



Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach

Prírodovedecká fakulta

Šrobárova 2, 04154

IČO: 00397768, DIČ: 20211570500 Košice

web: www.science.upjs.sk | e-mail: pfsekret@upjs.sk | tel: +421 55 234 2181

Technická správa

Simulácia povodní z prítalových zrážok pre dve územia mesta Košice: Račí potok, mestská časť Košice-Západ

Objednávateľ: Mesto Košice

Trieda SNP 48/A, 040 11 Košice

IČO: 00691135 | DIČ: 2021186904

Kontakt: Ing. Terézia Vysocká, PhD, email: terezia.vysocka@kosice.sk

Objednávka č.: O10307250025

Dátum objednávky: 15. 1. 2025 | Dátum dodania: 30. 6. 2025

Zhotoviteľ: Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach

Prírodovedecká fakulta, Ústav geografie

Jesenná 5, 040 01 Košice

Zastúpená: doc. RNDr. Roman Soták, PhD., dekan fakulty

Riaditeľ Ústavu geografie: doc. Mgr. Ladislav Novotný, PhD.

Autori správy a realizátori objednávky:

- doc. Mgr. Michal Gallay, PhD. (zodpovedný riešiteľ)
 - prof. Mgr. Jaroslav Hofierka, PhD.
 - Mgr. Jozef Šupinský, PhD.
 - Mgr. Ján Šášak, PhD.
 - Mgr. Michaela Nováková, PhD.
 - Mgr. Petra Dávidová
 - Mgr. Anton Uhrín
-

Miesto realizácie:

Ústav geografie, Prírodovedecká fakulta UPJŠ, Košice

Dátum vyhotovenia správy: 30. jún 2025, verzia: 1

1. Úvod

Táto technická správa bola vypracovaná na základe objednávky Mesta Košice v rámci projektu AquaUrban – *Inovatívne riešenia zadržiavania vody pre zlepšenie kvality života v mestách Košice a Nyíregyháza*. Projekt je realizovaný v programe **Interreg VI-A Maďarsko – Slovensko 2021–2027**, spolufinancovanom z Európskeho fondu regionálneho rozvoja (ERDF) a štátneho rozpočtu SR. Mesto Košice je jedným z dvoch partnerov projektu spolu s hlavným partnerom – mestom Nyíregyháza. Cieľom projektu je zlepšiť hospodárenie s dažďovou vodou a zvýšiť ekologickú hodnotu mestského prostredia, najmä v kontexte čoraz častejších extrémnych zrážok. V Košiciach sa projekt zameriava okrem výstavby dažďovej záhrady a retenčnej nádrže aj na analýzu povodňového rizika vo vybraných lokalitách.

Na tento účel bolo realizované modelovanie prívalových povodní pre dve územia – časť povodia Račieho potoka a časť mestskej časti Košice-Západ (Terasa). Hlavným cieľom bolo pripraviť scenáre povodňovej udalosti pri rôznych intenzitách zrážok a rôznych podmienkach funkčnosti hrádzí a kanalizácie. Jadro spracovania tvorila numerická simulácia šírenia vody v mestskom prostredí, s dôrazom na časovú a priestorovú dynamiku.

Výsledkom sú 2D mapy a 3D animácie, ktoré poskytujú podklady pre územné plánovanie, krízové scenáre a komunikáciu rizika. Návrhy opatrení majú doplnkový charakter a vychádzajú z analýzy simulovaných scenárov.

Riešiteľský tím Ústavu geografie PF UPJŠ má dlhoročné skúsenosti s modelovaním povrchového odtoku a vývojom geoinformačných nástrojov. V tomto projekte bol využitý model r.sim.water implementovaný v prostredí GRASS GIS, ktorého spoluautorom je prof. Jaroslav Hofierka. Model bol úspešne aplikovaný a overený vo viacerých vedeckých prácach (Mitas & Mitasova 1998; Hofierka et al. 2002, 2015, 2017, 2018; Tokarčík & Hofierka 2024), čo potvrdzuje jeho odbornú a aplikačnú spoľahlivosť.

1.1 Zadanie zákazky

Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach (Prírodovedecká fakulta, Ústav geografie) bola poverená realizáciou zákazky na základe objednávky Mesta Košice. Cieľom zákazky bolo vypracovanie 2D hydrodynamických simulácií a príprava 3D vizualizácií prívalových povodní pre dve vybrané lokality, ktoré po vnútornej konzultácii s relevantnými zamestnancami magistrátu stanovil Ing. Peter Ferjenčík, vedúci referátu CO, BOZP a PO Magistrátu mesta Košice:

- časť povodia **Račieho potoka** (cca 2 km²),
- vybraná oblasť **mestskej časti Západ (Terasa)** (cca 2,5 km²).

Modelovanie malo za úlohu overiť dopady extrémnych zrážok pri rôznych scenároch (intenzita zrážok, stav retenčných prvkov a kanalizačnej infraštruktúry) a zároveň pripraviť vizualizačné výstupy ako nástroj pre plánovanie a komunikáciu so samosprávou i verejnosťou.

Pre lokalitu Račieho potoka boli požiadavky nasledovné:

- vytvoriť simulácie pri zohľadnení rôznych stavov naplnenia retenčných jazierok (30 %, 50 %, 100 % kapacity),
- analyzovať prietok a výšku hladiny v území pri extrémnych zrážkach bez vplyvu banských vôd (iba zrážková voda),
- identifikovať riziko zatopenia stavebných objektov v dolnej časti územia,
- navrhnúť revitalizačné opatrenia pre zvýšenie retenčnej kapacity a podporu biodiverzity.

Pre územie Terasa (Západ) bolo požadované:

- modelovať povrchový odtok dažďových vôd pri zrážkach 50 mm/h a 100 mm/h,
- zohľadniť stav kanalizačnej siete (100 % a 50 % priepustnosť),
- určiť výšku hladiny a čas potrebný na odvodnenie územia pri daných scenároch,
- využiť aktuálne údaje o pokrývke terénu a vektorové dáta z VVS.

Spoločné požiadavky pre obe územia:

- využitie otvorených a transparentných geoinformačných nástrojov (GRASS GIS),
- získanie vstupných údajov pomocou terénneho zberu dát (TLS, GNSS, tachymetria),
- implementácia modelovania v 2D priestore s výstupmi v podobe 2D máp a 3D animácií,
- spracovanie sprievodnej textovej správy s metodikou a interpretáciou výsledkov,
- účasť riešiteľského tímu na konzultáciách s maďarským partnerom projektu (Univerzita v Nyíregyháze).

Doplnenia a zmeny v zadaní

V priebehu riešenia úlohy však došlo k viacerým odborným úpravám a doplneniam oproti zadaniu s cieľom lepšie prispôsobiť požadované výstupy reálnemu stavu dát, výpočtovým možnostiam a potrebám Mesta Košice. Počas riešenia zákazky prebehlo niekoľko konzultácií s Ing. Petrom Ferjenčíkom (vedúci referátu CO, BOZP a PO) a Dr. Teréziou Vysockou (odbor strategického rozvoja Magistrátu mesta Košice), ktorých cieľom bolo priebežne prezentovať výsledky, spresniť zadanie a na základe spätných väzieb upraviť niektoré parametre modelovania. Zároveň prebehla komunikácia s Referátom dátovej politiky a analýz (Ing.

