J. – MORAN, M. R. – GOUVEIA, N. – HU, H. – YIN, H. – SHANG, H. 2024. Assessing Normalized Difference Vegetation Index as a proxy of urban greenspace exposure. In *Urban Forestry & Urban Greening*. vol. 99, article number 128454, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128454>
- LI, Y. – YIN, K. – ZHOU, H. – WANG, X. – HU, D. 2016. Progress in urban heat island monitoring by remote sensing. In *Progress in Geography*. vol. 35, no. 9, pp. 1062-1074. DOI: <https://doi.org/10.18306/dlkxjz.2016.09.002>
- O'MALLEY, C. – PIROOZ FAR, P. – FARR, E. R. P. – POMPONI, F. 2015. Urban Heat Island (UHI) mitigating strategies: a case-based comparative analysis. In *Sustainable Cities and Society*. vol. 19, pp. 222-235. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.05.009>
- MANDJOUPA, L. K. – ROMAN, K. K. – AZAM, H. – DENIS, M. 2025. Analyzing Urban Microclimate (UMC) Parameters and Comprehensive Review of UHI and Air Quality Interconnections. In *Environments*. vol. 12, article number 104. DOI: <https://doi.org/10.3390/environments12040104>
- MARZBAN, F. – SODOUDI, S. – PREUSKER, R. 2018. The influence of land-cover type on the relationship between NDVI–LST and LST–Tair. In

- International Journal of Remote Sensing*. vol. 39, no. 5, pp. 1377-1398. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1402386>
- M'ENDEZ-L'AZARO, P. – MULLER-KARGER, F.E. – OTIS, D. – MCCARTHY, M.J. – RODRÍGUEZ, E. 2018. A heat vulnerability index to improve urban public health management in San Juan, Puerto Rico, *International Journal of Biometeorology*. 62 (2018) 709-722, <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1319-z>.
- OKE, T. R. – MILLS, G. – CHRISTEN, A. – VOOGT, J. A. 2017. Urban Heat Island. In *Urban Climates*, pp. 197-237. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- RADHI, H. – SHARPLES, S. – ASSEM, E. 2015. Impact of urban heat islands on the thermal comfort and cooling energy demand of artificial islands – a case study of AMWAJ Islands in Bahrain. In *Sustainable Cities and Society*. vol. 19, pp. 310-318. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.07.017>
- RAO, P. – GUPTA, K. – ROY, A. – BALAN, R. 2021. Spatio-temporal analysis of land surface temperature for identification of heat wave risk and vulnerability hotspots in IndoGangetic Plains of India. In *Theoretical and Applied Climatology*. vol. 146, no. 1–2, pp. 567-582. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03756-0>.
- STONE, B. JR. – RODGERS, M. O. 2001. Urban Form and Thermal Efficiency: How the Design of Cities Influences the Urban Heat Island Effect. In *Journal of the American Planning Association*. vol. 67, no. 2, pp. 186-198. DOI: <https://doi.org/10.1080/01944360108976228>
- YANG, J. – YANG, X. – SUN, D. – JIN, C. – XIAO, X. 2021. Influence of urban morphological characteristics on thermal environment. In *Sustainable Cities and Society*. vol. 72, article number 103045. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103045>
- WNEK, A. – KUDAS, D. – STYCH, P. 2021. National Level Land-Use Changes in Functional Urban Areas in Poland, Slovakia, and Czechia. In *Land*. vol. 10, article number 39. DOI: <https://doi.org/10.3390/land10010039>
- ZHOU, D. – XIAO, J. – FROLKING, S. – ZHANG, L. – ZHOU, G. 2022. Urbanization contributes little to global warming but substantially intensifies local and regional land surface warming. In *Earth's Future*. vol. 10, article number e2021EF002401. DOI: <https://doi.org/10.1029/2021EF002401>

Mgr. Zuzana Pucherová, PhD.

Department of Ecology and Environmental Science
Faculty of Natural Sciences and Informatics
Constantine the Philosopher University in Nitra
Tr. A. Hlinku 1, 949 01 Nitra, Slovak Republic
E-mail: zpucherova@ukf.sk

Mgr. Lucia Jamrichová

Department of Ecology and Environmental Science
Faculty of Natural Sciences and Informatics
Constantine the Philosopher University in Nitra
Tr. A. Hlinku 1, 949 01 Nitra, Slovak Republic
E-mail: lucia.jamrichova@ukf.sk

Ing. Regína Mišovičová, PhD.

Department of Ecology and Environmental Science
Faculty of Natural Sciences and Informatics
Constantine the Philosopher University in Nitra
Tr. A. Hlinku 1, 949 01 Nitra, Slovak Republic
E-mail: rmisovicova@ukf.sk

JUŽNOSLOVANSKÁ VINOHRADNÍCKA OBLASŤ – VÝSLEDKY TERÉNNÉHO VÝSKUMU V OBLASTI VINOHRADNÍCTVA, VINÁRSTVA A VINÁRSKEHO TURIZMU

Jana Némethová, Filip Gábris

Abstract

The South Slovakia Wine-Growing Region is one of Slovakia's major wine-growing regions, characterized by favorable natural conditions for growing grapes and a rich winemaking tradition. The aim of this study was to analyze the South Slovakia wine-growing region through field research in the context of viticulture, winemaking, and wine tourism. The results of the questionnaire survey highlighted the diverse structure of wine-producing entities in terms of vineyard area and year of establishment. Wine sales by wineries are primarily directed at private customers and businesses, with a significant portion of production sold in wine shops or directly at the winery. Wineries consider wine tourism an important tool for promoting their wines and building brand awareness. The most common activities include wine tastings, participation in wine festivals, and promoting wineries through social media. The research also identified several barriers to the development of wine tourism, particularly the region's inadequate infrastructure and lack of government support, as well as weak cooperation among wineries and insufficient marketing support. Respondents also expressed interest in more intensive cooperation within wine routes and winemakers' associations, which could help increase the region's appeal and support the further development of wine tourism.

Keywords: South Slovak Wine-Growing Region, viticulture, winemaking, wine tourism, field research

Úvod

Vinohradníctvo a vinárstvo patria medzi tradičné odvetvia poľnohospodárstva, ktoré významne ovplyvňujú hospodársky, kultúrny a krajinný charakter mnohých regiónov. Okrem svojej produkčnej funkcie zohrávajú dôležitú úlohu aj pri zachovávaní kultúrneho dedičstva, regionálnej identity a rozvoji cestovného ruchu. V posledných desaťročiach sa čoraz väčšej pozornosti teší vinársky turizmus, ktorý predstavuje významnú formu špeciálneho cestovného ruchu založenú na spoznávaní vinohradníckych oblastí, vinárskych tradícií a lokálnych vín a iných produktov. Slovensko disponuje priaznivými prírodnými podmienkami pre pestovanie viniča a produkciu vína, pričom jednotlivé

vinohradnícke oblasti sa vyznačujú špecifickými prírodnými, historickými a socioekonomickými charakteristikami. Na území Slovenskej republiky sa v rámci Slovenského vinohradníckeho regiónu nachádza 6 vinohradníckych oblastí: Južnoslovenská, Malokarpatská, Nitrianska, Stredoslovenská, Východoslovenská vinohradnícka oblasť a vinohradnícka oblasť Tokaj. Všetky vinohradnícke oblasti okrem vinohradníckej oblasti Tokaj sa ďalej členia na vinohradnícke rajóny, ktorých je na Slovensku 40. Južnoslovenská vinohradnícka oblasť s počtom 8 vinohradníckych rajónov je tretou v poradí, po Malokarpatskej a Nitrianskej vinohradníckej oblasti. Podľa počtu vinohradníckych obcí, ktoré patria do vinohradníckych oblastí, je Južnoslovenská vinohradnícka oblasť štvrtou najpočetnejšou so 132 vinohradníckymi obcami. Celkový počet vinohradníckych obcí na Slovensku je podľa vinohradníckeho členenia od 1. 8. 2023 714 obcí (ÚKSÚP, 2026a). Južnoslovenská vinohradnícka oblasť patrí medzi významné vinohradnícke oblasti Slovenska, je známa vhodnými prírodnými, najmä klimatickými podmienkami, rozvinutou vinohradníckou a vinárskou tradíciou a rastúcim potenciálom pre rozvoj vinárskeho turizmu.

Cieľom príspevku bolo prostredníctvom terénneho výskumu analyzovať Južnoslovenskú vinohradnícku oblasť v kontexte vinohradníctva, vinárstva a vinárskeho turizmu.

Teoreticko-metodické východiská

Vinohradníctvo a vinárstvo na Slovensku komplexne legislatívne rieši Zákon č. 313/2009 Z. z. o vinohradníctve a vinárstve z 30. júna 2009. Vydanie zákona bolo potrebné vzhľadom na novú európsku legislatívu a nové podmienky a postupy vo vinohradníctve a vinárstve, ktoré vytvorili nové prostredie po vstupe Slovenska do Európskej únie (EÚ), pričom pôvodný zákon bol nedostačujúci. Zákon ustanovuje napr. podmienky pestovania viniča na registrovaných plochách, podmienky výroby vinárskych produktov a ich uvádzania na trh, podmienky fyzických a právnických osôb, ktoré vinič pestujú alebo výkon kontroly nad vinohradníctvom a vinárstvom a vedenie vinohradníckej a vinárskej evidencie (Zákon č. 313/2009 Z. z.). Vedenie vinohradníckej a vinárskej evidencie, tzv. vinohradníckeho registra, určuje európska legislatíva, pričom každý členský štát EÚ, na území ktorého sa pestuje vinič, je povinný viesť vinohradnícky register. Skladá sa z registra pestovateľov a ich vinohradníckych plôch a registra o výrobe. Na Slovensku vedie vinohradnícky register Ústredný kontrolný a skúšobný ústav poľnohospodársky (ÚKSÚP) – Odbor vinohradníctva a vinárstva. Zákon č. 313/2009 Z. z. vymedzuje vinohradnícku regionalizáciu na 5 úrovni (ÚKSÚP, 2026a):

- **Slovenský vinohradnícky región** – je časť územia Slovenskej republiky, ktorá je vysadená viničom,

- **vinohradnícka oblasť** – je časť Slovenského vinohradníckeho regiónu, ktorá sa vyznačuje relatívne homogénnymi prírodnými podmienkami, ovplyvňujúcimi charakter a kvalitu vína. V súčasnosti sa Slovenský vinohradnícky región člení na 6 vinohradníckych oblastí,
- **vinohradnícky rajón** – je časť vinohradníckej oblasti, ktorá sa vyznačuje vyšším stupňom homogénosti ovplyvňujúcim kvalitu a charakter vína. V súčasnosti je súčasťou 6 vinohradníckych oblastí 40 vinohradníckych rajónov,
- **vinohradnícka obec** – je obec vo vinohradníckom rajóne, na ktorej území sa nachádzajú vinohradnícke plochy. Na Slovensku ich je v súčasnosti 714,
- **vinohradnícky hon** – je ucelená časť vinohradníckej plochy, ktorá sa vyznačuje vysokou mierou homogénosti prírodných podmienok ovplyvňujúcich charakter a kvalitu vína.

Všetky tieto vymedzenia nám predurčujú miesta nielen s výskytom vinohradníctva a vinárstva ale samozrejme aj miesta vzniku a rozvoja vinárskeho turizmu. Vinohradníctvo a vinárstvo sú typickou súčasťou kultúrnej krajiny, pričom ich utilitárna funkcia je stále najdôležitejšia. Zároveň sú dôležitým prvkom kultúrneho dedičstva vidieckych oblastí. Okrem toho zohrávajú významnú úlohu sociálno-kultúrneho charakteru (Jezierska-Thöle et al., 2025). Produkcia hrozna na výrobu vína postupne na Slovensku klesá a je to najmä v dôsledku poklesu pestovateľských plôch viníc, pričom podiel vína, ktoré je vyrobené z domácej suroviny, sa znižuje a predstavuje zhruba 50 %. Z toho nám jasne vyplýva, že vinársky priemysel Slovenska nie je vo výrobe muštového hrozna ako vstupnej suroviny sebestačný (Rogovská, 2018). Napriek tejto skutočnosti získavajú slovenské vína, po roku 1989, ocenenia a prestíž v medzinárodnej konkurencii, keďže otvorenie sa svetu umožnilo mladšej a modernej generácii vinárov získať množstvo nových poznatkov, techník a výrobných postupov v zahraničí. Vzhľadom na charakter vinohradníctva v podmienkach Slovenska sa preto vinári čoraz viac orientujú na produkciu zameranú na kvalitu namiesto kvantity. To si vyžaduje okrem moderných technologických postupov, najnovších vedomostí, marketingových aktivít aj zvládnutie techník precízneho poľnohospodárstva, čo v tomto prípade znamená presná a aktuálna databáza vinohradníckych plôch a samozrejme aj aktuálne informácie o terroire, ktorý predstavuje súhrn prírodných a ľudských faktorov, ktoré dávajú vínu jeho jedinečný charakter (Karlík a kol., 2017).

Vinársky turizmus je v súčasnosti považovaný za významný nástroj regionálneho rozvoja, ktorý podporuje tvorbu pracovných miest, zvyšuje atraktivitu vidieckych oblastí a prispieva k zachovaniu miestnych tradícií a identity. Jeho rozvoj je podmienený kvalitou vinárskej produkcie, existenciou vhodnej turistickej infraštruktúry, marketingom destinácie a spoluprácou

jednotlivých aktérov v území (Némethová, Cíván, 2018). Vinársky turizmus predstavuje špecifickú formu cestovného ruchu založenú na návšteve vinohradníckych oblastí jej viníc, vinárstiev, vínnych pivníc a súvisiacich podujatí s cieľom spoznávania vinohradníckej krajiny, výroby vína, regionálnej kultúry a degustácie vín. Hall et al. (2000) vinársky turizmus definujú ako návštevu viníc, vinárstiev, vínnych festivalov a vinárskych výstav, pri ktorých sú ochutnávka hroznového vína a spoznávanie atribútov hroznového vína hlavnými motivačnými faktormi návštevníkov. Bruwer (2003) uvádza, že vinársky turizmus je formou cestovného ruchu so špeciálnym zameraním. Ide o segment zážitkového a gastronomického cestovného ruchu, ktorý prepája poľnohospodársku produkciu, kultúrne dedičstvo a turistické aktivity, pričom významne prispieva k diverzifikácii vidieckej ekonomiky. Hunter (2017) vinársky turizmus chápe ako návštevu vinogradov, vinárstiev, vinárskych festivalov a vinárskych výstav za účelom rekreácie. Táto definícia zdôrazňuje, že aktivita je určená na rekreačné účely. Matlovičová a kol. (2015) vínný turizmus (enoturizmus) radia medzi najstaršie a zároveň najrozšírenejšie subvarianty kulinárskeho turizmu. Tvrdia, že turistické návštevy vinogradov majú v Európe dlhú tradíciu, pričom súčasťou organizovaného turizmu sú prakticky už od čias Grand Tours, ale ich prvopočiatky siahajú pravdepodobne ešte hlbšie do histórie a to do obdobia antického Grécka a Ríma avšak návšteva vinohradníckych oblastí za účelom degustovania ušľachtilých odrôd vína sa datuje až od polovice 19. storočia. Podľa Jezierskej-Thöle et al. (2025) vinárska turistika je známa aj ako enoturistika (z gréckeho oinos – víno), je od začiatku 21. storočia dôležitým a rýchlo rastúcim odvetvím cestovného ruchu. Má osobitný význam vo vidieckych oblastiach, okrajovo umiestnených vo vzťahu k veľkým mestským centráм a charakterizovaných nízkou úrovňou sociálno-ekonomického rozvoja. Výroba vína a súvisiaca vinárska turistika môžu prispieť k vytváraniu nových pracovných miest, znižovaniu odlivu mladých ľudí a zvyšovaniu príjmov vidieckeho obyvateľstva. Podľa autorov Trigo, Silva (2022) vinárska turistika je zážitková turistická aktivita, ktorá spája víno, jedlo, kultúru a zážitok z vína a spôsobu jeho výroby, a má obrovský potenciál pre vinárske oblasti.