Gabriela Hajduková), na základe ktorej bol sprístupnený vstup do mestského GIS portálu a poskytnuté relevantné priestorové dáta. Taktiež sme spolupracovali so spoločnosťou VVS, a.s. za účelom sprístupnenia dát kanalizačnej siete pre záujmové územie.

Na lokalite Račí potok bolo zadanie významne rozšírené o podrobný geodetický zber dát v teréne – realizovalo sa pozemné laserové skenovanie (TLS), mapovanie krajiny pokrývky dronom a zber údajov o priepustoch, jazierkach a hrádzach. Výsledkom bolo precíznejšie výškové modelovanie retenčných objektov a úprava vstupného digitálneho modelu terénu. Na základe konzultácií boli vytvorené dodatočné hrázde a retenčné objemy sa simulovali pri rôznych úrovniach naplnenia (30 %, 50 %, 95 %). Okrem pôvodne predpokladaných dvoch scenárov simulácií boli vygenerované ďalšie kombinácie, čo viedlo k celkovo 7 scenárom pre Račí potok.

V prípade lokality Terasa bolo pôvodne plánované modelovanie pri rôznych intenzitách zrážok a úrovniach funkčnosti kanalizačných vpustí. V dôsledku absencie priestorových údajov o vnútornej štruktúre kanalizačnej siete (trasy, priemery, vyústenia) nebolo možné túto zložku zohľadniť ako hydraulický prvok – infiltrácia do vpustí bola teda modelovaná ako plošný jav pri 50 % a 100 % účinnosti.

Namiesto pôvodne plánovaného počtu výstupov vzniklo spolu 18 nových 2D animácií a 7 3D animácií. Pre potreby plánovania a komunikácie boli výstupy štandardizované (farby, formáty, časové úseky) a doplnené o 2D mapy maximálnej hĺbky po 60 minútach zrážkovej udalosti pre všetky hlavné scenáre. Tieto úpravy boli nevyhnutné na zabezpečenie vyššej spoľahlivosti modelovania a posilnili praktický prínos projektu pre rozhodovanie v územnom plánovaní a ochrane pred prívalovými povodňami.

1.2 Záujmové územia

Na základe výberu a špecifikácie Magistrátu mesta Košice boli pre účely modelovania prívalových povodní definované dve záujmové územia (Obr. 1), ktoré reprezentujú odlišné hydrologické a urbanistické podmienky:

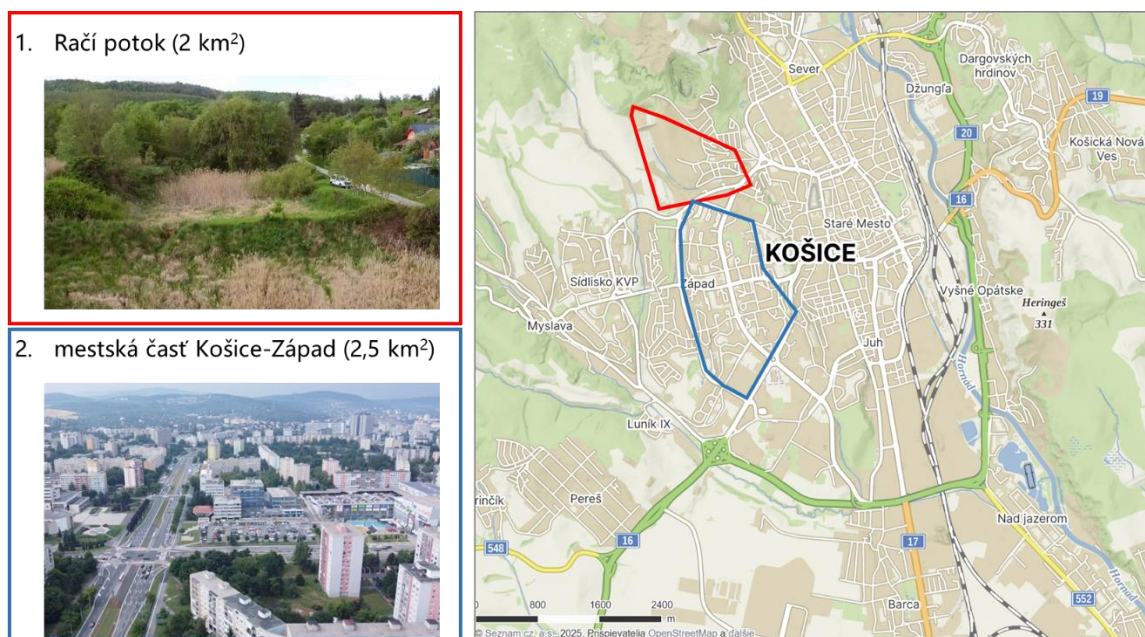
1. Časť povodia Račieho potoka (približne 2 km²)

Územie sa nachádza na severozápadnom okraji mesta Košice v mestskej časti Košice-Sever. Územie predstavuje hornú časť povodia občasného toku tzv. Račieho potoka, ktoré je prechodom medzi prírodným a urbanizovaným prostredím Košíc. Dominujú tu lúky a záhradky, v dolnej časti sa nachádza trvalo obývaná zástavba. Račí potok zohráva dôležitú ekosystémovú a rekreačnú funkciu. V minulosti tu existovalo prírodné jazierko a stabilné vodné toky, ktoré poskytovali vhodné prostredie pre výskyt rýb, rakov, vodného vtáctva a obojživelníkov. V hornej časti povodia sa nachádzajú retenčné jazierka a malé hrádzky, ktoré boli vybudované najmä na spomalenie odtoku povrchovej vody a banských vôd z lokality Bankov a na zníženie rizika erózie pôdy. Ich súčasný technický stav a kapacita zohrávajú kľúčovú úlohu pri reakcii územia na extrémne zrážkové udalosti. Dolná časť povodia je postupne urbanizovaná, a teda aj potenciálne ohrozená prívalovými prietokmi. V posledných rokoch lokalita čelila negatívnym zásahom – degradácii biotopov, nánosom odpadu a úbytku vody, čo výrazne ovplyvnilo jej ekologický stav. V reakcii na túto situáciu boli uskutočnené čistiacie práce a odstránenie nelegálnej skládky, do ktorých sa zapojilo aj mesto a dobrovoľníci. V súčasnosti sa územie javí ako vhodný cieľ revitalizačných aktivít, zameraných na zlepšenie retenčnej schopnosti, podporu biodiverzity a obnovenie vodných tokov ako súčasti zelenej

infraštruktúry mesta. V rámci projektu bola oblasť Račieho potoka modelovaná s cieľom posúdiť správanie sa povrchového odtoku pri extrémnych zrážkach a rôznych scenároch naplnenia retenčných prvkov (30 %, 50 %, 100 %). Výstupy zo simulácií umožňujú identifikovať najviac ohrozené časti a slúžia ako podklad pre navrhovanie prírode blízkych adaptačných opatrení a zlepšenie dlhodobej ekologickej funkcie územia.

2. Mestská časť Západ – Terasa (približne 2,5 km²)

Druhé záujmové územie zahŕňa rovinatú časť mesta Košice približne vymedzenú ulicami Popradská, Moldavská, Ipeľská a Považská. Terasa je jednou z najhustejšie urbanizovaných oblastí mesta Košice, ktorá vznikla ako plánovaná sídlisková štruktúra v 60. a 70. rokoch 20. storočia. Územie má vysoký podiel spevnených plôch (cesty, parkoviská, chodníky) a nízky podiel nezastavaných vsakovacích plôch, čo významne obmedzuje prirodzený vsakovací proces a zvyšuje riziko povrchového zaplavovania počas prívalových dažďov. Odvod dažďových vôd je v tejto lokalite pre malé prevýšenie územia plne závislý od kapacity kanalizačnej siete a funkčnosti dažďových vpustí. Už aj pri miernom znížení účinnosti infraštruktúry (napr. upchatie listami či nánosmi) môže dôjsť k rýchlemu hromadeniu vody na povrchu, najmä na križovatkách, v priehlbinách a v okolí objektov občianskej vybavenosti. Územie zahŕňa hustú sieť obytných blokov, obchodných prevádzok, školských zariadení a ciest s vysokou intenzitou dopravy. Z hľadiska civilnej ochrany ide o citlivé prostredie, kde aj krátkodobý výpadok odvodňovacieho systému môže mať významné dopady na každodenný chod mesta a bezpečnosť obyvateľstva. V rámci simulácií boli analyzované scenáre s intenzitou zrážok 50 mm/h a 100 mm/h, pri rôznych úrovniach funkčnosti kanalizácie (100 % a 50 % priepustnosť). Modelovanie umožnilo identifikovať lokality s najväčšou pravdepodobnosťou výskytu povrchového zaplavenia a tiež odhadnúť čas potrebný na odvodnenie územia po ukončení zrážky. Výsledky poskytujú konkrétne a lokalizované informácie, ktoré možno využiť pri optimalizácii údržby kanalizačnej siete, plánovaní doplnkových retenčných riešení a zvyšovaní odolnosti územia voči prívalovým zrážkam.



Obr. 1 Lokalizácia záujmových územia v rámci mesta Košice. Mapový podklad © OpenStreetMap.

1.3 Očakávané výstupy a prínos

Cieľom spracovaných výstupov bolo vytvoriť vizuálne aj analyticky využiteľné nástroje, ktoré podpora mestské plánovanie, zvyšovanie odolnosti územia a efektívne manažovanie rizík spojených s privalovými zrážkami. V rámci úlohy boli realizované:

- Simulácie priebehu privalových povodní v dvoch lokalitách (Račí potok, Terasa) pri viacerých scenároch – rôzna intenzita zrážok, rôzne úrovne naplnenia retenčných nádrží alebo funkčnosti kanalizačných vpustí,
- 2D mapové výstupy zachytávajúce maximálnu hĺbku zaplavenia po 60 minútach modelovanej udalosti,
- časové 2D animácie šírenia vody v 5-minútovom kroku s jednotnou symbolikou naprieč všetkými scenármi,
- 3D vizualizácie dopadu povodňových udalostí pre lepšie sprostredkovanie informácií širokej verejnosti a zástupcom samosprávy.

Výsledky sú určené pre:

- identifikáciu najkritickejších miest z hľadiska náchylnosti na zaplavenie,
- kvantifikáciu retenčnej kapacity existujúcich a potenciálnych technických opatrení,
- plánovanie zásahov v teréne s ohľadom na možnosť simulovať účinok úprav ešte pred ich realizáciou,
- komunikáciu so zainteresovanými aktérmi, vrátane obyvateľov dotknutých lokalít, formou vizuálne zrozumiteľných výstupov.

Dôraz bol kladený na využitie otvorených nástrojov a dát (model *r.sim.water* v prostredí GRASS GIS), ktoré zaručujú vedeckú overiteľnosť a tak odbornú dôveryhodnosť umožňujúce opakovanie simulácií v budúcnosti s novými vstupmi.

Výstupy majú priamy prínos pre:

- územné plánovanie a rozhodovanie o investíciách do zelenej infraštruktúry,
- návrh úprav terénu a odvodňovania,
- posilnenie pripravenosti mesta na extrémne zrážkové udalosti v kontexte meniacej sa klímy,
- plánovanie opatrení v oblasti civilnej ochrany, vrátane aktualizácie evakuačných plánov, označenia rizikových miest a optimalizácie reakčných scenárov pri krízových situáciách.

2. Metodika a použité technológie

Modelovanie povodní z prívalových zrážok pre územie mesta Košice bolo založené na kombinácii viacerých typov geopriestorových a výškových dát, ktoré zabezpečili vysokú presnosť výpočtov. Základným vstupom bol digitálny model reliéfu (DMR) odvodený z leteckého laserového skenovania (LLS) s rozlíšením 1 meter pre oblasť Račieho potoka a 0,5 metra pre mestskú časť Terasa. Tieto dáta, poskytované ÚGKK SR (stav k aprílu 2021), predstavujú štandardizovaný a verejne dostupný zdroj výškových údajov pre celé územie Slovenska s vysokou úrovňou geometrického detailu.

Pre lokalitu Račí potok bolo mračno bodov LLS doplnené o body z pozemného laserového skenovania (TLS), ktoré sa realizovalo v oblasti retenčných jazierok a hrádzí (4.3.2025). Celkovo bolo vykonaných 25 skenovacích pozícií, ktoré vygenerovali približne 338 miliónov bodov. Tieto dáta umožnili presnejšie modelovanie tvaru a objemu jazierok a ich okolia. Na validáciu výškovej presnosti boli v teréne uskutočnené merania pomocou metódy globálnej navigácie satelitnými systémami s korekciami SKPOS v reálnom čase (RTK GNSS, absolútna presnosť 1-2 cm) a elektronickej tachymetrie (absolútna presnosť 1-2 cm). Zameranie dna jazierok, hrádzí a priepustov (28.3.2025) taktiež umožnilo spresniť vstupné objemové kapacity pre simulácie (Obr. 2).

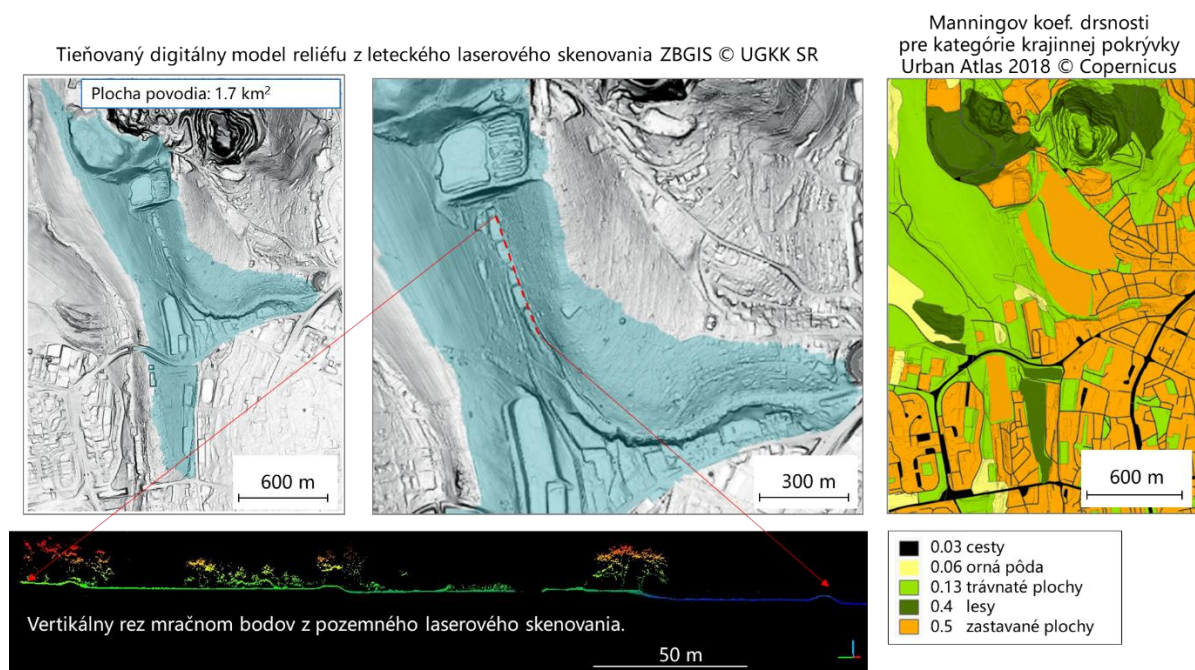


Obr. 2. Ukážka realizácie zameranie dna jazierok, hrádží a priepustov priamo v teréne 28.3.2025.