Významná časť dát, ktoré sme v príspevku spracovali a analyzovali pochádzala z databáz Ústredný kontrolný a skúšobný ústav poľnohospodársky (ÚKSÚP) a Štatistický úrad Slovenskej republiky (ŠÚ SR). Kľúčovú výskumnú metódu predstavoval terénny výskum, ktorý umožnil získanie údajov priamo v skúmanom území. Kartografické výstupy boli spracované v softvérovom prostredí ArcGIS 10.2. Pri interpretácii skúmanej problematiky a syntéze poznatkov z odbornej literatúry bola aplikovaná metóda vysvetľujúceho opisu. Získané údaje boli následne spracované pomocou štatistických metód, pričom výsledky boli prezentované prostredníctvom grafických výstupov. Na systematizáciu a logické usporiadanie získaných poznatkov bola využitá systémová metóda.

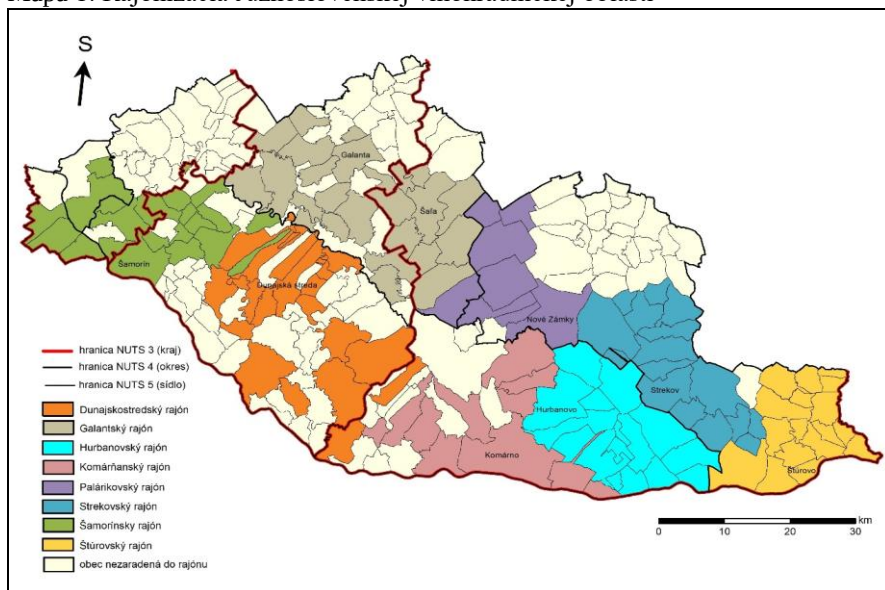
Charakteristika vinohradníckej oblasti

Vinohradnícke obce z regiónu južného Slovenska sa tiahnu od hraníc s Maďarskom – z miest v okolí Štúrova, kde sa vlievajú rieky Hron a Ipel' do Dunaja a pokračujú ďalej cez úrodné vinohradnícke pahorkatiny s južne orientovanými vinohradmi v okolí Mužle, Belej, Gbeliec, Svodína, ďalej cez Novú Viesku, Strekov, Rúbaň, Dvory nad Žitavou až po Nové Zámky a okolie a druhým smerom na Búč, Bátorove Kosihy, Modrany, Svätý Peter, Hurbanovo až po Komárno. Zaujímavé vinohradnícke obce sa nachádzajú aj v oblasti Žitného ostrova – Šamorín, Dunajská Streda a okolie. V roku 2024 bola výmera zaregistrovaných vinohradov v tejto oblasti 3 870 ha, čo ju rozlohou vinohradov zaraďuje na druhé miesto po Malokarpatskej vinohradníckej oblasti s výmerou vinohradov 3 878 ha (ÚKSÚP, 2026a).

Jedinečnosť tejto vinohradníckej oblasti spočíva v dostatku tepla a maxima slnečného svitu, ktoré ju predurčujú na dopestovanie hrozna s najvyššou cukrnatosťou a na výrobu vín výnimočnej kvality. Je najteplejšou oblasťou na Slovensku so suchým podnebím a miernymi zimami. Rozprestiera sa v najteplejších lokalitách Podunajskej nížiny s mierne zvlneným terénom a na úpätí nízkych pahorkatín. Južnoslovenská vinohradnícka oblasť sa rozdeľuje na základe vhodnosti prírodných podmienok pre pestovanie viniča na dve odlišné podoblasti – západnú a východnú (Lipka a kol., 2006). Západná časť, hlavne v okolí mesta Dunajská Streda, sa rozprestiera na fluvialných sedimentoch Dunaja a poskytuje podmienky predovšetkým vhodné na produkciu vín nižšej kvality. Do tejto západnej časti patria tri rajóny – Dunajskostredský, Šamorínsky a Galantský (mapa 1). Východná časť, hlavne severne, severozápadne a severovýchodne od mesta Štúrovo poskytuje vhodné podmienky na dopestovanie odrôd náročných na teplo a slnečný svit. Vinice sú vysadené na kvalitných sprašových pahorkatinách Podunajskej nížiny. Táto časť je tvorená piatimi vinohradníckymi rajónmi – Palárikovským, Komárňanským, Hurbanovským, Strekovským a Štúrovským (vino.sk, 2026).

V sortimente odrôd prevládajú odrody najmä Rizling vlašský a Rizling rýnsky, ďalej pre hlboké pôdy sú typické Silvánske zelené a Tramín červený, z modrých odrôd Frankovka modrá. Pestovanie nových slovenských odrôd viniča hroznorodého, ako aj ďalších novošachtencov, je typické najmä pre Strekovský a Štúrovský rajón, kde sa nachádzajú nielen vo väčších výsadbách, ale i v menších prídomových viniciach. Známe odrody sú Devín, Dunaj, Breslava, Aromína, Hetera, Nitra, Váh, Hron a mnohé ďalšie. Južnoslovenský vinohradnícky rajón má ešte jedno špecifikum a tým sú stolové odrody, ktorým sa tu dobre darí (Lipka a kol., 2006).

Mapa 1: Rajonizácia Južnoslovenskej vinohradníckej oblasti



Zdroj: ÚKSÚP, 2023a, spracované v ArcGIS 10.2

Vinohradnícke a vinárske spolky a organizácie pôsobiace vo vinohradníckej oblasti

V Južnoslovenskej vinohradníckej oblasti pôsobia štyri organizácie, resp. spolky tohto charakteru: Občianske združenie SZEGAB (obr. 1) bolo založené súkromnými osobami v roku 2003 v Bátorových Kosihách. Cieľmi občianskeho združenia je zachovať miestne tradície pestovania hrozna a výroby vína; organizovať súťaže a prednášky; podporiť vinársky turizmus v tomto regióne (batorovekosihy.sk, 2026). Spolok vinohradníkov a vinárov Strekov (obr. 2) je to miestny vinohradnícky a vinársky spolok (záujmové združenie), ktorého členmi je 22 vinárstiev. Usporiadávajú najmä podujatie *Strekovské otvorené pivnice* a rôzne menšie podujatia, na ktorých sa spolupodieľajú vinárstva z obce Strekov. Zameriavajú sa na združovanie miestnych vinárov, výmenu skúseností a poznatkov o pestovaní hrozna a výrobe vín a ide im predovšetkým o reprezentáciu vinárskeho regiónu (viavinum.strekov.sk, 2026). Spolok vinárov svätého Urbana vo Svätom Petre (obr. 3) je združenie pestovateľov viniča a výrobcov vín. Sanctus Urbanus je komunita, kde sa stretávajú vinohradníci a milovníci vína, aby spoločne udržiavali tradície vinárstva vo Svätom Petre. Hlavnou úlohou združenia je ďalší rozvoj pestovania hrozna a vinárstva na úrovni súčasných odborných poznatkov

(vinarisvatypeter.sk, 2026). Ďalšou organizáciou je občianske združenie Údolie 3 riek - 3 folyó völgye (obr. 4). Je to región, ktorý sa nachádza medzi riekami Dunaj, Hron a Ipel', ktorý je významný už od stredoveku najmä svojou mikroklimou ovplyvnenou blízkosťou troch riek a vulkanickým podložím (vilagiwinery.sk, 2026).

Obr. 1: Logo Občianskeho združenia SZEGAB



Zdroj: facebook.com, 2026a

Obr. 2: Logo Spolku vinohradníkov a vinárov Strekov a vinárov Strekov



Zdroj: facebook.com, 2026b

Obr. 3: Logo Spolku vinárov svätého Urbana vo Svätom Petre



Zdroj: vinarisvatypeter.sk

Obr. 4: Logo združenia Údolie troch riek



Zdroj: facebook.com, 2026c

Podujatia vinárskeho turizmu organizované vo vinohradníckej oblasti

Najznámejšie podujatia vinárskeho turizmu, ktoré sa každoročne organizujú v Južnoslovanskej vinohradníckej oblasti sú napr. podujatie *Nevinne o víne*

v Nových Zámkoch je to degustácia vín, ktorá sa konala 28. 3. 2026, bola organizovaná občianskym združením Nevinne o víne; *Dni vína Bátorove Kosihy* je verejná degustácia vín v obci Bátorove Kosihy, ktoré 11. 4. 2026 organizovalo občianske združenie Szegab; veľkým podujatím bol *Festival vín vo vinohradoch* v Bátorových Kosihách, ktorý sa konal 8. – 9. 5. 2026, ide už o 18. ročník tohto vinárskeho podujatia, organizuje ho občianske združenie Szegab; *Vínne korzo* vo Svätom Petre je verejná ochutnávka vín, ktorá sa konala vo Svätom Petre 23. 5. 2026 a organizuje ju Spolok vinárov svätého Urbana vo Svätom Petre; *Strekovské otvorené pivnice* (obr. 5) je podujatie, ktoré sa koná vo vinohradoch v obci Strekov je naplánované na 18. 7. 2026, organizátorom tohto podujatia je Spolok vinohradníkov a vinárov – Strekov; *Festival Pomlé* (obr. 6) uzavrie letné prázdniny v termíne 28. – 29. 8. 2026 v meste Šamorín, ktoré je aj organizátorom tohto podujatia (vinari.sk, 2026).

Obr. 5: Plagát podujatia Strekovské otvorené pivnice v roku 2026



Zdroj: strekov.sk, 2026

Obr. 6: Plagát Festivalu Pomlé v roku 2025



Zdroj: kdecosk, 2026

Výsledky terénneho výskumu

Metodika výskumu

Súčasťou terénneho výskumu bol dotazníkový výskum zameraný na vinárske subjekty, s cieľom získať, čo najviac poznatkov o sledovanej vinohradníckej oblasti. Celkový počet výrobcov vinárskych produktov v Južnoslovenskej vinohradníckej oblasti bol k 9. 3. 2026 spolu 151 subjektov (ÚKSÚP, 2026b). Dotazníkový výskum bol realizovaný v období od 20. 1. 2026 do 17. 3. 2026. Pomocou evidencie vinohradníckeho registra vedeným a spracovaným Ústredným kontrolným a skúšobným ústavom poľnohospodárskym sme oslovili vinohradníkov a vinárov tejto vinohradníckej oblasti. Osobne a písomne sme oslovili 40 vinohradníkov a vinárov z Južnoslovenskej vinohradníckej oblasti. Informácie sme získali od 24 vinárskych subjektov, čo predstavuje návratnosť 60 %. Dotazník sme vytvorili v dvoch jazykových

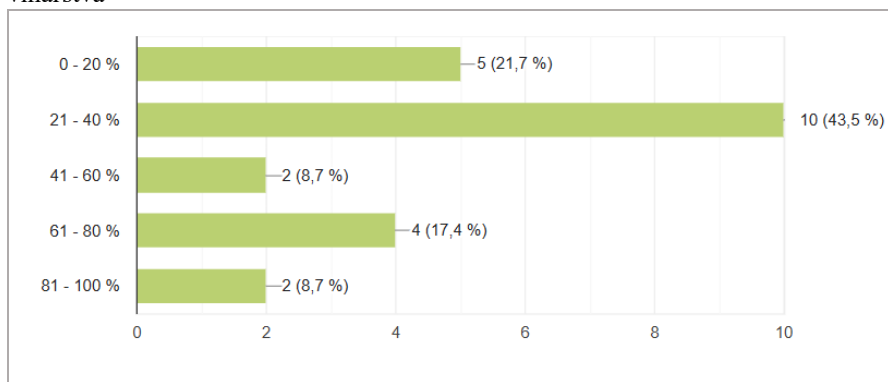
variantoch, okrem slovenskej verzie sme si pripravili aj maďarskú verziu, nakoľko veľká časť vinárov z tejto oblasti komunikuje viac maďarsky. Z 24 dotazníkov sme mali až 11 vyplnených práve v maďarskom jazyku. Zo subjektov, ktoré nám odpovedali na dotazník bolo 14 spoločností s ručením obmedzeným, 2 družstvá, 6 fyzických osôb a 2 akciové spoločnosti. Tri vinárske subjekty boli z Galantského vinohradníckeho rajónu, 6 vinárskych subjektov z Hurbanovského rajónu, 1 vinársky subjekt bol z Komárňanského rajónu, 2 vinárske subjekty patrili do Palárikovského rajónu, 8 vinárskych subjektov bolo zo Strekovského rajónu a 4 vinárske subjekty boli zo Štúrovského vinohradníckeho rajónu.

Spracovanie výsledkov dotazníkového výskumu

Dotazníkový výskum bol zameraný na 23 otázok, pričom forma odpovedí bola rôzna. Dotazník obsahoval otvorené aj uzavreté otázky s vopred definovanými možnosťami odpovedí. V otázke 1 bolo treba uviesť názov a sídlo vinárskeho subjektu. Nakoľko nie všetky subjekty uviedli adresu sídla museli sme si ju vyhľadať v databáze registrovaných vinárskych subjektov z Ústredného kontrolného a skúšobného ústavu poľnohospodárskeho, ktorý spracúva databázu vinárskych subjektov Slovenska. Otázka 2 bola zameraná na rok vzniku vinárskeho subjektu. Stretli sme sa tu s veľkým časovým rozptylom vzniku jednotlivých vinárskych subjektov, najstarší podnik uviedol ako rok vzniku rok 1958 a najnovší vznik podniku sa datuje do roku 2022, pričom najvyšší počet novovzniknutých podnikov bol v roku 2010. V otázke 3 mali vinárske subjekty označiť správny interval výmery viníc, ktorú obhospodarovali k roku 2025. Najčastejšie označovaným intervalom bolo 6 – 10 ha, pričom tento interval označilo 9 vinárskych subjektov. Vo vinohradníckej oblasti pôsobia aj dva vinárske subjekty, ktoré obhospodarujú viac ako 51 ha, čo bol najvyšší nami poskytnutý interval. Na opačnej strane 4 vinárske subjekty uviedli, že neobhospodarujú žiadne vinice. Otázka 4 sa týkala predaja vín, ktoré vinárstva vyrábajú, resp. akým spôsobom prebieha tento predaj, mali možnosť voľby viacerých odpovedí. Najviac zastúpenou bola odpoveď, že predaj prebieha najmä privátnym klientom a firmám, uvedenú možnosť si vybralo 15 vinárskych subjektov. Druhá najčastejšia odpoveď bola, že predaj uskutočňujú vo vinotékach a túto odpoveď zvolilo 13 vinárskych subjektov. Jedenásť subjektov označilo možnosť predaj vín v reštauráciách. Najmenej vinárskych subjektov uviedlo predaj do veľkoobchodov pričom túto možnosť označili 4 vinárske subjekty. Niektoré subjekty uvádzali aj predaj vín vo vlastných predajniach. V otázke 5 sme sa pýtali aká časť produkcie je predávaná priamo v mieste sídla vinárstva (graf 1). Respondentom boli poskytnuté percentuálne intervaly na vyjadrenie odpovede, pričom najčastejšie bol zvolený interval 21 – 40 %, ktorý označilo 10 vinárskych subjektov. Najmenej po dve odpovede majú intervaly 41 – 60 % a 81 – 100 %. Otázka 6 bola zameraná na

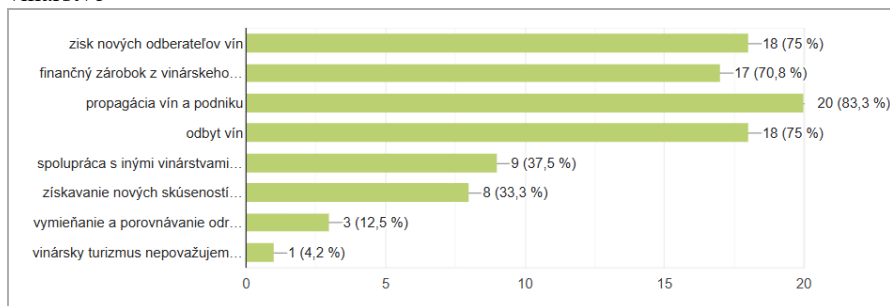
vnímanie dôležitosti vinárskeho turizmu pre ich podnik (graf 2). Bola to otázka, kde sa dalo označiť viacero odpovedí, čo respondenti aj využili. Najviac označovaná bola možnosť, že vinársky turizmus je dôležitý najmä pre propagáciu vín a podniku, túto možnosť označilo až 20 vinárskych subjektov. Osemnásť vinárskych subjektov označilo možnosti, že vinársky turizmus je dôležitý pre zisk nových odberateľov vín a pre odbyt vín. Dôležitý je aj finančný zárobok z vinárskeho podujatia a to pre 17 vinárskych subjektov. Naopak jeden subjekt uviedol, že vinársky turizmus nepovažujú za dôležitý.