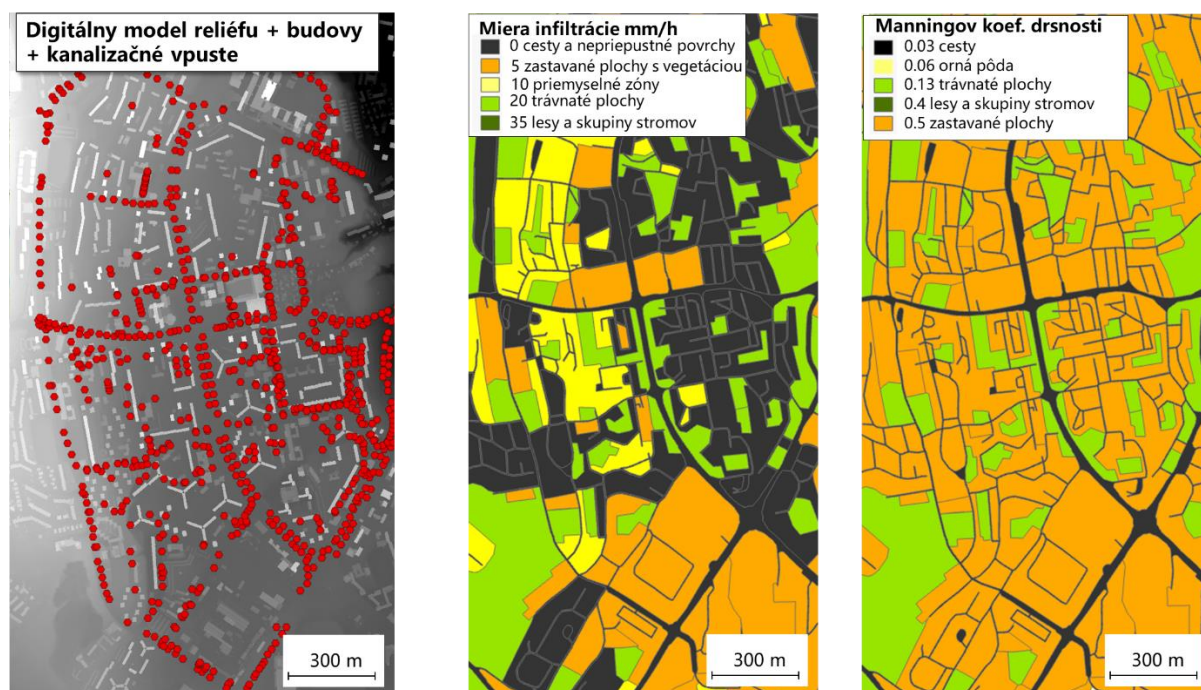
Doplňujúce údaje o krajinej pokrývke na lokalite Račí potok boli získané prostredníctvom mapovania drónom DJI Phantom Pro 4. Výsledná ortofotomozaika bola použitá na overenie a prípadnú úpravu údajov z vrstvy URBAN ATLAS 2018, ktorá poskytuje klasifikáciu typov povrchov s rozlíšením 10 metrov. Tieto informácie boli kľúčové pre správne nastavenie parametrov infiltračnej schopnosti a drsnosti povrchu, ktoré vstupujú do hydrologického modelu.

Dôležitú úlohu zohrávali aj údaje o infraštruktúre, konkrétne o kanalizačnej sieti. Dáta boli poskytnuté Východoslovenskou vodárenskou spoločnosťou (VVS, a.s.) a Referátom dátovej politiky a analýz Magistrátu mesta Košice. Údaje o polohe kanalizačných vpustí boli v teréne doplnené a spresnené pomocou RTK GNSS meraní priamo v teréne na lokalite Terasa, čo

umožnilo zhodnotiť ich rozmiestnenie a účinnosť pri odvádzaní zrážkovej vody. Obrázky 3 a 4 ilustrujú základné vstupné dáta.



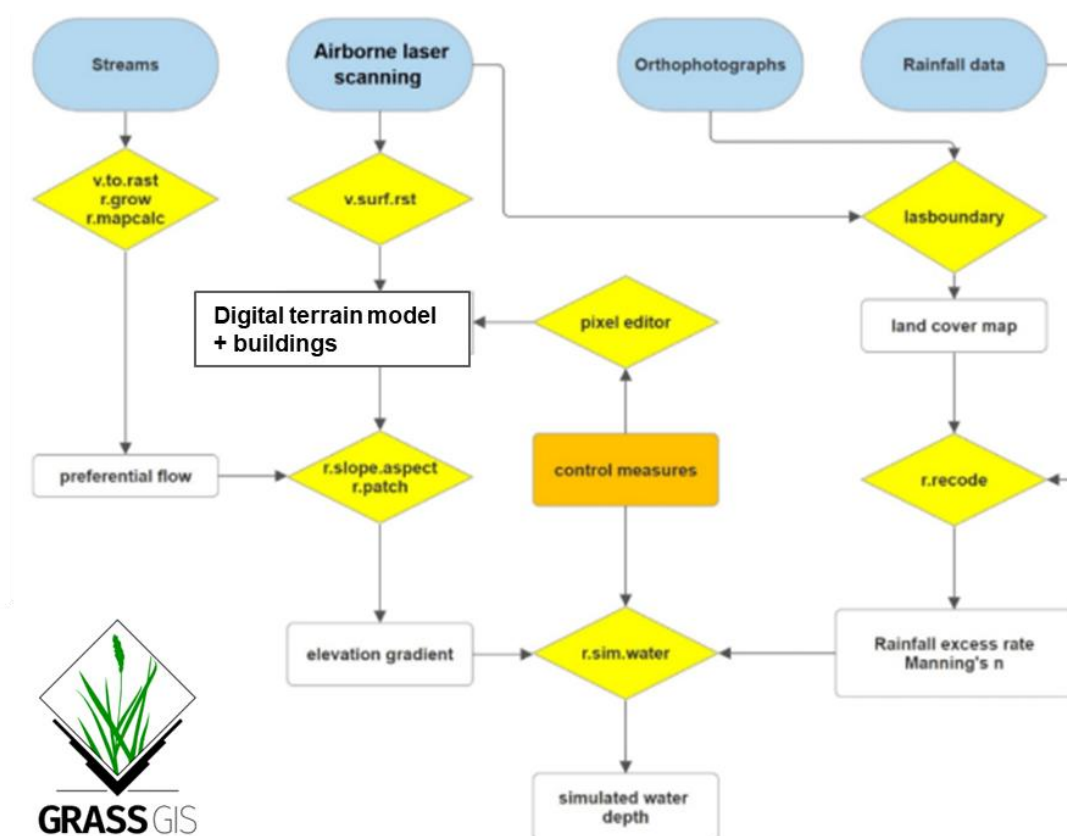
Obr. 3 Ukážka detailnosti vstupných dát pre simuláciu povodní na lokalite Rač potok.