Graf 1: Odpovede vinárskych subjektov – percentuálny predaj vín priamo v mieste vinárstva



Zdroj: dotazníkový výskum, 2026

Graf 2: Odpovede vinárskych subjektov – dôležitosť vinárskeho turizmu pre vinárstvo

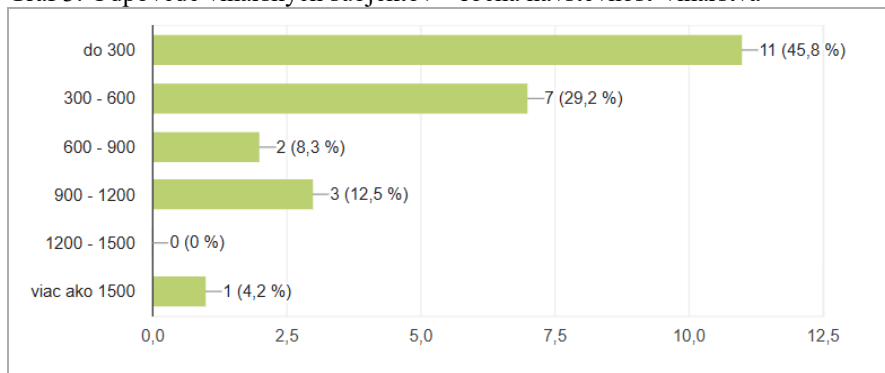


Zdroj: dotazníkový výskum, 2026

Vinárske subjekty mali v otázke 7 uviesť či je podnik súčasťou vinohradníckeho alebo vinárskeho združenia, spolku, cechu a pod. Medzi najčastejšie uvádzané vinárske združenia patrili Cech vinohradníkov a vinárov

Slovenska, Občianske združenie maďarských vinárov na Slovensku a Zväz vinohradníkov a vinárov Slovenska. Na túto otázku nadväzovala otázka 8, prostredníctvom ktorej sme zisťovali, či je vinársky subjekt zapojený do niektorej z vínnych ciest. V prípade kladnej odpovede boli respondenti požiadaní o uvedenie presného názvu príslušnej vínnej cesty. Väčšina vinárskych subjektov uviedla, že nie sú súčasťou žiadnej vínnej cesty. Ale napriek tomu niekoľko vínnych ciest sa tu nachádza, konkrétne respondenti uvádzali Vínnu cestu Mužla, Podunajskú vínnu cestu a Svätopeterskú vínnu cestu. Ide o vínné cesty, lokálneho charakteru, ktoré organizujú vybrané vinárstva regiónu. V otázke 9 označovali vinárske subjekty, ktoré podujatia organizujú v rámci vinárskeho turizmu. V tejto otázke mali možnosť voľby viacerých odpovedí a taktiež bola možnosť uviesť aj iné podujatie, ktoré nebolo v dotazníku uvedené. Až 21 subjektov uviedlo, že organizujú degustácie vín a dni otvorených dverí, resp. pivníc organizuje 11 vinárskych subjektov. Veľmi obľúbeným podujatím je aj usporiadanie letného pikniku vo vinohradoch, ktoré organizuje až 8 vinárskych subjektov. Otázka 10 sa týkala počtu návštevníkov, ktoré vinárstva počas roka privítajú (graf 3). Opäť boli na výber nami zostavené intervaly návštevnosti vinárstiev. Pričom až 11 vinárstiev uviedlo, že celkový počet návštevníkov za rok je do 300 ľudí. A len jeden vinársky subjekt navštívi za rok viac ako 1 500 návštevníkov.

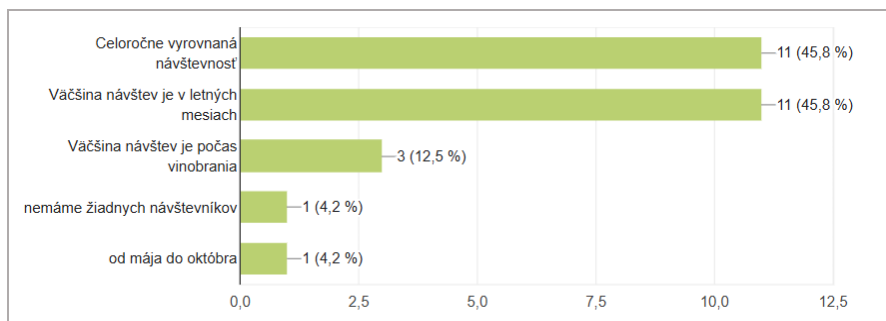
Graf 3: Odpovede vinárskych subjektov – ročná návštevnosť vinárstva



Zdroj: dotazníkový výskum, 2026

Otázka 11 nadväzovala na predchádzajúcu a pýtali sme sa aká je sezónnosť návštevníkov vo vinárstvach (graf 4). Jedenásť vinárskych subjektov odpovedalo, že väčšina návštevníkov prichádza najmä v letných mesiacoch a ten istý počet vinárskych subjektov označilo možnosť – celoročne vyrovnaná návštevnosť.

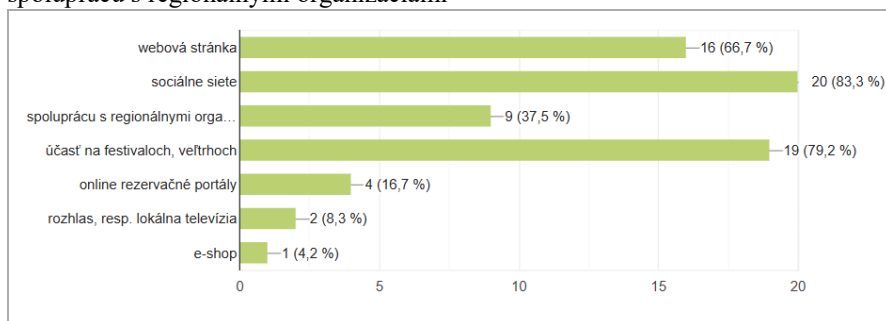
Graf 4: Odpovede vinárskych subjektov – sezónnosť návštevníkov



Zdroj: dotazníkový výskum, 2026

Otázka 12 bola zameraná na marketingové nástroje využívané na spoluprácu vinárstva s regionálnymi organizáciami (graf 5). Respondenti mali možnosť označiť viacero odpovedí. Najčastejšie využívaným nástrojom propagácie boli sociálne siete, pričom túto možnosť uviedlo 20 vinárskych subjektov. Druhou najfrekvencovanejšou formou propagácie bola účasť na festivaloch a veľtrhoch, ktorú označilo 19 vinárskych subjektov.

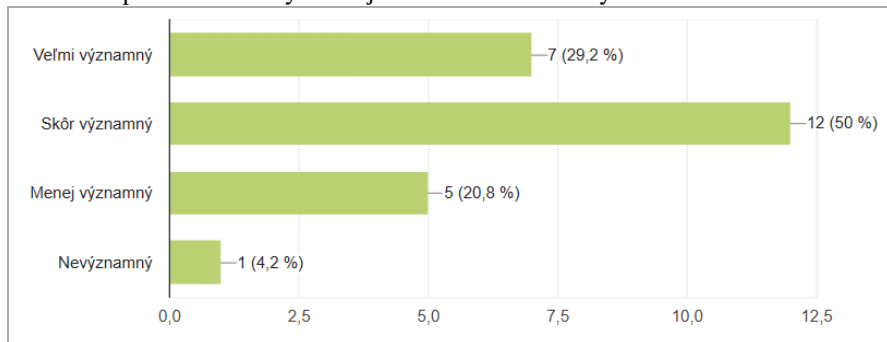
Graf 5: Odpovede vinárskych subjektov – využívané marketingové nástroje na spoluprácu s regionálnymi organizáciami



Zdroj: dotazníkový výskum, 2026

V otázke 13 mali vinárske subjekty označiť ako hodnotia význam vinárskeho turizmu pre ich podnikanie (graf 6). Na výber boli 4 možnosti a najviac zvolenou bola, že je skôr významný v celkovom počte 12 vinárskych subjektov. Jeden subjekt označil, že je vinársky turizmus pre ich podnikanie nevýznamný.

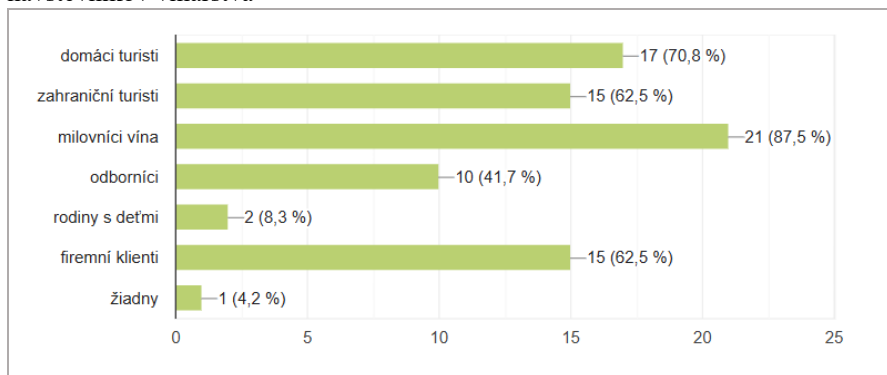
Graf 6: Odpovede vinárskych subjektov – hodnotenie významu vinárskeho turizmu



Zdroj: dotazníkový výskum, 2026

V čom jednotlivé vinárske subjekty vidia hlavné prínosy vinárskeho turizmu pre ich podnikanie sme skúmali v otázke 14. Ponúkli sme na výber štyri možnosti a taktiež aj možnosť uvedenia vlastných prínosov. Znova výber nebol obmedzený iba na jednu odpoveď, respondenti mali možnosť výberu viacerých možností. Najviac bol označovaný prínos propagácie značky vinárstva, ktorú označilo 21 vinárskych subjektov. Devätnásť vinárskych subjektov označilo rozvoj regiónu, osemnásť vinárskych subjektov označilo udržiavanie kontaktu so zákazníkmi a 14 vinárskych subjektov vníma prínos vinárskeho turizmu aj vo zvýšení predaja vín. Aké prekážky rozvoja vinárskeho turizmu vnímajú vinárske subjekty v ich regióne sme sa pýtali v otázke 15. Opäť ako v predošlom prípade sme ponúkli nami vytvorené prekážky a dali možnosť tvorby aj vlastných prekážok a možnosť počtu výberu odpovedí nebol ohrozený. Najčastejšie vnímanou prekážkou je nedostatočná infraštruktúra regiónu, pričom túto možnosť označilo 18 vinárskych subjektov. Nedostatočnú podporu zo strany štátu ako prekážku rozvoja vinárskeho turizmu označilo 17 vinárskych subjektov. Ako menej významné z ponúkaných prekážok vnímali subjekty administratívne prekážky, pričom túto možnosť si zvolilo 8 vinárskych subjektov. V otázke 16 nás zaujímalo aké cieľové skupiny návštevníkov do vinárstiev prichádzajú najčastejšie. V grafe 7 môžeme pozorovať všetky ponúknuté cieľové skupiny a najviac odpovedí dostala skupina milovníkov vína a až 21 vinárskych subjektov uviedlo práve túto možnosť. Opäť to bola otázka, kde mali možnosť výberu viacerých odpovedí. V otázke 17 označovali vinárske subjekty podujatia, ktorých sa ich vinárstvo zúčastňuje v rámci vinárskeho turizmu. Vinárske subjekty mohli označiť viacero podujatí, ktorých sa zúčastňujú prípadne mali možnosť aj uviesť vlastné podujatia, ktoré sme neuviedli. Vínnych festivalov sa zúčastňuje 21 vinárskych subjektov, degustácií vín sa zúčastňuje 20 subjektov a veľmi častým podujatím, ktoré vinárske subjekty označovali bolo ešte dni otvorených pivníc, resp. dverí, konkrétne 16 vinárskych subjektov označilo aj toto podujatie.

Graf 7: Odpovede vinárskych subjektov – najčastejšie cieľové skupiny návštevníkov vinárstva

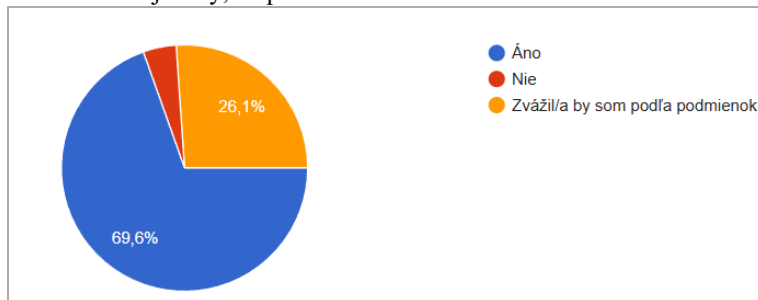


Zdroj: dotazníkový výskum, 2026

Slovné odpovede sme očakávali v otázke 18, v ktorej sme požadovali od vinárskych subjektov, aby uviedli plány vinárstva do budúcnosti. Veľmi častou bola odpoveď, že sa budú snažiť hľadať nových odberateľov vín, taktiež majú v pláne organizovať nové podujatia spojené s vinárskym turizmom, ďalej organizovať degustácie vín. Niekoľko vinárskych subjektov uviedlo, že by chceli rozšíriť výmeru viníc, prípadne aj založiť nové vinice. V zámeroch do budúcnosti je aj propagácia vinárstva v zahraničí, čím by sa zvýšil aj počet nových odberateľov zo zaujímavých krajín. Naopak v otázke 19 nás zaujímalo, aby sa vinárske subjekty vrátili pohľadom späť do minulosti a uviedli nám aké plány sa im podarilo zrealizovať za posledné dva roky. Viacerým subjektom sa podarilo zvýšiť povedomie o vinárstve pomocou sociálnych sietí alebo zorganizovať nové podujatia, ktoré pomohli vinárskemu turizmu v ich vinárstve. Niektoré vinárstva dokonca uviedli, že sa im podarilo rozšíriť plochu obhospodarovaných viníc. Čo by pomohlo rozvoju vinárskeho turizmu v regióne sme sa pýtali vinárskych subjektov v otázke 20. Odpovede boli rôzne, nakoľko sme vinárstvám dali priestor na vyjadrenie vlastných názorov bez poskytnutia nami vytvorených odpovedí. Objavovali sa odpovede ako lepší marketing, štátna podpora, zlepšenie a vybudovanie infraštruktúry, väčšia komunikácia medzi vinármi, zvýšený záujem zo strany štátu, úprava finančných príspevkov a dotácií, resp. lepšie ich prerozdeľovať, v neposlednom rade by privítali aj vytvorenie vínnej cesty, prípadne cyklotrasy, ktorá by poprepájala jednotlivé vinárstva tohto regiónu.

Pri odpovediach s jednou možnosťou odpovede nás zaujímalo v otázke 21, či by jednotlivé vinárske subjekty mali záujem o spoluprácu v rámci vínnej cesty, resp. združenia vinárov. Väčšina opýtaných by tento záujem mala (16 vinárstiev; 69,6 %) (graf 8).

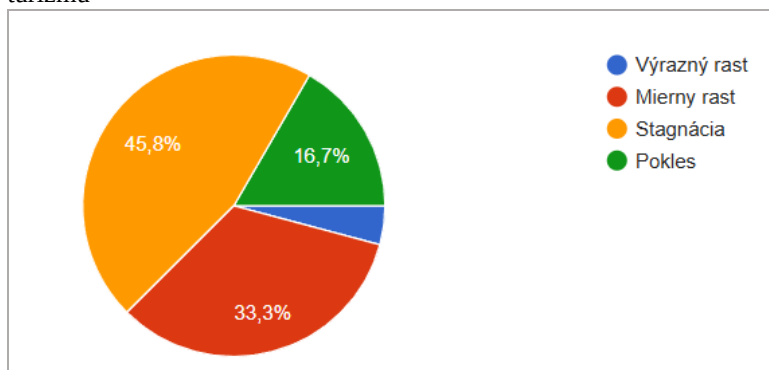
Graf 8: Odpovede vinárskych subjektov – vyjadrenie záujmu na spoluprácu v rámci vínnej cesty, resp. združenia vinárov



Zdroj: dotazníkový výskum, 2026

Ďalšou s otázok s uzatvorenou odpoveďou bola otázka 22, v ktorej sme zisťovali ako vinárstva vnímajú perspektívu vinárskeho turizmu v regióne počas nasledujúcich 5 rokov. Graf 9 vyjadruje, že prevaha odpovedí, na ktorej sa zhodlo 11 vinárstiev (45,8 %) predpokladá stagnáciu vinárskeho turizmu. No na druhej strane 8 vinárstiev (33,3 %) uviedlo mierny rast.

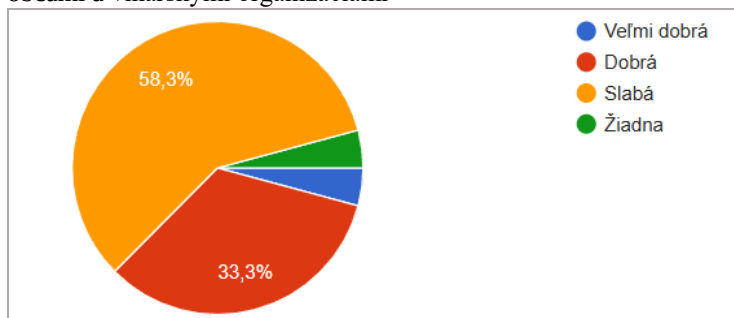
Graf 9: Odpovede vinárskych subjektov – vnímanie perspektívy vinárskeho turizmu



Zdroj: dotazníkový výskum, 2026

V poslednej otázke 23 sme sa pýtali na hodnotenie spolupráce medzi vinármi, obcami a vinárskymi organizáciami. V grafe 10 môžeme pozorovať prevahu jednej odpovede až 14 vinárskych subjektov (58,3 %) odpovedalo na túto otázku, že spolupráca je slabá.

Graf 10: Odpovede vinárskych subjektov – hodnotenie spolupráce medzi vinármi, obcami a vinárskymi organizáciami



Zdroj: dotazníkový výskum, 2026

Záver

Na základe vyhodnotenia dotazníkového výskumu realizovaného medzi 24 vinárskymi subjektmi pôsobiacimi v jednotlivých vinohradníckych rajónoch Južnoslovenskej vinohradníckej oblasti boli identifikované viaceré významné zistenia charakterizujúce súčasný stav vinohradníctva, vinárstva a vinárskeho turizmu v regióne. Z hľadiska historického vývoja skúmaných podnikov bol najstarší vinársky subjekt založený v roku 1958, zatiaľ čo najmladší vznikol v roku 2022, čo poukazuje na existenciu etablovaných vinárstiev aj nových podnikateľských subjektov vstupujúcich na trh s vínom. Najčastejšie zastúpenou kategóriou z pohľadu výmery obhospodarovaných viníc boli vinárstva s rozlohou 6 až 10 hektárov, pričom túto možnosť uviedlo deväť respondentov. V oblasti odbytu produkcie dominoval predaj vína privátnym zákazníkom a firemným klientom, čo potvrdilo 15 vinárskych subjektov. Priamy predaj v priestoroch vinárstva predstavuje významný distribučný kanál, pričom desať respondentov uviedlo, že týmto spôsobom realizujú 21 až 40 % svojej celkovej produkcie vína. Výsledky výskumu zároveň potvrdili význam vinárskeho turizmu pre rozvoj samotných vinárstiev. Až 20 vinárstiev označilo za jeho najdôležitejší prínos možnosť propagácie vlastných vín a budovania povedomia o značke vinárstva. Väčšina skúmaných subjektov je zároveň zapojená do rôznych vinohradníckych združení, spolkov a cechov, pričom najčastejšie zastúpenou organizáciou bolo Občianske združenie Údolie 3 riek. V rámci aktivít vinárskeho turizmu organizuje degustácie vín 21 z 24 oslovených vinárskych subjektov. Ročná návštevnosť vinárstiev sa najčastejšie pohybuje do 300 návštevníkov, pričom túto hodnotu uviedlo 11 respondentov. Z pohľadu sezónnosti návštevnosti boli výsledky vyrovnané, jedenásť vinárstiev zaznamenáva rovnomernú návštevnosť počas celého roka a rovnaký počet respondentov uviedol koncentráciu návštev vinárstiev najmä počas letných mesiacov. Marketingová komunikácia vinárstiev je vo výraznej miere

založená na využívaní sociálnych sietí, ktoré ako najdôležitejší marketingový nástroj označilo 20 respondentov. Vinársky turizmus považuje za skôr významný faktor svojho podnikania 12 vinárskych subjektov, pričom za jeho najväčší prínos označujú najmä zvyšovanie povedomia o značke a propagáciu vinárstva. Za najvýznamnejšiu prekážku rozvoja vinárskeho turizmu respondenti označili nedostatočne rozvinutú regionálnu infraštruktúru. Hlavnú cieľovú skupinu návštevníkov tvoria predovšetkým milovníci a nadšenci vína, ktorí pravidelne navštevujú vinárstva regiónu. Z hľadiska účasti na podujatiach sa vinárske subjekty najčastejšie zapájajú do vínnych festivalov, pričom túto formu prezentácie uviedlo až 21 respondentov. Za najväčšie úspechy dosiahnuté v priebehu posledných dvoch rokov označili respondenti najmä realizáciu nových vinárskych podujatí a zvýšenie povedomia o svojom vinárstve prostredníctvom marketingových aktivít na sociálnych sieťach. Pozitívnym zistením je, že 16 vinárskych subjektov deklarovalo záujem o spoluprácu v rámci potenciálne vytvorenej vínnej cesty alebo spoločného združenia vinárov. Na druhej strane, 11 respondentov predpokladá v najbližších rokoch stagnáciu rozvoja vinárskeho turizmu a 14 vinárskych subjektov vníma súčasnú spoluprácu medzi vinármi, obcami a organizáciami pôsobiacimi v oblasti cestovného ruchu ako nedostatočnú.

Respondenti sa zároveň zhodli, že ďalšiemu rozvoju vinárskeho turizmu v Južnoslovenskej vinohradníckej oblasti by napomohlo zefektívnenie marketingových aktivít, vyššia miera štátnej podpory, zlepšenie dopravnej a turistickej infraštruktúry, ako aj intenzívnejšia komunikácia a spolupráca medzi jednotlivými vinármi vo forme spoločného marketingu, organizovania spoločných podujatí a degustačných akcií, vytvárania spoločných vinárskych trás, prepojenia cyklotrás medzi vinárstvami, zdieľania skúseností a budovania spoločnej regionálnej značky. Celkovo možno konštatovať, že vinársky turizmus predstavuje pre vinárske subjekty Južnoslovenskej vinohradníckej oblasti významný nástroj marketingu a rozvoja podnikania. Jeho ďalší rozvoj však bude podmienený predovšetkým posilnením vzájomnej spolupráce vinárstiev a efektívnejšou propagáciou regiónu ako atraktívnej vinársko-turistickej destinácie.

Podakovanie

Táto práca bola podporená projektom VEGA č. 1/0151/26 Vinohradníctvo a vinársky turizmus v kontexte udržateľného rozvoja vidieka Slovenska.

Literatúra

BATOROVEKOSIHY.SK. 2026. *Občianske združenie SZEGAB*. [online]. [cit. 2026-4-7]. Dostupné na internete: <https://www.batorovekosihy.sk/obec/organizacie/>

- BRUWER, J. 2003. South African wine routes: some perspectives on the wine tourism industry's structural dimensions and wine tourism product. In *Tourism Management*. vol. 24, no. 4, pp. 423-425. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0261-5177\(02\)00105-X](https://doi.org/10.1016/S0261-5177(02)00105-X)
- FACEBOOK.COM. 2026a. *Občianske združenie SZEGAB* [online]. [cit. 2026-4-7]. Dostupné na internete: <https://www.facebook.com/SzegabOfficial/>
- FACEBOOK.COM. 2026b. *Spolok vinohradníkov a vinárov Strekov* [online]. [cit. 2026-4-7]. Dostupné na internete: <https://www.facebook.com/p/Spolok-vinohradn%C3%ADkov-a-vin%C3%A1rov-Strekov-Hegy%C3%B6zs%C3%A9g-K%C3%BCrt-100071543133419/>
- FACEBOOK.COM. 2026c. *Údolie troch riek* [online]. [cit. 2026-4-7]. Dostupné na internete: https://www.facebook.com/udolie3riek/?locale=sk_SK
- HALL, C. M. – SHARPLES, E. – CAMBOURNE, B. – MACIONIS, N. 2000. *Wine Tourism Around the World: Development, Management and Markets*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000. 344 p. ISBN 9780750654661.
- JAZIERSKA-THÓLE, A. – GONIA, A. – PODGÓRSKI, Z. – GWIAŹDZIŃSKA-GORAJ, M. 2025. Wine Tourism as a Tool for Sustainable Development of the Culcural Landscape – A Case Study of Duoro Wine Region in Portugal. In *Sustainability*. vol. 17, no. 4, article number.
- HUNTER, C. A. 2017. *The development of wine tourism in South Africa*. South Africa: Stellenbosch University. Dostupné na internete: https://www.semanticscholar.org/paper/The-development-of-wine-tourism-in-South-Africa-Hunter/57a73fb29267bb07237113eb77c74f957039c5b0#citing-papers?utm_source=direct_link [cit. 2026-3-24].
- KARLÍK, L. – GÁBOR, M. – FALŤAN, V. – LAUKO, V. 2017. Monitoring využívania vinohradníckych plôch: prípadová štúdia Modra (Slovensko). In *Geographia Cassoviensis*. ISSN 2454-0005, 2017, roč. 11, č. 1, s. 22-32.
- KDECO.SK. 2026. *Festival Pomlé* [online]. [cit. 2026-2-25]. Dostupné na internete: <https://kdeco.sk/udalosti/festival-pomle-fesztival/>
- LIPKA, F. – BELAN, M. – JANOUŠEK, R. – MRVA, V. – RUMAN, T. – STANKO, P. 2006. *Praktický sprievodca slovenskými vínami*. Bratislava: BELIMEX, s. r. o., 2006. 227 s. ISBN 80-89272-02-9.
- MATLOVIČOVÁ, K. – KLAMÁR, R. – MIKA, M. 2015. *Turistika a jej formy*. Prešov: Grafotlač Prešov, 2015. 550 s. ISBN 978-80-555-1530-4.
- NÉMETHOVÁ, J. – CIVÁŇ, M. 2018. Nitra wine region – the most diverse wine region in Slovakia. In *Useful Geography: Transfer from Research to Practice*. Brno: Masaryk University, 2018. s. 494-505. ISBN 978-80-210-8907-5.
- ROGOVSKÁ, V. 2018. Konkurencieschopnosť slovenského vinárskeho priemyslu v európskom hospodárskom priestore s dôrazom na krajiny Vyšehradskej štvorky. In *Ekonomika poľnohospodárstva*. ISSN 1338-6336, 2018, roč. 18, č. 1, s. 100-112.

- STREKOV.SK. 2026. *Strekovské otvorené pivnice* [online]. [cit. 2026-2-25]. Dostupné na internete: <https://www.strekov.sk/udalosti/otvorene-pivnice/>
- TRIGO, A. – SILVA, P. 2022. Sustainable Development Directions for Wine Tourism in Duoro Wine Region, Portugal. In *Sustainability*, vol. 14, no. 7, article number 3949. DOI: <https://doi.org/10.1177/13548166251314624>
- ÚSTREDNÝ KONTROLNÝ A SKÚŠOBNÝ ÚSTAV POĽNOHOSPODÁRSKY (ÚKSÚP). 2026a. *Vinohradnícke oblasti* [online]. [cit. 2026-3-24]. Dostupné na internete: <https://www.uksup.sk/vinohradnicke-oblasti>
- ÚSTREDNÝ KONTROLNÝ A SKÚŠOBNÝ ÚSTAV POĽNOHOSPODÁRSKY (ÚKSÚP). 2026b. *Vinári* [online]. [cit. 2026-3-24]. Dostupné na internete: <https://www.uksup.sk/vinari>
- VIAVINUM.STREKOV.SK. 2026. *Spolok vinohradníkov a vinárov Strekov* [online]. [cit. 2026-4-7]. Dostupné na internete: <https://viavinum.strekov.sk/sk/otvorene-pivnice>
- VILAGIWINERY.SK. 2026a. *Údolie troch riek* [online]. [cit. 2026-4-7]. Dostupné na internete: <https://www.vilagiwinery.sk/udolie-troch-riek>
- VINARI.SK. 2026. *Vinársky kalendár* [online]. [cit. 2026-2-25]. Dostupné na internete: <https://vinari.sk/vinarsky-kalendar/>
- VINARISVATYPETER.SK. 2026. *Spolok vinárov svätého Urbana vo Svätom Petre* [online]. [cit. 2026-4-7]. Dostupné na internete: <https://vinarisvatypeter.sk/>
- VINO.SK. 2026. *Južnoslovenská vinohradnícka oblasť* [online]. [cit. 2026-2-25]. Dostupné na internete: <https://www.vino.sk/blog/post/slovensko-juznoslovenska-vinohradnicke-oblast/>
- ZÁKON č. 313/2009 Z. z. z 30.júna 2009. [online]. [cit. 2026-3-24]. Dostupné na internete: <https://www.mpsr.sk/zakon-c-313-2009-z-z/27-23-27-7131/>