Obr. 4 Ukážka vstupných dát pre simuláciu povodní na lokalite Terasa (Košice-Západ).

Samotné modelovanie bolo realizované v prostredí GRASS GIS, kde bol využitý fyzikálno-numerický model *r.sim.water* (<https://grass.osgeo.org/grass-stable/manuals/r.sim.water.html>). Tento model simuluje 2D povrchové prúdenie vody s prihliadnutím na topografiu, infiltračné vlastnosti a drsnosť povrchu. Simulácie prebiehali v 5-minútových krokoch počas jednej hodiny, čo umožnilo sledovať priestorovo-časový vývoj povodňovej vlny pre rôzne scenáre

(Obr. 5). Model r.sim.water je vedecky overený a využívaný v hydrologických aplikáciách v medzinárodnom kontexte a podrobne zdokumentovaný v publikáciách (Mitas & Mitasova 1998; Hofierka et al. 2002, 2015, 2017; Tokarčík & Hofierka 2024).



Obr. 5. Schéma pracovného postupu použitá na základe publikácie Tokarčík a Hofierka (2024).

Podrobnosti ohľadom nastavenia simulácií povodní sú nasledovné:

Simulované zrážkové scenáre:

V modeloch boli použité tri intenzity príválových zrážok, reprezentujúce rôzne úrovne extrémnosti udalostí:

- 30 mm/h, 50 mm/h, 100 mm/h
- Simulovaná dĺžka zrážkovej udalosti bola 60 minút, pričom výpočet prebiehal v 5-minútových intervaloch. Pre lepšiu predstavivosť, scenár pri 30 – 50 mm zrážok za hodinu približne zodpovedá búrkam začiatkom júna 2025, ktoré spôsobili [záplavy v Revúcej, Tisovci alebo Kežmarku](#). Intenzitu zrážok 100 mm za hodinu dosiahli [príválové dažde v okolí Valencii v Španielsku](#) v októbri 2024.

Retenčné objemy a infiltrácia:

- **Račí potok:** Simulované boli tri úrovne predbežného naplnenia retenčných jazierok:
 - 30 % (nízke naplnenosť), 50 % (stredné naplnenosť), 95 % (takmer plné pred začiatkom zrážky)
 - Taktiež boli do modelu zahrnuté umelo vytvorené hrádze s cieľom overiť ich efekt na zadržiavanie vody a ochranu pred záplavami.
- **Terasa:** Modelovaná bola priepustnosť kanalizačných vpustí ako hlavného prvku odvádzajúceho dažďovú vodu zo spevnených plôch:

- 0 % (preťaženie alebo znefunkčnenie kanalizačnej siete), 50% a 100 % (fungujúca kanalizácia, ideálny stav)

Pre obidve lokality bola zohľadnená parametrizáciu drsnosti povrchu podľa typu krajiny pokrývky (Manningove koeficienty drsnosti - Obr. 2), infiltrácia zrážkovej vody bola nastavená podľa nulová (nasýtený povrch), a zohľadnené boli aj existujúce bodové a líniové bariéry, vrátane hrádzí, rigolov a komunikácií. Na lokalite Račí potok bol simulovaný aj scenár s umelo doplnenými prvkami ako návrhy opatrení s cieľom otestovať ich účinnosť pri zmierňovaní povodňovej vlny.

Výsledkom simulácií sú:

- časové série máp hĺbky vody (2D animácie),
- 3D animácie šírenia povrchového toku vody v čase,
- mapy maximálnych hĺbok zaplavenia po 60 minútach zrážok pre každý hlavný scenár.

3. Výsledky

Modelovanie prívalových povodní prinieslo prakticky využiteľné výstupy, ktoré umožňujú identifikovať ohrozené oblasti, hodnotiť efektivitu navrhovaných opatrení a vizualizovať priebeh extrémnych zrážkových udalostí. Výsledky sú prezentované samostatne pre dve záujmové lokality: Račí potok a mestskú časť Terasa. Ide o dátové sady v podobe mapových (2D) animácií a animácií v 3D perspektíve zobrazujúcich záujmové územia. Zadávatel' môže stiahnuť prostredníctvom zaslaného linku na email kontaktnej osoby magistrátu.

3.1 Lokalita Račí potok

Modelované územie s rozlohou približne 2 km² zahŕňa hornú časť povodia Račieho potoka, kde sa nachádza sústava suchých poldrov a jazierok, a dolnú časť s urbanizáciou a radovými garážami, ktoré boli identifikované ako kritické body. Územie má zároveň ekosystémový význam – predstavuje potenciálny biokoridor s historickým výskytom vodných živočíšnych druhov a rastlínstva. Revitalizáciou tejto lokality možno posilniť modro-zelenú infraštruktúru mesta a zlepšiť retenciu (zadržiavanie) zrážkových vôd v krajine.

Scenáre simulácie

- **Zrážkové úhrny:** 30 mm, 50 mm a 100 mm za 1 hodinu
- **Stav jazierok:** naplnenie na 30 %, 50 % a 95 %
- **Infiltrácia:** nulová – nasýtený povrch
- **Priebežné úpravy:** doplnenie hrádzí, vybudovanie rigolu pred garážami, návrh ochranného násypu

Výsledky simulácií

- **Zaplavenie dolných častí územia** nastáva najmä pri kombinácii 50 mm zrážok a 95 % naplnenia jazierok.
- **Retenčné jazierka 1, 3 a 4** preukázali najväčší efekt po úprave prehradením (pridanie hrádzí).

- Simulácie ukázali, že aj **pri 30 % naplnení** majú jazierka zmysel – oddiaľujú a rozkladajú povodňovú vlnu (Obr. 6).
- **2D a 3D výstupy** vizualizujú šírenie povodňovej vlny a rozsah zaplavenia, sú využiteľné na komunikáciu rizík.
- **Technické opatrenia**, ako rigol, násyp či čistenie priepustov, znižujú riziko zatopenia garáží nezávisle od objemu jazierok.



Obr. 6. Ukážka simulácie povodne v dvoch scenároch pre lokalitu Račí potok.

3.2 Lokalita Terasa

Charakteristika územia

Mestská časť Košice – Západ (Terasa) predstavuje rovinaté, husto urbanizované územie s výraznou závislosťou na funkčnosti kanalizačnej siete. Priestorová štruktúra zástavby, povrchov (asfalt, betón, strechy) a vpustí dažďovej kanalizácie vytvára predpoklady na rýchle zaplavenie ulíc pri intenzívnych zrážkach.