THE SOUTH SLOVAKIA WINE-GROWING REGION – RESULTS OF FIELD RESEARCH IN VITICULTURE, WINEMAKING, AND WINE TOURISM

Summary

Based on the evaluation of the questionnaire survey conducted among 24 wine-producing enterprises operating in the individual vineyard districts of the South Slovak Wine-Growing Region, several significant findings were identified that characterise the current state of viticulture, winemaking, and wine tourism in the region. From the perspective of the historical development of the surveyed enterprises, the oldest winery was established in 1958, while the youngest was founded in 2022, indicating the coexistence of long-established wineries alongside new businesses entering the wine market. The most frequently represented

category in terms of vineyard area comprised wineries cultivating between 6 and 10 hectares of vineyards, with nine respondents selecting this option. Regarding sales channels, the sale of wine to private customers and corporate clients was the dominant form of distribution, as confirmed by 15 wineries. Direct sales at winery premises represent an important distribution channel, with ten respondents stating that between 21% and 40% of their total wine production is sold in this manner. The research findings also confirmed the importance of wine tourism for the development of wineries themselves. As many as 20 wineries identified the promotion of their wines and the enhancement of winery brand awareness as its most significant benefit. At the same time, the majority of the surveyed enterprises are members of various wine-growing associations, societies, and guilds, with the Civic Association Valley of Three Rivers being the most frequently represented organisation. Within the scope of wine tourism activities, 21 of the 24 surveyed wineries organise wine tastings. Annual visitor numbers most commonly remain below 300 visitors, as reported by 11 respondents. In terms of seasonality, the results were evenly balanced: eleven wineries experience a steady flow of visitors throughout the year, while an equal number reported that visits are concentrated primarily during the summer months. The marketing communication of wineries relies heavily on social media, which was identified as the most important marketing tool by 20 respondents. Wine tourism is considered a rather significant factor in business operations by 12 wineries, which regard increased brand awareness and winery promotion as its greatest benefits. Respondents identified insufficiently developed regional infrastructure as the most significant obstacle to the further development of wine tourism. The principal target group of visitors consists primarily of wine enthusiasts and connoisseurs who regularly visit wineries within the region. In terms of participation in events, wineries are most frequently involved in wine festivals, with as many as 21 respondents indicating this form of presentation. The greatest achievements accomplished during the past two years were identified by respondents as the organisation of new wine-related events and increased awareness of their wineries through marketing activities on social media platforms. A positive finding is that 16 wineries expressed interest in cooperation within a potential wine route or a joint association of winemakers. On the other hand, 11 respondents anticipate stagnation in the development of wine tourism in the coming years, and 14 wineries perceive the current level of cooperation among winemakers, municipalities, and tourism organisations as insufficient.

Respondents also agreed that the further development of wine tourism in the South Slovak Wine-Growing Region would be supported by more effective marketing activities, a higher level of state support, improvements in transport and tourism infrastructure, and more intensive communication and cooperation among individual winemakers. Such cooperation could take the form of joint marketing

initiatives, the organisation of shared events and tasting activities, the creation of common wine routes, the interconnection of cycling routes between wineries, the sharing of knowledge and experience, and the development of a common regional brand. Overall, it can be concluded that wine tourism represents an important marketing and business development tool for wineries in the South Slovak Wine-Growing Region. However, its future development will depend primarily on strengthening cooperation among wineries and on the more effective promotion of the region as an attractive wine tourism destination.

doc. RNDr. Jana Némethová, PhD.

Mgr. Filip Gábriš

Katedra geografie, geoinformatiky a regionálneho rozvoja FPVaI UKF v Nitre

Trieda A. Hlinku 1, 949 01 Nitra

E-mail: jnemethova@ukf.sk

POVODŇOVÉ RIZIKO V PLÁNOVANÝCH PRIEMYSELNÝCH AREÁLOCH V BLÍZKOSTI RIEKY HRON

Adam Čaplák, Henrich Grežo

Abstract

Flood risk represents a significant factor influencing spatial planning, particularly in areas with intensive industrial development. The aim of this paper is to assess the potential threat to planned industrial zones in the vicinity of the Hron River and the town of Žiar nad Hronom under a simulated 100-year flood discharge Q_{100} (980 m³/s). The research focuses on the territory of the Banská Bystrica Region, specifically on the cadastral areas of Dolná Trnávka, Horné Opatovce, Ladomer, Lovča, Vieska, and Žiar nad Hronom. Hydrodynamic modelling was carried out using the MIKE+ software in combination with a digital elevation model (DEM) DMR 5.0 with a spatial resolution of 1 m. The modelling was performed in a 2D environment using an unstructured triangular mesh and calibrated using Manning's roughness coefficient. The findings indicate a high level of flood risk and highlight the necessity of incorporating hydrological risks into the process of spatial and urban planning.

Keywords: flood, Hron, industry area, MIKE+

Úvod

Povodňové riziko je kombinácia pravdepodobnosti výskytu povodne a jej potenciálnych nepriaznivých dôsledkov na ľudské zdravie, životné prostredie, kultúrne dedičstvo a na hospodársku činnosť (Zákon č. 7/2010 Z. z., 2024).

Problematika povodní a minimalizácie povodňových škôd je aktuálnou témou, ktorú je potrebné riešiť vzhľadom na čoraz častejší výskyt ničivých povodní (Vojtek, Boltižiar, 2011). V roku 2020 bolo zaznamenaných 119 dní s výskytom I. až III. stupňa povodňových aktivít, 2013 to bolo 140 dní a v roku 2010 až 282 dní (SOSŽPSR, 2020). K ochrane pred povodňami je nevyhnutné pristupovať ako k súčasť integrovaného manažmentu prirodzených procesov a antropogénnych činností v povodiach riek (MINZP 1, 2024).

Plánovací proces manažmentu povodňových rizík pozostáva z predbežného hodnotenia povodňového rizika, zo spracovania máp povodňového ohrozenia a máp povodňového rizika, zo spracovania plánov manažmentu povodňového rizika a z následnej realizácie vhodných opatrení (SOSŽPSR, 2020). Ochrana pred povodňami je nekonečný proces, čo sa v súlade s cyklom manažmentu povodňových rizík predpokladá priamo v smernici 2007/60/ES, ktorá ustanovuje,

že predbežné hodnotenie povodňového rizika, povodňové mapy a plány manažmentu sa musia prehodnotiť a podľa potrieb aktualizovať pravidelne každých šesť rokov. Len takto sa bude dať v budúcnosti dosiahnuť, aby sa systémy ochrany pred povodňami priebežne zdokonaľovali v súlade s aktuálnymi poznatkami o reálnych povodňových rizikách (MINZP 1, 2024).

Stredné Slovensko má najvyšší potenciál riečnych povodní, tieto oblasti majú veľmi nízke alebo nízke hodnoty priepustnosti hornín, vysoké hodnoty priemerného ročného maxima 5-dňových zrážok, vyššiu hustotu riek, typy pôdnej textúry s nižšou infiltráciou ako aj relatívne vysoký počet povodňových udalostí (Vojtek a kol., 2022). Výsledky autorov Zelenáková a kol. (2025) ukázali že rozmery rieky Hron pre dané povodie sú dostatočné len na bezpečný prenos jednoročnej špičkovej hodnoty prietoku. Ich výstupy ukázali, že študovaná oblasť (Žiar nad Hronom – rieka Hron) nie je bezpečná v prípade desaťročného maximálneho prietoku a riziko povodní dosiahne najvyššiu úroveň v prípade storočného maximálneho prietoku.

V rámci nášho výskumu sme sa zamerali na simuláciu 100-ročného prietoku (980 m³/s) v blízkosti rieky Hron a mesta Žiar nad Hronom. Pričom sme počítali možný rozsah povodne (zo simulácie), ktorý by zasiahol plánované priemyselné areály v komplexnom urbanistickom návrhu.

Teoreticko-metodické východiská

Na účely modelovania prezentovaného v tomto článku bol využitý softvérový nástroj MIKE+. Prvým krokom pri zostavovaní modelu bola digitalizácia riečnej siete na základe topografickej základnej mapy a údajov digitálneho modelu reliéfu (DMR). V súlade s metodikou hydraulického modelovania bol smer prúdenia v riečnej sieti definovaný ako pozitívny (Tehrani et al., 2020). Riečna sieť určená pre modelovanie v prostredí MIKE+ bola vytvorená pomocou nástrojov geografického informačného systému QGIS. Kľúčovým vstupným údajom bol digitálny model reliéfu, ktorý umožnil detailnú reprezentáciu morfológie územia a identifikáciu hydrologických charakteristík vodných tokov. Tento model pomohol vytvoriť riečnu sieť s cieľom minimalizovať nepresnosti, ktoré by mohli ovplyvniť simulácie.

Parametre riečnej siete ako smer a sklony boli najskôr vytvorené v softvéri QGIS a následne bol digitálny model reliéfu importovaný do MIKE+, kde poslužil ako základ pre simuláciu a analýzu hydrologických procesov. Tento prístup zabezpečil vysokú presnosť vstupných dát, čo je kľúčové pre spoľahlivé hodnotenie správania vody a predpovedanie povodní alebo analýzu odtoku.

V tejto štúdií sme použili DMR 5.0 (1. cyklus projektu leteckého laserového skenovania 2017 – 2023) vo formáte TIFF + TFW, súradnicový referenčný systém S-JTSK[JTSK03] – kód EPSG:8353, výškový systém: Baltský výškový systém po

vyrovnání (Bpv (1957)) – kód EPSG: 8357, priestorové rozlíšenie rastra: 1m/pixel (LLS, 2024). Následne sme mohli pomocou topografických údajov a tieňového reliéfu (hillshade) odhadnúť rozsah povodní, vytvorili sme vektorovú vrstvu línie vodných tokov a nastavili okrajové podmienky (hornú a dolnú).

Pri 2D modelovaní sa výpočty realizujú na základe nepravidelnej trojuholníkovej siete, ktorá umožňuje detailnú reprezentáciu priestorovej variability modelovaného územia (Chen, 2023). Zvýšenie hustoty siete, a teda počtu výpočtových elementov, spravidla vedie k vyššej presnosti simulácie, keďže umožňuje podrobnejšie zachytiť morfológické charakteristiky terénu a hydraulické procesy.

Hodnoty batymetrie vodných tokov a nadmorské výšky jednotlivých výpočtových bodov boli odvodené z DMR záujmového územia. Použitie príliš hrubého priestorového rozlíšenia výpočtovej siete by mohlo viesť k nedostatočnému zachyteniu terénnych nerovností a k skresleniu výškových pomerov územia, čo by následne negatívne ovplyvnilo výsledky hydraulickej simulácie. Z tohto dôvodu bola výpočtová doména definovaná tak, aby zodpovedala rozsahu analyzovaného povodia a zároveň zabezpečila efektívne fungovanie modelu MIKE+ (Ansarifar et al., 2024).

Hydrodynamický model môže byť kalibrovaný pomocou Manningovho koeficientu drsnosti (Tehrani et al., 2020). Vstupné parametre, vrátane koeficientu drsnosti (Manningovo n - „malý manning“) pre rieky, boli nastavené v rozmedzí 0,01 až 1 v závislosti od charakteru riečného koryta, typu sedimentov, vegetačného pokryvu, zastavanosti územia a okolia. Tieto hodnoty boli dôležité pre realistickú simuláciu hydraulických pomerov a zabezpečenie spoľahlivosti modelových výstupov. Pri určovaní hodnôt boli využité odporúčania uvedené v práci Chow (1959) (tab. 1).

Pri zadávaní okrajových podmienok sme vychádzali z údajov vodomerných staníc. Horná okrajová podmienka rieky je definovaná ako „vypúšťací“ typ s hodnotou $Q_{100} = 980 \text{ m}^3/\text{s}$. Dolná okrajová podmienka, hranica po prúde pre vypúšťanie vody, je nastavená ako „vzťah Q/h “. Táto hranica zabezpečuje správnu simuláciu prúdenia v riečnej sieti.

Tab. 1: Vstupné parametre modelu

Vstupné parametre (jednotka)	
Prietok (m^3/s)	980
Manning (n)	0,01 - 1
Časový krok (s)	10

Zdroj: SVP, 2025; Chow, 1959; vlastné spracovanie

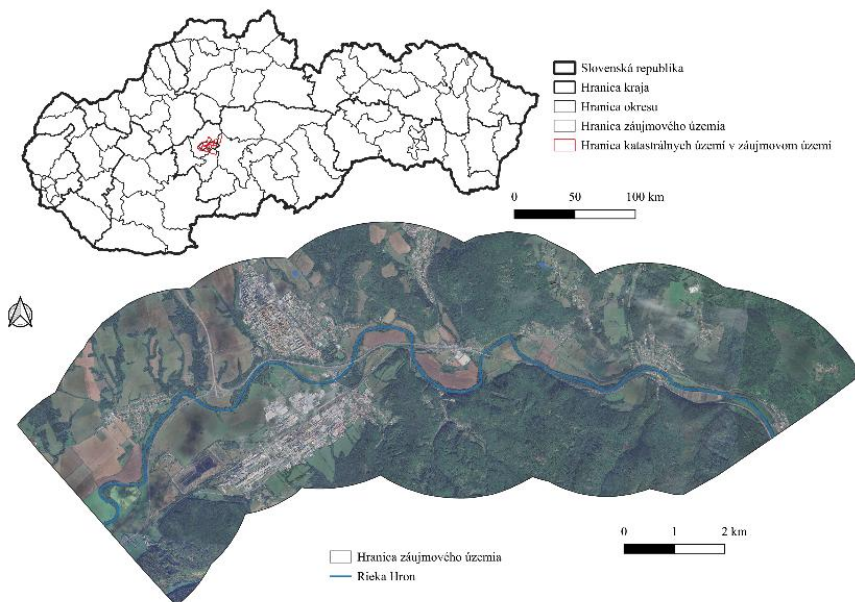
Po vytvorení a kalibrácii hydraulického modelu bol v prostredí GIS georeferencovaný komplexný urbanistický návrh záujmového územia. Následne

bola vytvorená samostatná vrstva potenciálnych priemyselných areálov, na základe ktorej bola v prostredí QGIS vykonaná priestorová analýza rozsahu ich možného zaplavenia. Výsledkom analýzy bolo určenie potenciálne ohrozených plôch a kvantifikácia rozsahu ich zasiahnutia povodňovou udalosťou simulovanou hydraulickým modelom.

Zájumové územie

V rámci zájmového územia sme sa venovali plánovaným priemyselným areálom v blízkosti rieky Hron a mesta Žiar nad Hronom (mapa 1). Konkrétne v Banskobystrickom kraji, okrese Žiar nad Hronom a v katastrálnych územiach Horné Opatovce, Hronská Dúbrava, Jalná, Ladomer, Lehôtka pod Brehmi, Lovča, Piteľová, Šášovské Podhradie, Trnavá Hora, Vieska a Žiar nad Hronom.

Mapa 1: Zájmové územie



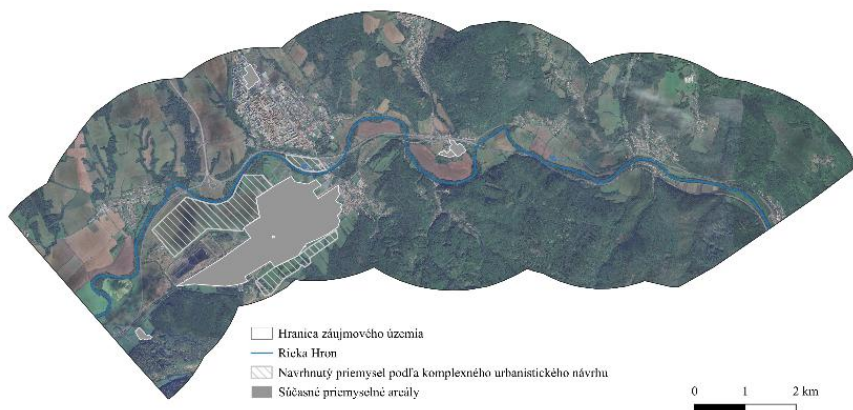
Zdroj: GOV - hranice, 2025; vlastné spracovanie QGIS

Výsledky

V nami sledovanom území sa celkovo vyskytujú priemyselné areály s rozlohou 302,1 hektárov. Podľa komplexného urbanistického návrhu je možné

plánované rozšírenie priemyselných areálov v celkovej rozlohe 216,35 hektárov (mapa 2).