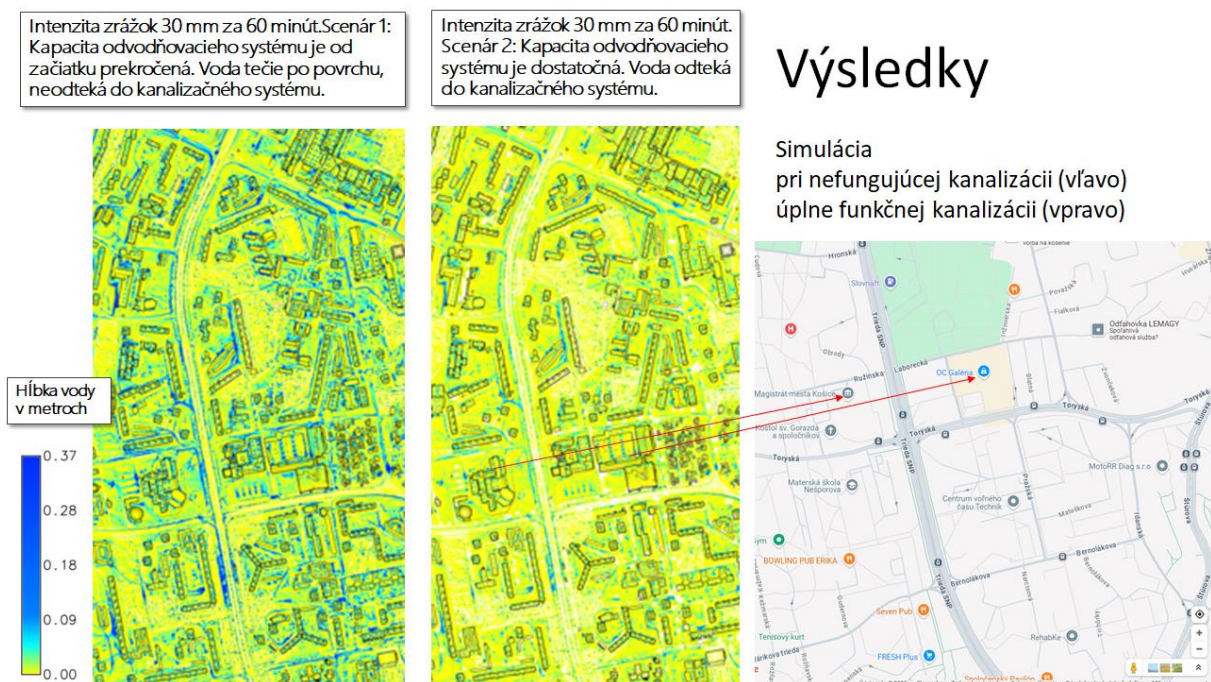
Scenáre simulácie

- **Zrážkové úhrny:** 50 mm a 100 mm za 1 hodinu
- **Priepustnosť kanalizačných vpustí:** 0 %, 50% a 100 %
- **Infiltrácia:** podľa krajinej pokrývky, s priestorovým rozlíšením 10 m
- **Obmedzenia:** kanalizačná sieť nebola modelovaná 3D hydraulicky kvôli chýbajúcim údajom o trase, vyústeniach a dimenziách potrubí. V 2D hydrodynamickom modelovaní boli využité kanalizačné vpuste ako miesta infiltrácie vody do kanalizačnej siete.

Výsledky simulácií

- **Zaplavenie ulíc** nastáva už pri 50 mm zrážkach pri 50 % funkčnosti vpustí, najmä v miestach ich nedostatočnej hustoty.

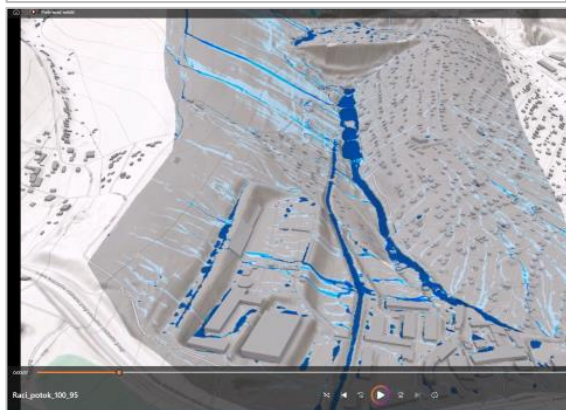
- Simulácie pri 100 mm zrážkach preukázali kritické miesta aj pri plnej funkčnosti kanalizačnej siete (Obr. 7).
- **Neúplnosť vrstvy vpustí** bola potvrdená terénnym zberom, chýbajúce body boli doplnené a lokalizované pomocou RTK GNSS.
- Výsledky poukazujú na potrebu **verifikácie a aktualizácie kanalizačnej infraštruktúry** v databázach mesta.
- Výstupy , ktoré predstavujú dátové súbory na stiahnutie (Obr. 8) sú dostupné prostredníctvom linku na „https://uge-share.science.upjs.sk/webshared/2025_simulacia_povodne_MMKE/“ a zhrnuté v Tab. 1.



Obr. 7. Ukážka simulácie povodne v dvoch scenároch pre lokalitu Terasa (Košice-Západ).

Tab. 1. Zoznam výstupov dodaných v rámci realizácie objednávky zhotoviteľom

TS_3D_Animacie_final	zip	364 933 881	30.06.2025 16:02
TS_2D_mapy_format_A2	zip	188 566 926	30.06.2025 16:04
TS_2D_Animacie	zip	108 309 422	30.06.2025 16:06
RP_3D_Animacie_final	zip	211 045 795	30.06.2025 16:02
RP_2D_mapy_format_A2	zip	342 875 838	30.06.2025 16:04
RP_2D_Animacie_povodny_stav	zip	1 043 370 234	30.06.2025 15:55
RP_2D_Animacie_po_uprave	zip	372 169 412	30.06.2025 16:05
AquaUrban_Prez_UPJS_Kosice_Institute of Geograp..	pptx	70 267 336	16.05.2025 01:01



Obr. 8. Ukážky pripravených dátových výstupov v podobe máp a animácií v 3D perspektíve.

3.3. Spoločný workshop s partnermi projektu AquaUrban v Nyíregyháza

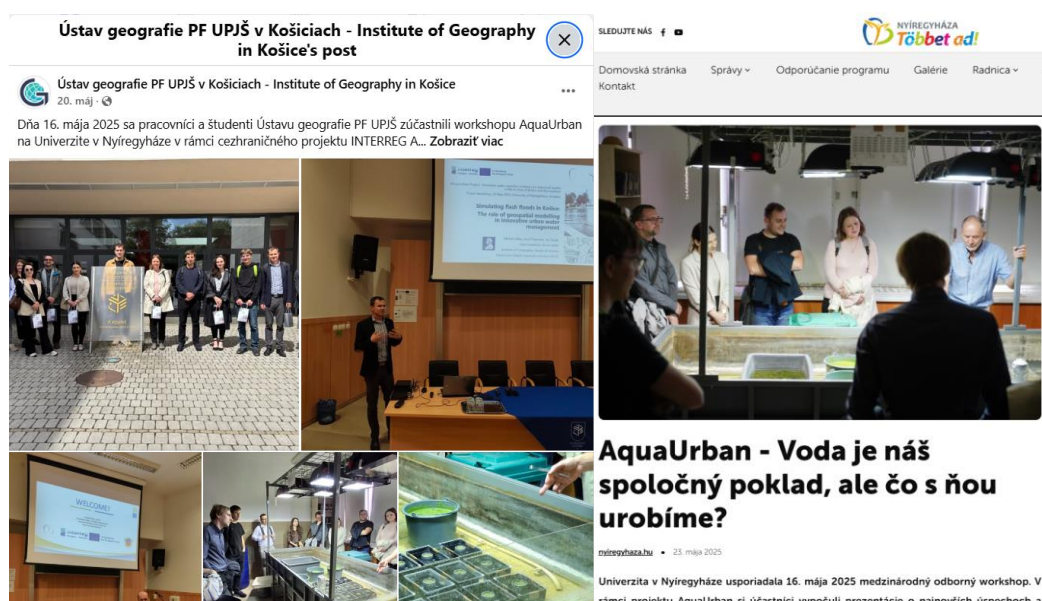
V súlade so zadaním zákazky sa dňa 16. mája 2025 sa 14 pracovníci a študenti Ústavu geografie Prírodovedeckej fakulty UPJŠ v Košiciach zúčastnili [odborného workshopu AquaUrban](#) na Univerzite v Nyíregyháze. Podujatie bolo súčasťou cezhraničného projektu INTERREG AquaUrban, ktorý spoločne realizujú Magistrát mesta Košice a [Magistrát mesta Nyíregyháza](#) a zameriava sa na problematiku manažmentu vôd a adaptácie miest na zmenu klímy (Obr. 9). Akademické inštitúcie sa na projekte podieľa ako odborný partner – garantom za slovenskú stranu bol Ústav geografie PF UPJŠ pod vedením doc. Michala Gallaya, ktorý na workshope prezentoval čiastkové výsledky simulácií prívalových dažďov pre územie mesta Košice, realizované ako súčasť zadania od Magistrátu mesta Košice. Program workshopu zahŕňal:

- prezentácie riešiteľských tímov oboch univerzít k výskumu a aplikáciám v oblasti povrchového odtoku, ekologických riešení a klimatickej adaptácie,
- odborné prednášky výskumníkov z Univerzity v Nyíregyháze o využití vodných rastlín pri dekontaminácii povrchových vôd,
- návštevu výskumných laboratórií univerzity a diskusiu so zástupcami samosprávy.

Podujatia sa zúčastnili aj zástupcovia Magistrátu mesta Nyíregyháza a rektor Univerzity v Nyíregyháze prof. György Szabó. Ústav geografie PF UPJŠ reprezentovali:

- akademickí pracovníci: Alena Gessert, Ján Šašak, Jozef Šupinský, Michaela Nováková, Katarína Onáčillová, Imrich Sládek,
- doktorandi: Daniela Buchalová, Nikola Svetozarov, Petra Dávidová, Anton Uhrin,
- študenti: Nela Mária Skurkaiová, Maroš Schewczuk, Jakub Mikloš.

Účasť na workshope bola pre našich študentov i mladých výskumníkov významnou odbornou skúsenosťou, ktorá im umožnila prezentovať výsledky v medzinárodnom prostredí, nadviazať nové kontakty a prehĺbiť poznatky v oblasti environmentálneho modelovania. Podujatie zároveň prispelo k lepšiemu prepojeniu výskumu s praxou a plánovaniu ďalšej spolupráce medzi partnerskými inštitúciami.



Obr. 9. Ukážka zabezpečenia publicity účasti na spoločnom workshope v Nyíregyháze.

4. Odporúčania a závery

Odporúčania pre lokalitu Račí potok

Simulácie prívalových zrážok na lokalite Račí potok preukázali, že aj napriek existujúcim retenčným prvkom dochádza pri silných zrážkových udalostiach k zaplaveniu dolných častí územia, najmä v okolí garáží. Tieto závery vyplývajú najmä zo scenárov s 50 mm úhrnom a 95 % naplnením retenčných jazierok. Okrem morfológických problémov koryta a obmedzenej kapacity poldrov sa na riziku podieľa aj prítok vody z horných svahov a zástavby. Na základe týchto zistení navrhujeme súbor technických a organizačných opatrení, ktoré môžu výrazne zlepšiť povodňovú odolnosť územia.

1. Úpravy retenčných prvkov a koryta:

- Prehlbenie a vyčistenie koryta od retenčných jazierok po poslednú rúru pri zaústení do Myslavského potoka, čím sa zníži riziko vzdutia a upchatia toku.
- Vybudovanie nových hrádzi na jazierkach č. 1, 3 a 4. Hrádze by mali byť navrhnuté tak, aby boli aspoň 20 cm pod úrovňou najbližšej komunikácie.
- Zavedenie systému automatického odpúšťania jazierok pri 95 % naplnení – odporúčame minimálne 30 % otvorenie stavidla, aby sa predišlo pretečeniu.

2. Terénne úpravy v kritických bodoch:

- Vytvorenie ochranného násypu na hornom toku nad jazdiarňou, ktorý zabráni prieniku vody k rizikovým objektom a smeruje ju späť do toku.
- Vybudovanie rigolu pred radom garáží – odporúčaný profil 2 m šírka a 0,5 m hĺbka – na odvedenie vody zo znížených častí komunikácie.
- Odstránenie prekážok v toku, ako sú násypy, nefunkčné mostíky a dočasné štruktúry, ktoré spôsobujú zadržiavanie vody a sedimentáciu.

3. Zlepšenie údržby a monitorovania:

- Zaviesť pravidelnú údržbu hrádzi, priepustov a rigolov – prednostne po prívalových dažďoch.
- Skontrolovať a zosúladiť dimenzie kanalizačných rúr v celej dolnej časti povodia – v niektorých miestach sa líšia, čo spôsobuje spätné vzdutie a lokálne zaplavenie.

4. Právny a územnoplánovací rámec:

- Aktualizovať územný plán s ohľadom na záplavové riziká – obmedziť novú výstavbu v blízkosti koryta.
- Preveriť právny stav objektov (napr. garáží), ktoré sa nachádzajú v koridore toku alebo v jeho bezprostrednej zátopovej zóne.

5. Ekosystémová funkcia a rekreačný potenciál:

- Realizovať ekologickú revitalizáciu brehového pásma formou výsadby pôvodných druhov rastlín, zachovania mäkkého prechodu medzi vodnou a suchozemskou zónou a vytvorením otvorených slnečných miest dôležitých pre termoreguláciu obojživelníkov (Vargová et al., 2023).
- Zachovať alebo obnoviť zelené pásy v okolí jazierok, ktoré podporujú pohyb, úkryt a výživu vodných živočíchov a zároveň prispievajú k znižovaniu teploty v mestskom prostredí.

- Udržať ekologickú konektivitu medzi vodným a suchozemským prostredím, čím sa podporí prežitie všetkých vývinových štádií obojživelníkov.
- Umiestniť jednoduché kamenné štruktúry (napr. lavičky, múriky) v okolí vodných plôch, ktoré slúžia ako úkryt pre živočíchy aj ako rekreačný mobiliár pre návštevníkov.
- Podporiť napojenie lokality na pešie a rekreačné trasy (napr. smerom na Bankov), čím sa zvýši využitie územia ako prírodného parkového priestoru so synergickým ekologicko-rekreačným efektom.

Odporúčania pre lokalitu Terasa

Modelovanie povodňových scenárov v urbanizovanej lokalite Terasa poukázalo na viacero úsekov s potenciálne rizikovou akumuláciou zrážkových vôd. Problémy boli identifikované najmä v oblastiach so zníženou priepustnosťou povrchov, neúplnými údajmi o kanalizačnej infraštruktúre a nedostatočnou kapacitou odvodňovacích systémov. Simulácie pritom zohľadňovali rôzne intenzity zrážok (50 mm a 100 mm za hodinu) aj funkčnosť kanalizačných vpustí (50 % a 100 %). Výsledky ukazujú, že napriek určitej schopnosti systému odvádzať vodu, zostávajú niektoré plochy ohrozené, najmä v prípade extrémnych zrážok. Na zlepšenie povodňovej odolnosti sídliska Terasa odporúčame:

1. Overenie a doplnenie vstupných údajov:

- Verifikovať úplnosť a presnosť GIS vrstiev o kanalizačných vpustiach v teréne – v rámci simulácií sa ukázalo, že niektoré vpuste chýbajú alebo sú nesprávne lokalizované.
- Doplniť priestorové a technické údaje o trasách, sklone a priemere odvodňovacích rúr, ktoré v čase modelovania neboli k dispozícii.