Mapa 2: Súčasné a navrhované priemyselné areály

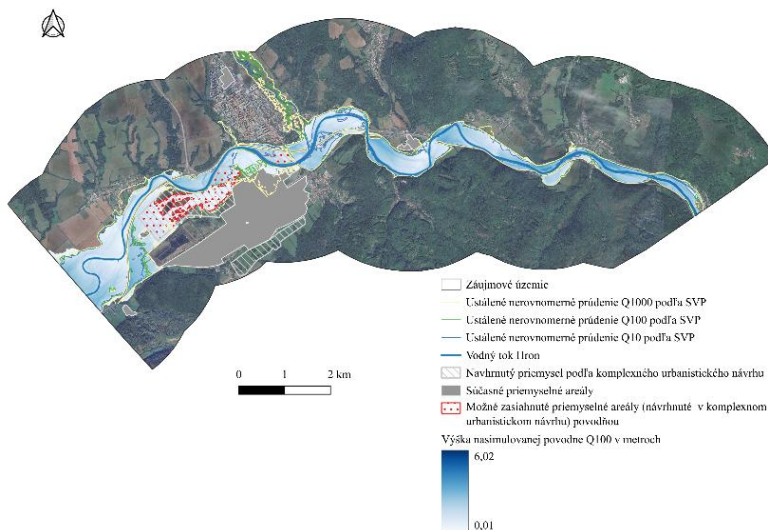


Zdroj: GOV - hranice, 2025; OSM, 2025; Komplexný urbanistický návrh, 2025; vlastné spracovanie

Integráciou výsledkov priestorových analýz súčasných a navrhovaných priemyselných areálov, výstupov hydraulického modelovania realizovaného v prostredí MIKE+ a dostupných geopriestorových údajov Slovenského vodohospodárskeho podniku sme vytvorili mapu potenciálneho rozsahu záplavového územia pri scenári storočného prietoku $Q_{100} = 980 \text{ m}^3/\text{s}$ (mapa 3).

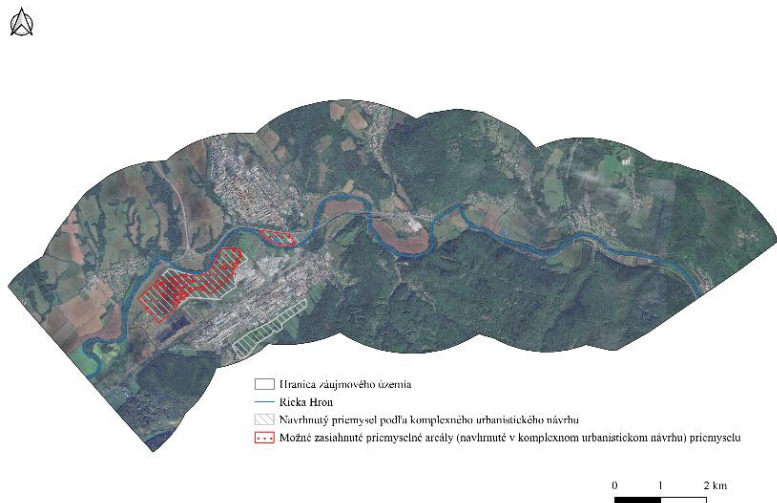
Analýza navrhovaného územného rozvoja identifikovala potenciálne rozšírenie priemyselných areálov o celkovú výmeru 216,35 ha (mapa 4). Výsledky hydraulickej simulácie naznačujú, že pri povodňovej udalosti zodpovedajúcej prietoku $Q_{100} = 980 \text{ m}^3/\text{s}$ by mohlo dôjsť k zaplaveniu 122,4 ha týchto navrhovaných plôch (tab. 2). Uvedená hodnota predstavuje 56,55 % celkovej výmery plánovaných priemyselných areálov.

Mapa 3: Modelované územie záujmovej oblasti



Zdroj: GOV - hranice, 2025; SVP, 2025; LLS, 2024; Chow, 1959; vlastné spracovanie

Mapa 4: Rozsah možného ohrozeného plánovaného priemyslu



Zdroj: GOV - hranice, 2025; SVP, 2025; LLS, 2024; Chow, 1959; vlastné spracovanie

Tab. 2: Rozloha navrhovaného priemyselného areálu

Navrhovaný priemyselný areál (ha)	Zasiahnutý priemyselný areál podľa simulácie (ha)	%
216,35	122,4	56,55

Zdroj: OSM, 2025; KUN, 2025; vlastné spracovanie

Záver a diskusia

Zeleňáková a kol. (2025) aplikovali pri modelovaní n-ročných prietokov hydraulické modely MIKE+ a HEC-RAS, pričom výsledky získané oboma modelovacími prístupmi vzájomne porovnali. Predmetom ich výskumu bolo územie mesta Žiar nad Hronom, ktoré predstavuje aj záujmovú oblasť analyzovanú v tejto štúdii. Výsledky uvedených autorov preukázali, že kapacita koryta rieky Hron v skúmanom úseku je postačujúca iba na bezpečné prevedenie jednoročného prietoku (Q_1). Simulácie zároveň poukázali na zvýšené povodňové riziko pri desaťročnom prietoku (Q_{10}), pričom najvyššia miera ohrozenia bola identifikovaná pri storočnom prietoku (Q_{100}).

V nadväznosti na tieto zistenia sa predkladaný výskum zamerail na simuláciu povodňovej situácie reprezentovanej prietokom $Q_{100} = 980 \text{ m}^3/\text{s}$. Výsledky priestorových analýz ukázali, že podľa komplexného urbanistického návrhu by mohlo dôjsť k rozšíreniu priemyselných areálov o celkovú výmeru 216,35 ha. Z tejto plochy by sa však až 56,55 % nachádzalo v území potenciálne ohrozenom povodňou pri scenári Q_{100} .

Získané výsledky poukazujú na význam integrácie hydraulického modelovania do procesov územného plánovania a strategického rozvoja priemyselných zón. Identifikácia potenciálne zaplavovaných území predstavuje dôležitý podklad pre rozhodovanie o lokalizácii budúcich investícií, optimalizáciu priestorového usporiadania priemyselných areálov a implementáciu vhodných protipovodňových opatrení s cieľom minimalizovať riziká súvisiace s extrémnymi hydrologickými udalosťami.

PodĎakovanie

Tento výskum bol financovaný EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu Indikátory zmien krajiny v regióne Nitra v kontexte územného plánovania č. 09I01-03-V04-00092.

Literatúra

ANSARIFAD, S. – EYVAZI, M. – KALANTARI, M. – MOHSENI, B. – GHORBANIFARD, M. – MOGHADDAM, H. – NOURI, M. 2024. Simulation

- of flood under the influence of effective factors in hydraulic and hydrological models using HEC-RAS and MIKE 21. In *Discover Water*. ISSN 2730-647X, 2024, vol. 4, no. 92, pp. 1-31.
- GOV – hranice, 2024. *Administratívne hranice*. [online]. Bratislava: Geoportal, 2024. [cit. 12.2.2024]. Dostupné na internete: https://geoportal.gov.sk/gallery/datasets?q=hranice&sort_by=score
- CHEN, J. 2023. Dynamic and loss analysis of flood inundation in the floodplain area of the lower Yellow River considering ecological impact. In *Journal Engineering and Applied Science*. ISSN 2536-9512, 2023, vol. 70, no. 12, pp. 1-18.
- CHOW, V. T. 1959. *Open-channel hydraulics*. New York: McGraw-Hill College Book Co, 1959. 680 p.
- KUN, 2024. *Komplexný urbanistický návrh Banskobystrický kraj*. [online]. Banská Bystrica: Banskobystrický samosprávny kraj – Komplexný urbanistický návrh, 2024. [cit. 20.11.2025]. Dostupné na internete: <https://www.bbsk.sk/komplexny-urbanisticky-navrh-z-d-6>
- LLS, 2024. *Digitálny model reliéfu*. [online]. Bratislava: Geoportal, 2024. [cit. 14.12.2024]. Dostupné na internete: <https://www.geoportal.sk/sk/zbgis/lls/>
- MINZP 1, 2024. *Predbežné hodnotenie povodňového rizika v Slovenskej republike*. [online]. Bratislava: Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, 2011. [cit. 10.6.2024]. Dostupné na internete: https://www.minzp.sk/files/sekcia-vod/phpr_sr-textova-cast-oprava.pdf
- OSM, 2024. *O aplikácii*. [online]. OpenStreetMap, 2024. [cit. 15.2.2024]. Dostupné na internete: <https://www.openstreetmap.org/about>
- SOSŽPSR, 2020. *Správa o stave životného prostredia Slovenskej republiky v roku 2020*. [online]. Bratislava: Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, 2020. [cit. 10.6.2024]. Dostupné na internete: <https://www.enviroportal.sk/uploads/report/11193.pdf>
- SVP – povodne, 2024. *Charakteristika povodní*. [online]. Bratislava: Slovenský vodohospodársky podnik, 2024. [cit. 10.6.2024]. Dostupné na internete: <https://www.svp.sk/sk/uvodna-stranka/povodne/charakteristika-povodni/>
- TEHRANI, M. – HELFER, F. – ZHANG, H. – JENKINS, G. - YU, Y. 2020. Hydrodynamic modelling of a flood-prone tidal river using the 1D model MIKE HYDRO River: calibration and sensitivity analysis. In *Environmental Monitoring and Assessment*. ISSN 1573-2959, 2020, vol. 192, no. 97, pp. 1-19.
- VOJTEK, M. – BOLTÍŽIAR, M. 2011. Manažment povodňových rizík so zreteľom na legislatívny rámec a význam povodňových máp. In *Geographia cassoviensis*. ISSN 1337-6748, 2011, roč. 5, č. 1, s. 125-128.
- VOJTEK, M. – JANIZADEH, S. – VOJTEKOVÁ, J. 2022 Riverine flood potential assessment at municipal level in Slovakia. In *Journal of Hydrology: Regional*

Studies. ISSN 2214-5818, 2022, vol. 42, no. 1, pp. 1-21.

ZÁKON Č. 7/2010 Z. z. 2024. *Povodňové riziko*. [online]. Bratislava: Lewik, 2010. [cit. 10.6.2024]. Dostupné na internete:

<https://www.lewik.org/term/6775/povodnove-riziko/>

ZELEŇÁKOVÁ, M. – KAYA, Y. – ABD-ELHAMID, H. – GARAJ, M. – FIJKO, R. – GERGELOVA, M. 2025. *Employing different hydrodynamic models (MIKE & HEC-RAC) to predict the extreme flood in the Hron River, Slovakia and provide the adequate mitigation measures*. 2025. [cit. 18.12.2025]. Dostupné na internete: <https://www.researchsquare.com/article/rs-6271629/v1>

FLOOD RISK IN PLANNED INDUSTRIAL AREAS NEAR THE HRON RIVER

Summary

Flood risk combines the probability of flood occurrence with its potential adverse effects. These risks concern human health, the environment, cultural heritage, and economic activities. Flood-related issues and the minimisation of flood damage are highly relevant, given the increasing frequency of destructive floods.

The flood risk management planning process includes several stages. First is the preliminary flood risk assessment. This is followed by the preparation of flood hazard and flood risk maps. Next comes the development of flood risk management plans, and then the implementation of appropriate measures. This approach ensures continuous improvement of flood protection systems, keeping them aligned with current knowledge of real flood risks.

Central Slovakia faces the greatest river flood risk due to low permeability, high 5-day precipitation, and a dense river network. Zelenáková et al. (2025) found that the Hron River is only sufficient to accommodate a one-year peak discharge, making the area unsafe for ten-year and especially hundred-year peak flows. This underscores major risks for Žiar nad Hronom during 100-year floods (980 m³/s). Our research simulated such peak discharge, revealing significant flood extents threatening planned industrial areas.

We applied the MIKE+ software for the modelling in this article. For the model setup, we first digitised the river network using a topographic base map and DEM data. The river network for MIKE+ modelling was created using QGIS tools. We used the digital terrain model DMR 5.0 from the first cycle of the airborne laser scanning project (2017–2023). The data were in TIFF + TFW format (TIFF World File, providing georeferencing). The coordinate reference system was S-JTSK [JTSK03] (EPSG code: 8353). The 2D modelling uses an irregular triangular mesh for computation. For boundary conditions, we relied on data from gauging stations.

The upstream boundary condition of the river was defined as a “discharge” type with a value of $Q_{100} = 980 \text{ m}^3/\text{s}$.

Within the area of interest, we focused on planned industrial zones near the Hron River and the town of Žiar nad Hronom, specifically in the Banská Bystrica Region, Žiar nad Hronom District, and the cadastral areas of Dolná Trnávka, Horné Opatovce, Ladomer, Lovča, Vieska, and Žiar nad Hronom.

The study area currently includes 302.1 hectares of industrial zones. Expansion plans propose an additional 216.35 hectares. By merging the results from creating layers of existing and potential industrial zones with the MIKE+ simulation, we produced a map of potential flooding at the Q_{100} discharge ($980 \text{ m}^3/\text{s}$). Within the monitored areas, the proposed expansion of industrial zones totals 216.35 hectares. According to our findings from the modelled simulation with discharge Q_{100} ($980 \text{ m}^3/\text{s}$), up to 122.4 hectares, representing 56.55%, may be at risk.

These findings highlight that 56.55% of the planned 216.35 hectares for industrial zone expansion could be at risk from Q_{100} flooding. This information provides an important basis for further planning, expansion, and construction decisions.

Mgr. Adam Čaplák

doc. Mgr. Henrich Grežo, PhD.

Katedra ekológie a environmentalistiky

Fakulta prírodných vied a informatiky

Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre

Trieda A. Hlinku 1, 949 01 Nitra

Email: adam.caplak@ukf.sk, hgrezo@ukf.sk

EVALUATING LAND COVER-BASED ROUGHNESS SCENARIOS FOR FLUVIAL FLOOD INUNDATION MODELLING

Matej Vojtek, Jana Vojteková, Petra Hačková, Zuzana Jakabová

Abstract

Land cover and the derived surface roughness are important parameters affecting the accuracy of hydraulic flood inundation models, as they control flow resistance, depth, and velocity. This study evaluates the impact of land cover-based roughness scenarios on fluvial flood inundation modelling for an 8.8 km reach of the Kysuca River in northern Slovakia. A two-dimensional MIKE+ hydraulic model was developed using a 1 m resolution LiDAR-derived digital elevation model and detailed land use/land cover data from 2023. Manning's roughness coefficients were assigned to individual land cover classes using reference values from the literature and two alternative scenarios representing a 20% decrease and a 20% increase in roughness. Model outputs were compared in terms of flood extent, flow depth, and flow velocity for a 100-year flood event. The results demonstrate that decreasing roughness increases flow velocities while reducing flood depths and inundation extent, whereas increasing roughness produces deeper, more extensive flooding and lower flow velocities. Although the overall spatial pattern of flooding remained similar across all scenarios, notable differences occurred along the main river channel and adjacent floodplain. The findings highlight the importance of accurate land cover-based roughness parameterization for improving hydraulic model reliability and reducing uncertainty in flood hazard assessments.

Keywords: fluvial floods, land cover, surface roughness, hydraulic modeling, scenarios

Introduction

Flooding is one of the most frequent and devastating natural hazards worldwide, affecting millions of people each year and causing substantial economic, environmental, and social losses. Flood events account for the largest proportion of natural disasters, with their frequency and severity increasing over recent decades. This trend is attributed to a combination of factors, including climate change, rapid urbanization, deforestation, population growth, and alterations in land use/land cover (LULC) (Albano et al., 2024). As extreme precipitation events become more common and human settlements continue to expand into flood-prone areas, the need for accurate flood hazard assessment and

reliable flood inundation modelling has become increasingly important for disaster preparedness, infrastructure planning, and sustainable water resources management.

Fluvial flooding, including riverine and flash flooding, occurs when the discharge of a river exceeds the capacity of its channel, resulting in water spilling onto adjacent floodplains (Vojtek, 2014). Such flooding may result from prolonged rainfall, intense storm events, rapid snowmelt, dam failures, or upstream catchment runoff exceeding the river's carrying capacity (Vojtek and Vojteková, 2026). Flood inundation modelling has become an indispensable tool for understanding the spatial distribution, depth, velocity, and duration of floodwaters (Dimitriadis et al., 2016). It integrates hydrologic inputs, topographic data, channel geometry, and hydraulic characteristics to simulate how floodwaters propagate across river channels and surrounding floodplains (Vozinaki et al., 2016). Hydraulic models, such as MIKE+, HEC-RAS, or TUFLOW, have significantly improved the capability to simulate complex flood processes using high-resolution terrain data and computational techniques (Teng et al., 2017). The outputs generated from these models support flood hazard mapping, emergency response planning, evacuation strategies, infrastructure design, insurance risk assessments, and climate adaptation policies.

Despite the considerable advancements in hydraulic modelling, the accuracy of flood simulations remains highly dependent on the quality and representation of model input parameters (Petroselli et al., 2019). Among these parameters, surface roughness is widely recognized as one of the most influential sources of uncertainty (Vojtek et al., 2019). Surface roughness represents the resistance exerted by the land surface on flowing water and directly affects flow velocity, water depth, travel time, and the overall extent of flood inundation. Hydraulic models commonly represent this resistance using Manning's roughness coefficient (n values) (Horritt and Bates, 2002). Accurate estimation of Manning's roughness coefficient is challenging because natural landscapes exhibit considerable spatial variability and temporal changes. Moreover, roughness values may change seasonally due to vegetation growth, harvesting activities, sediment deposition, or changes in water depth. Consequently, assigning a single roughness value across large modelling domains often oversimplifies the complex interactions between flowing water and surface features, potentially reducing model accuracy (Papaioannou et al., 2017).

To address this challenge, LULC datasets have become an important source of spatially distributed roughness information. Advances in remote sensing technologies, satellite imagery, airborne LiDAR, and geographic information systems (GIS) have enabled detailed mapping of land cover at increasingly finer spatial resolutions. These datasets can be converted into Manning's roughness maps by assigning representative roughness coefficients to each land cover class

based on published literature, field observations, or expert judgement. Although land cover-based roughness mapping has become standard practice in hydraulic modelling, substantial uncertainties remain regarding the selection of appropriate Manning's n values for different land cover categories (Liu et al., 2019). Numerous studies have reported varying roughness coefficients for identical land cover types due to differences in local environmental conditions, vegetation density, topography, hydraulic conditions, and measurement techniques (Pappenberger et al., 2005; Merwade et al., 2008). Furthermore, different land cover classification systems may represent the same landscape differently, resulting in inconsistencies in roughness parameterization, which ultimately affects flood simulation results.

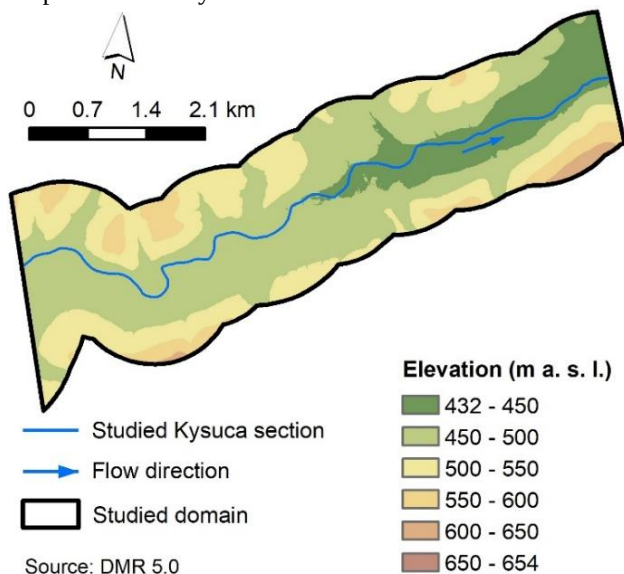
Previous studies have consistently identified Manning's roughness coefficient as one of the dominant factors influencing hydraulic model performance (Apel et al., 2004; Vojtek et al., 2019). Consequently, evaluating alternative land cover-based roughness scenarios has become an important research area aimed at improving model reliability and reducing uncertainty (Liu and Merwade, 2018). Rather than relying on a single roughness map, scenario-based approaches investigate how different roughness assignments influence simulated flood behaviour. These comparative analyses provide valuable insights into model sensitivity and help identify robust roughness parameterization strategies suitable for different river systems and floodplain environments.

This study aims at evaluating land cover-based roughness scenarios for fluvial flood inundation modelling. The derived LULC classes were assigned different Manning's roughness coefficients, i.e. reference values, 20% increased values, and 20% decreased values, which were incorporated into the MIKE+ hydraulic model to examine their influence on simulated flood extent, water surface elevation, flow depth, and flow velocity.

Study area

The studied domain was represented by 8.8 km section of the Kysuca River, which is located in northern Slovakia. The bed slope of the studied Kysuca River is 0.004 m/m. The buffer zone of 600 m was created around the studied Kysuca River, having an extent of 13.6 km². The elevation in the studied domain ranges from 432 to 654 m a. s. l. (Map 1). The studied river section was selected due to its inclusion into critical river sections for the occurrence of fluvial floods in all cycles of the Preliminary Flood Risk Assessment (ME SR, 2024), which were carried so far based on the EU Floods Directive (2007). The last fluvial flood affected the studied river section in September 2024. Four municipalities are located along the studied reach of the Kysuca River: Turzovka, Podvysoká, Olešná, and Staškov.

Map 1: Studied Kysuca domain and elevations



Data and methods

The primary data for hydraulic modeling was created by a high-resolution DEM (DMR 5.0) obtained from airborne laser scanning. The DEM has a spatial resolution of 1 m and was provided by the Geodetic and Cartographic Institute in Bratislava. Surface roughness was incorporated into the hydraulic models through Manning's roughness coefficients (n values), which were assigned based on land use/land cover (LULC) data. These data were obtained from the 2023 Basic Database for the Geographic Information System (ZBGIS) and provided by the Geodetic and Cartographic Institute in Bratislava. The derived LULC classes are presented in Map 2. Each LULC class was then assigned a reference roughness value according to Chow (1959), 20% increased value, and 20% decreased value, which both represent the possible scenarios of LULC change (Table 1). For LULC class of buildings, the maximum possible Manning's roughness value of 1 was adopted because buildings act as nearly complete obstructions to flow, producing very high flow resistance and substantially reducing flow velocity.

Map 2: LULC classes in the studied Kysuca domain

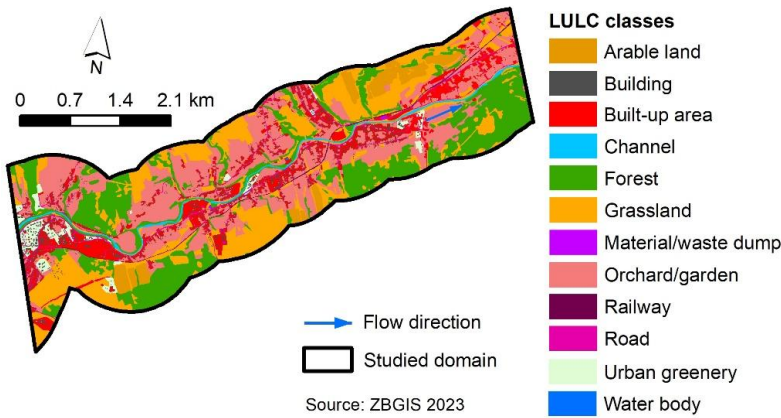


Table 1: LULC classes and the assigned Manning roughness n values

LULC class	Reference case (Chow, 1959)	Scenario 1 (20% decrease)	Scenario 2 (20% increase)
Arable land	0.035	0.028	0.042
Building	1	1	1
Built-up area	0.04	0.032	0.048
Channel	0.04	0.032	0.048
Forest	0.15	0.12	0.18
Grassland	0.05	0.04	0.06
Material/waste dump	0.03	0.024	0.036
Orchard/garden	0.07	0.056	0.084
Railway	0.02	0.016	0.024
Road	0.02	0.016	0.024
Urban greenery	0.05	0.04	0.06
Water body	0.04	0.032	0.048

As for the hydraulic modeling, we used a two-dimensional MIKE+ model (version 2024). The computational domain was discretized using a flexible mesh. The floodplain areas were represented by triangular elements, while the river channels were modeled using quadrangular elements, with a maximum longitudinal element length of 5 m and a maximum transversal length of 2 m, to better capture flow dynamics within the channel. The resulting mesh consisted of 2,906,690 elements. Simulations were carried out under steady-state conditions to represent peak discharge associated with the return period of 100-year flood event. The design discharge value of 270 m³/s was obtained from the Slovak Hydrometeorological Institute (SHMI) for the Turzovka gauging station, which is

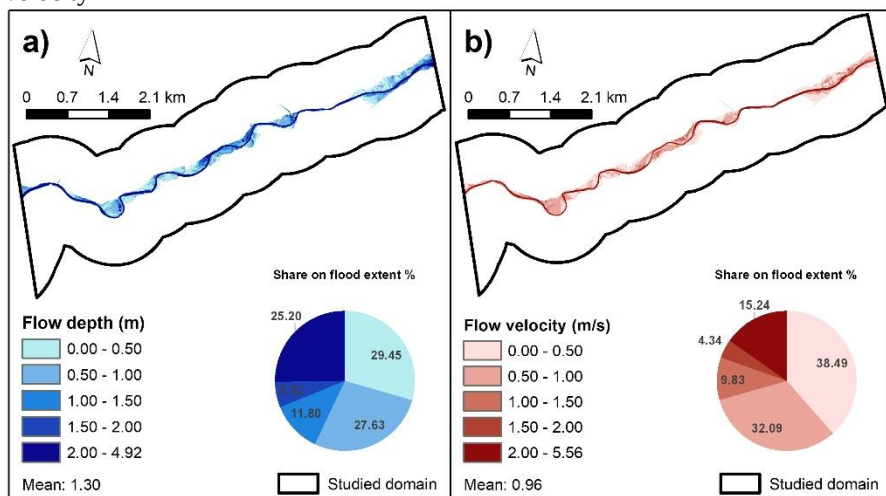
located at the starting point of the studied Kysuca River reach. The downstream boundary condition was set the water level (435.5 m). Initial conditions were set as uniform water level (432.5 m). The simulation time step was set to 10 seconds, as this is a common and recommended value by DHI for detailed yet efficient simulations aiming to achieve numerical stability in the model.

Results and discussion

Flood inundation under the reference case

The total flood extent for the reference case was 1.10 km². Map 3a shows that flood depths are predominantly shallow to moderate (0.0 – 1.5 m) across the studied reach, covering about 69% of the inundated area (29.45%, 27.63%, and 11.80%, respectively). Deeper water (2.0 – 4.92 m) is mainly confined to the river channel and a few localized sections, accounting for 25.20% of the flooded area. The mean flood depth is 1.30 m. Map 3b indicates that low velocities (<1.0 m/s) dominate the flooded area, representing approximately 70.6% of the total flood extent (38.49% and 32.09%). Moderate velocities (1.0–2.0 m/s) occur mainly along the main channel, while high velocities (2.0 < m/s) are limited to narrow channel sections, comprising 19.6% of the inundated area. The mean flow velocity is 0.96 m/s, suggesting generally low-energy flood conditions across most of the study area.

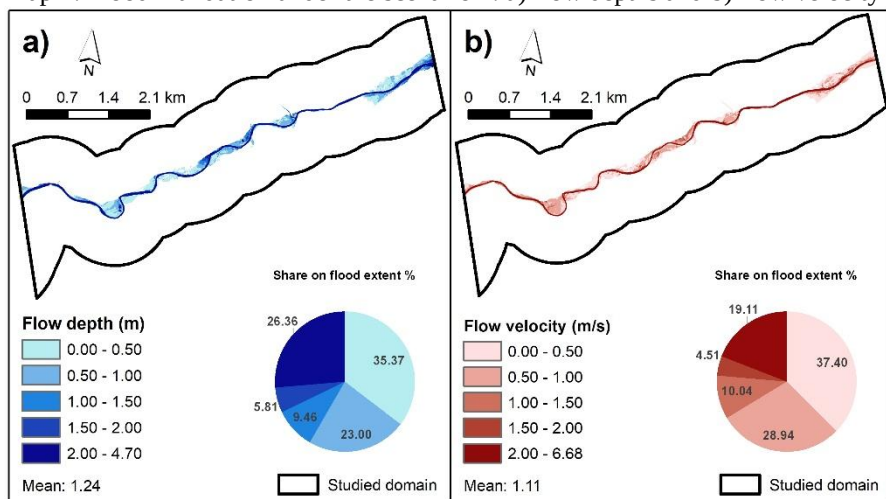
Map 3: Flood inundation under the reference case: a) flow depths and b) flow velocity



Flood inundation under scenario 1

The total flood extent for the scenario 1 was 0.98 km². Map 4a indicates that shallow flooding (0.0 – 0.5 m) is the most widespread, accounting for 35.37% of the inundated area. Moderate depths between 0.5 and 1.5 m comprise 32.46%, while deeper flooding (1.5 < m) is largely confined to the main river channel and localized depressions, representing 32.17% of the flood extent. The mean flood depth is 1.24 m, which is caused by the decrease in Manning's roughness values. On the other hand, the mean flow velocity value increased to 1.11 m/s, indicating slightly more energetic flow conditions than in the previous case. Map 3b shows that low flow velocities (<1.0 m/s) dominate the flooded area, covering 66.34% of the inundation extent (37.40% and 28.94%). Moderate velocities (1.0–2.0 m/s) account for 14.55%, whereas high velocities (2.0 < m/s) are concentrated along the main channel and represent 19.11% of the flooded area.

Map 4: Flood inundation under the scenario 1: a) flow depths and b) flow velocity

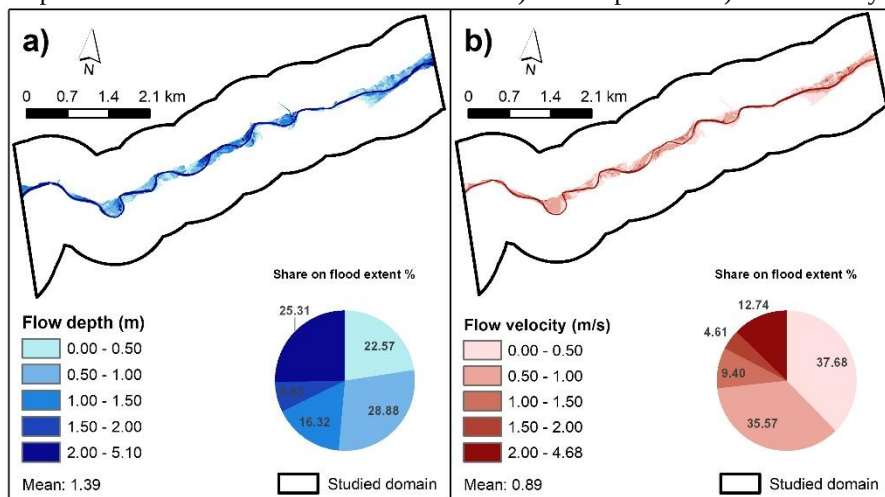


Flood inundation under scenario 2

The total flood extent for the scenario 2 was 1.18 km². Map 5a shows that shallow to moderate flood depths (0.0 – 1.5 m) dominate the inundated area, accounting for 67.77% of the flood extent (22.57%, 28.88%, and 16.32%, respectively). Deeper flooding (1.5 < m) is primarily restricted to the main river channel and a few localized areas, representing 32.34% of the inundated area. The mean flood depth is 1.39 m, indicating deeper overall flooding than in the previous

scenarios. Map 5b indicates that low flow velocities (<1.0 m/s) are predominant, covering 73.25% of the flood extent (37.68% and 35.57%). Moderate velocities (1.0–2.0 m/s) account for 14.01%, while high velocities (>2.0 m/s) are confined to limited sections of the main channel, comprising 12.74% of the inundated area. The mean flow velocity is 0.89 m/s, reflecting generally low-energy flood conditions across most of the study area.