2. Optimalizácia odvodňovacej siete:

- Na základe simulácií identifikovať oblasti s nadmerným hromadením vody a preskúmať možnosti doplnenia alebo rozšírenia existujúcich kanalizačných vpustí.
- Preveriť hydraulickú kapacitu jednotlivých úsekov siete – najmä napojenie na hlavné zberače, kde môže dochádzať k preťaženiu systému.

3. Preventívne a prírode blízke opatrenia:

- V územiach s vysokým podielom nepriepustných povrchov zvážiť zavedenie prírode blízkeho opatrenia ako dažďové záhrady, vsakovacie pruhy alebo priepustné spevnené plochy.
- Podporiť inštaláciu vegetačných striech, retenčných nádrží na dažďovú vodu pri väčších objektoch (školy, nákupné centrá).

4. Plánovanie a údržba:

- Zabezpečiť pravidelnú kontrolu a čistenie kanalizačných vpustí, najmä pred a počas obdobia výdatných dažďov.
- Pri rekonštrukciách komunikácií a spevnených plôch zohľadniť možnosti zadržiavania a kontrolovaného odvádzania dažďovej vody.

5. Dlhodobé strategické opatrenia:

- Zvážiť doplnenie digitálneho modelu kanalizácie a jeho integráciu do mestského GIS, čím sa zlepší predikcia a manažment rizikových situácií.
- Vyhodnotiť územia s opakujúcim sa rizikom lokálnych záplav pre prípadnú úpravu územnoplánovacích regulatívov alebo ich preklasifikovanie (napr. zo stavebných parciel na zelenú infraštruktúru).

5. Záver a zhrnutie

Predložená správa sumarizuje výsledky geoinformačného modelovania prívalových zrážok pre dve záujmové územia mesta Košice – Račí potok a mestskú časť Západ – Terasa. Cieľom bolo identifikovať kritické miesta náchylné na zaplavenie, kvantifikovať účinnosť existujúcich a navrhnutých opatrení, a pripraviť výstupy využiteľné pre strategické rozhodovanie mesta v oblasti ochrany pred prívalovými povodňami.

Modelovanie bolo realizované pomocou fyzikálne založeného nástroja r.sim.water v prostredí GRASS GIS, ktorý umožňuje simuláciu 2D prúdenia vody v závislosti od topografie, infiltračných vlastností povrchu a špecifických opatrení ako sú hrádze, rigoly či kanalizačné vpuste. Simulácie prebiehali vo vysokom časovom a priestorovom rozlíšení počas 60 minútovej extrémnej zrážkovej udalosti, v rôznych scenároch intenzity zrážok a funkčnosti retenčných prvkov.

V lokalite Račí potok sa preukázalo, že pri vysokom naplnení retenčných jazierok a intenzívnych zrážkach dochádza k zaplaveniu dolných častí územia, najmä pri rade garáží. Okrem toho sa identifikovali technické obmedzenia existujúcich poldrov, zanesenie koryta a chýbajúce opatrenia na hornom toku. Výsledkom boli konkrétne návrhy na zlepšenie retencie, ochranu objektov a ekologickú revitalizáciu územia.

V prípade lokality Terasa sa potvrdili viaceré problematické zóny v oblasti zhromažďovania vody pri nadmernej zrážkovej záťaži, pričom najvyššia zraniteľnosť bola zaznamenaná v okolí Triedy SNP a pri školských areáloch. Absencia detailných údajov o vnútornej kanalizačnej infraštruktúre bola čiastočne kompenzovaná modelovaním plošnej infiltrácie cez kanalizačné vpuste. Výsledky poukazujú na potrebu validácie v teréne a prípadného doplnenia vstupných údajov pre presnejšie plánovanie.

Výstupy projektu zahŕňajú:

- 2D a 3D animácie simulovaného rozšírenia vody v čase,
- mapy maximálnej hĺbky zaplavenia pre jednotlivé scenáre,
- odporúčania pre technické, územnoplánovacie a ekologické zásahy.

Výstupy simulácií predstavujú informatívne výsledky modelovania možných scenárov povrchového odtoku počas extrémnych zrážok. Nejde o technickú projektovú dokumentáciu ani o inžiniersky návrh – výsledky sú závislé od vstupných podmienok a pri ich zmene (napr. v intenzite zrážok, stave povrchu či retenčných prvkoch) by simulácie mohli priniesť odlišné výsledky. Autori nie sú autorizovaní hydrológovia ani projektanti, cieľom modelovania bolo identifikovať problémové miesta a podporiť strategické plánovanie v oblasti manažmentu dažďovej vody. Výsledky preto nemožno interpretovať ako presnú predikciu výšky hladiny či času zaplavenia, ale ako kvalitatívny podklad pre rozhodovanie.

Tieto výsledky sú podkladom pre strategické plánovanie investícií do zelenej infraštruktúry, civilnej ochrany, územného plánovania a zvyšovania klimateckej odolnosti mestského prostredia.

6. Použitá literatúra

1. Mitas, L., Mitasova, H. (1998). Multi-scale Green's function Monte Carlo approach to erosion modelling and its application to land-use optimization. In: Summer W., Klaghofer E., Zhang W. (eds.), *Modelling soil erosion, sediment transport and closely related hydrological processes*, IAHS Publication, Wallingford, pp. 81–90.
2. Hofierka, J., Mitasova, H., Mitas, L. (2002). GRASS and modeling landscape processes using duality between particles and fields. In: Ciolli M., Zatelli P. (eds.), *Open-source GIS - GRASS users conference 2002*, University of Trento, pp. 1–11.
3. Hofierka, J., Knutová, M. (2015). Simulating spatial aspects of a flash flood using the Carlo method and GRASS GIS: a case study of the Malá Svinka Basin (Slovakia). *Open Geosciences*, 7(1), 118–125. <https://doi.org/10.1515/geo-2015-0013>
4. Hofierka, J., Lacko, M., Zubal, S. (2017). Parallelization of interpolation, solar radiation and water flow simulation modules in GRASS GIS using OpenMP. *Computers & Geosciences*, 107, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2017.07.007>
5. Hofierka, J., Gallay, M., Bandura, P., Šašák, J. (2018). Identification of karst sinkholes in a forested karst landscape using airborne laser scanning data and water flow analysis. *Geomorphology*, 308, 265–277.
6. Tokarčík, O., Hofierka, J. (2024). Designing flash flood control measures for urban areas using the Monte Carlo water flow simulation. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 15(1), 2361806. <https://doi.org/10.1080/19475705.2024.2361806>
7. Vargová, V., Balogová, M., Pristašová, P., Kaňuch, P., & Uhrin, M. (2024). Spatiotemporal dynamics in the roosting ecology of the green toad: Implications for urban planning and nature conservation. *Journal for Nature Conservation*, 77, 126543. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2023.126543>