Map 5: Flood inundation under the scenario 2: a) flow depths and b) flow velocity



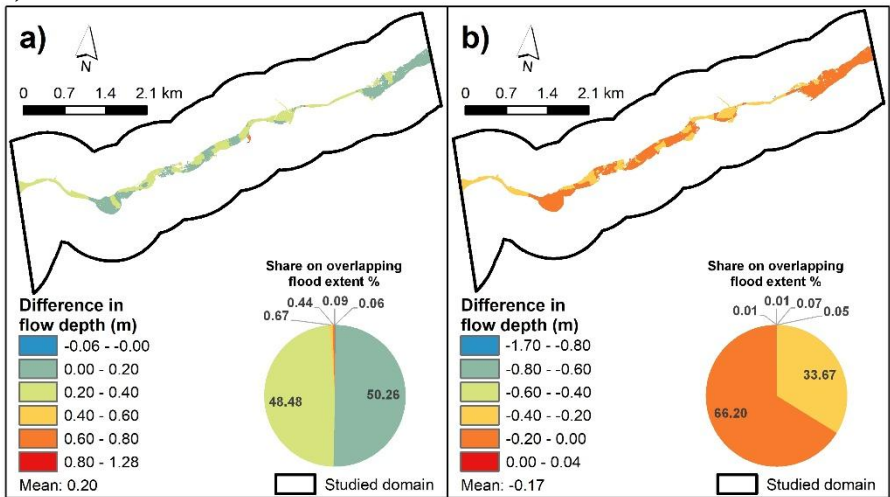
To sum up, higher roughness increases hydraulic resistance, reducing flow velocities and causing water to remain in the channel and floodplain for longer periods. Consequently, Scenario 2 (mean velocity = 0.89 m/s) exhibits the highest mean flood depth (1.39 m) and the largest proportion of moderate-to-deep inundation, as the increased friction slows the flow and promotes water accumulation. In contrast, Scenario 1, which has the highest mean velocity (1.11 m/s) and the lowest mean depth (1.24 m), is consistent with lower roughness values. Reduced friction allows water to move more rapidly through the channel, resulting in shallower inundation over much of the floodplain but larger areas of high-velocity flow ($2.0 < \text{m/s}$). The reference case resulted in moderate flow depths (1.30 m) and velocities (0.96 m/s).

Differences in flood inundation between reference case and scenarios

Map 6 shows that changing Manning's roughness mainly affects flow depth rather than the spatial pattern of flooding. Compared with the reference case,

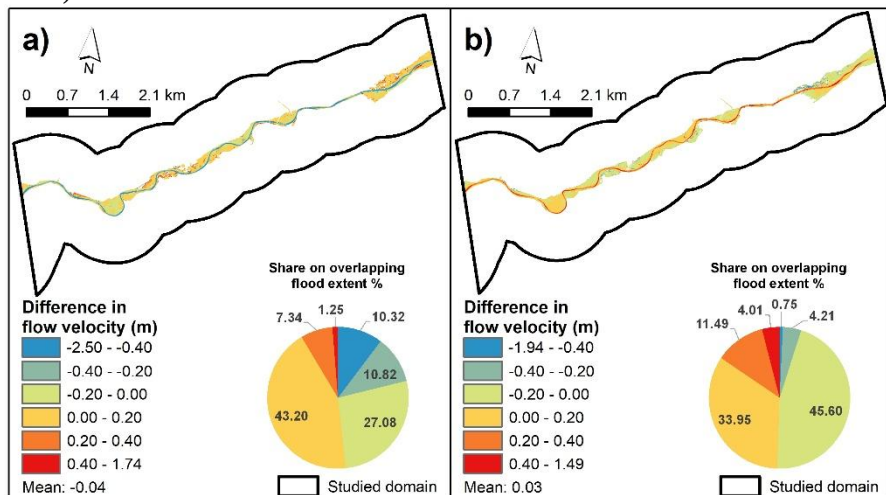
Scenario 1 (20% lower roughness) produces shallower water depths, while Scenario 2 (20% higher roughness) results in deeper flooding, especially along the main river channel and adjacent floodplain. Most of the flooded area remains unchanged, indicating that roughness primarily influences flood magnitude rather than flood extent.

Map 6: Difference in flow depths: a) between the reference case and scenario 1 and b) between the reference case and scenario 2



Map 7 illustrates the expected inverse relationship between roughness and flow velocity. Compared with the reference case, scenario 1 shows higher flow velocities due to reduced hydraulic resistance, whereas scenario 2 exhibits lower velocities because increased roughness slows the flow. The largest velocity changes occur within the river channel, while differences across the floodplain are relatively small, confirming that roughness mainly modifies flow dynamics rather than inundation patterns.

Map 7: Difference in flow velocities: a) between the reference case and scenario 1 and b) between the reference case and scenario 2



Conclusion

In this paper, we demonstrated that the comparison of the reference case with the two land cover-based roughness scenarios confirms that land cover-based Manning's roughness significantly influences hydraulic characteristics of flood inundation. First, lower roughness decreased the total flood extent from 1.10 km² (reference case) to 0.98 km², while higher roughness values increased the total flood extent to 1.18 km². Moreover, lower roughness values (scenario 1) increased flow velocities, reduced flood depths, and slightly decreased the total inundated area, whereas higher roughness values (scenario 2) decreased flow velocities, increased water depths, and expanded the flood extent. The difference maps further demonstrate that the most pronounced changes occur along the main river channel and adjacent floodplain, while the overall spatial pattern of inundation remains largely unchanged. These findings indicate that surface roughness primarily affects the magnitude of flood depth and flow velocity rather than the general distribution of flooding. Therefore, accurate parameterization of Manning's roughness based on land cover is essential for improving the reliability of hydraulic flood models and reducing uncertainty in flood hazard assessments.

These findings highlight the sensitivity of hydraulic flood models to the parameterization of Manning's roughness and emphasize the importance of using reliable, spatially distributed land cover information when assigning roughness coefficients. Scenario-based evaluation of roughness provides a practical approach

for quantifying modelling uncertainty and improving the robustness of flood hazard assessments. Future research should focus on evaluation of seasonal and temporal variations in surface roughness and testing additional land cover and climate change scenarios to further enhance the reliability of fluvial flood inundation modelling.

Funding and acknowledgement

Funded by the EU NextGenerationEU through the Recovery and Resilience Plan for Slovakia under the project No. 09I03-03-V03-00085.

References

- ALBANO, R. – LIMONGI, C. – SASSO, S. F. D. – MANCUSI, L. – ADAMOWSKI, J. 2024. Flood scenario spatio-temporal mapping via hydrological and hydrodynamic modelling and a remote sensing dataset: A case study of the Basento river (Southern Italy). In *International Journal of Disaster Risk Reduction*. ISSN 2212-4209, 2024, vol. 111, article number 104758.
- APEL, H. – THIEKEN, A. H. – MERZ, B. – BLÖSCHL, G. 2004. Flood risk assessment and associated uncertainty. In *Natural Hazards and Earth System Sciences*. ISSN 1684-9981, 2004, vol. 4, no. 2, pp. 295-308.
- CHOW, V. T. 1959. *Open-Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill Higher Education.
- DIMITRIADIS, P. – TEGOS, A. – OIKONOMOU, A. – PAGANA, V. – KOUKOUVINOS, A. – MAMASSIS, N. – KOUTSOYIANNIS, D. – EFSTRATIADIS, A. 2016. Comparative evaluation of 1D and quasi-2D hydraulic models based on benchmark and real- world applications for uncertainty assessment in flood mapping. In *Journal of Hydrology*. ISSN 1879-2707, 2016, vol. 534, pp. 478492.
- EU FLOODS DIRECTIVE. 2007. *Directive 2007/60/EC of the European parliament and of the council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks*. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2007/60/oj/eng>
- HORRITT, M. S. – BATES, P. D. 2002. Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. In *Journal of Hydrology*. ISSN 1879-2707, 2002, vol. 268, pp. 87-99.
- LIU, Z. – MERWADE, V. 2018. Accounting for model structure, parameter and input forcing uncertainty in flood inundation modeling using Bayesian model averaging. In *Journal of Hydrology*. ISSN 1879-2707, 2018, vol. 565, pp. 138-149.
- LIU, Z. – MERWADE, V. – JAFARZADEGAN, K. 2019. Investigating the role of model structure and surface roughness in generating flood inundation extents

- using one- and two-dimensional hydraulic models. In *Journal of Flood Risk Management*. ISSN 1753-318X, 2019, vol. 12, no. 1, article number e12347.
- MERWADE, V. – OLIVERA, F. – ARABI, M. – EDLEMAN, S. 2008. Uncertainty in flood inundation mapping: current issues and future directions. In *Journal of Hydrologic Engineering*. ISSN 1943-5584, 2008, vol. 13, no. 7, pp. 608-620.
- PAPAIIOANNOU, G. – VASILIADES, L. – LOUKAS, A. – ARONICA, G. T. 2017. Probabilistic flood inundation mapping at ungauged streams due to roughness coefficient uncertainty in hydraulic modelling. In *Advances in Geosciences*. ISSN 1680-7359, 2017, vol. 44, pp. 23-34.
- PAPPENBERGER, F. – BEVEN, K. J. – HORRITT, M. – BLAZKOVA, S. 2005. Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS. In *Journal of Hydrology*. ISSN 1879-2707, 2005, vol. 302, pp. 46-69.
- PETROSELLI, A. – VOJTEK, M. – VOJTEKOVÁ, J. 2019. Flood mapping in small ungauged basins: A comparison of different approaches for two case studies in Slovakia. In *Hydrology Research*. ISSN 0029-1277, 2019, vol. 50, no. 1, pp. 379-392.
- TENG, J. – JAKEMAN, A. J. – VAZE, J. – CROKE, B. F. – DUTTA, D. – KIM, S. J. E. M. 2017. Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. In *Environmental Modelling & Software*. ISSN 1873-6726, 2017, vol. 90, pp. 201-216.
- VOJTEK, M. 2014. *Povodňová hrozba a povodňové riziko na príklade povodia Vyčomy*. Nitra: UKF v Nitre, 2014. 238 s. ISBN 978-80-558-0630-3.
- VOJTEK, M. – VOJTEKOVÁ, J. 2026. Fluvial Flood Inundation Modeling: a Comparative Assessment of 1D and 2D Hydraulic Approach Using MIKE+. In *Water Resources Management*. ISSN 1573-1650, vol. 40, article number 24.
- VOJTEK, M. – PETROSELLI, A. – VOJTEKOVÁ, J. – ASGHARINIA, S. 2019. Flood inundation mapping in small and ungauged basins: sensitivity analysis using the EBA4SUB and HEC-RAS modeling approach. In *Hydrology Research*. ISSN 0029-1277, 2019, vol. 50, no. 4, pp. 1002-1019.
- VOZINAKI, A. E. K. – MORIANOU, G. G. – ALEXAKIS, D. D. – TSANIS, I. K. 2016. Comparing 1D and combined 1D/2D hydraulic simulations using high-resolution topographic data: a case study of the Koiliaris basin, Greece. In *Hydrological Sciences Journal*. ISSN 2150-3435, 2016, vol. 62, pp. 642-656.

doc. RNDr. Matej Vojtek, PhD.

Department of Geography, Geoinformatics and Regional Development
Faculty of Natural Sciences and Informatics
Constantine the Philosopher University in Nitra
Trieda A. Hlinku 1, 949 01 Nitra, Slovakia
E-mail: mvojtek@ukf.sk

Institute of Geography
Slovak Academy of Sciences
Štefánikova 49, 814 73 Bratislava, Slovakia
E-mail: matej.vojtek@savba.sk

doc. RNDr. Jana Vojteková, PhD.

Department of Geography, Geoinformatics and Regional Development
Faculty of Natural Sciences and Informatics
Constantine the Philosopher University in Nitra
Trieda A. Hlinku 1, 949 01 Nitra, Slovakia
E-mail: jvojtekova@ukf.sk

Mgr. Petra Hačková

Department of Ecology and Environmental Science
Faculty of Natural Sciences and Informatics
Constantine the Philosopher University in Nitra
Trieda A. Hlinku 1, 949 01 Nitra, Slovakia
E-mail: petra.hackova@ukf.sk

Mgr. Zuzana Jakabová

Department of Ecology and Environmental Science
Faculty of Natural Sciences and Informatics
Constantine the Philosopher University in Nitra
Trieda A. Hlinku 1, 949 01 Nitra, Slovakia
E-mail: zuzana.jakabova@ukf.sk

Názov: **GEOGRAFICKÉ INFORMÁCIE**
Title: **GEOGRAPHICAL INFORMATION**

Časopis Katedry geografie, geoinformatiky a regionálneho rozvoja FPVaI UKF v Nitre
Journal of the Department of Geography, Geoinformatics and Regional Development FNSI CPU
in Nitra

Ročník / Volume: 30 Číslo / Issue: 1 Rok / Year: 2026

Vydavateľ: Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre
Publisher: Constantine the Philosopher University in Nitra

Hlavný redaktor / Editor-in-Chief: Prof. PaedDr. PhDr. RNDr. Martin Boltížiar, PhD., MBE
Výkonný redaktor / Executive editor: Doc. RNDr. Alfred Krogmann, PhD.
Výkonný redaktor / Executive editor: Doc. RNDr. Matej Vojtek, PhD.

Medzinárodná redakčná rada / International editorial board:

Doc. PaedDr. Eduard Hofmann, CSc.
(Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity, Brno)

Prof. PhDr. Petr Chalupa, CSc.
(Vysoká škola polytechnická Jihlava)

Doc. RNDr. Milan Jeřábek, Ph.D.
(Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Brno)

Prof. RNDr. Jaromír Kolečka, CSc.
(Ústav geoniky Akademie věd České republiky, v. v. i., Brno)

RNDr. Hilda Kramáreková, PhD.
(Fakulta prírodných vied a informatiky Univerzity Konštantína Filozofa v Nitre)

Doc. RNDr. Jana Némethová, PhD.
(Fakulta prírodných vied a informatiky Univerzity Konštantína Filozofa v Nitre)

Dr. h. c. prof. RNDr. František Petrovič, PhD., MBA
(Fakulta prírodných vied a informatiky Univerzity Konštantína Filozofa v Nitre)

Ing. Petr Scholz, DiS, Ph.D.
(Vysoká škola polytechnická Jihlava)

Doc. PhDr. Mgr. Hana Pokorná, Ph.D.
(Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity, Brno)

Doc. RNDr. Vladimír Solár, PhD.
(Fakulta humanitných a prírodných vied Prešovskej univerzity v Prešove)

Doc. RNDr. Zdeněk Szczyrba, Ph.D.
(Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci)

Dátum vydania / Date of publishing: jún / June 2026
Periodicita vydávania / Publication periodicity: 2x ročne / half-yearly
Počet strán / Pages: 78
Počet výtlačkov / Number of copies: 100

© 2026 Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre

ISSN 1337-9453