

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Stavebná fakulta
Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva

Ing. Andrea Raczková

**Rozhodovacia analýza flexibilných možností navrhovania
odvodnenia urbanizovaných území**

Autoreferát dizertačnej práce

Na získanie akademického titulu: philosophiae doctor

V doktorandskom študijnom programe: vodohospodárske inžinierstvo

V študijnom odbore: stavebníctvo

Forma štúdia: externá

Bratislava 2025

Dizertačná práca bola vypracovaná na Katedre zdravotného a environmentálneho inžinierstva Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.

Predkladateľ: **Ing. Andrea Raczková**

Stavebná fakulta STU

Radlinského 11

810 05 Bratislava

Školiteľ: **prof. RNDr. Ivona Škultétyová, PhD.**

Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva

Stavebná fakulta STU, Bratislava

Konzultant: **Ing. Réka Wittmanová, PhD.**

Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva

Stavebná fakulta STU, Bratislava

Autoreferát bol rozoslaný dňa:

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať 22.08.2025 o 10:00 hod. na Katedre zdravotného a environmentálneho inžinierstva Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Radlinského 11.

prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.

dekan Stavebnej fakulty STU v Bratislave

1	Úvod	4
2	Ciele dizertačnej práce.....	5
3	Experimentálna časť	6
3.1	Metodologický rámec	6
3.2	Analýza východiskových podmienok záujmového územia	7
3.2.1	Charakteristika skúmanej lokality.....	8
3.2.2	Hydrologické pomery	8
3.2.3	Súčasný systém odvodnenia	9
3.2.4	Urbanizovaná štruktúra záujmového územia	11
3.3	Simulačné modelovanie zrážkovo-odtokového procesu.....	12
3.3.1	ZS1 - Referenčný bezdažďový scenár	13
3.3.2	ZS2 - Scenár intenzívneho zrážkového impulzu	14
3.3.3	ZS3 - Scenár zelených striech.....	15
3.3.4	ZS4 - Scenár dažďových nádrží.....	15
3.3.5	ZS5 - Scenár s reálnou zrážkovou udalosťou (20.06.2020)	16
3.3.6	ZS6 – Scenár s reálnou zrážkovou udalosťou (14.04.2023).....	17
3.3.7	ZS7 – referenčný bezdažďový scenár pre verifikácia modelu....	18
3.3.8	ZS8 – Scenár s reálnou zrážkovou udalosťou (29.03.2025).....	18
3.4	Viacriteriálne hodnotenie navrhovaných riešení	19
4	Diskusia	21
5	Záver.....	23
6	Literatúra	25
7	Publikačná činnosť	40

1 Úvod

Kým v prirodzenom prostredí dochádza k efektívnemu zadržiavaniu a postupnému uvoľňovaniu zrážkových vôd, v urbanizovaných oblastiach dominuje zrýchlený odtok spôsobený nepriepustnými povrchmi, čím sa výrazne znižuje infiltrácia do pôdneho prostredia, zvyšuje sa objem povrchového odtoku a narastá riziko lokálnych povodní [2, 3, 4]. Tradičné stokové systémy, na ktorých je manažment dažďovej vody v mestách dlhodobo založený, boli koncipované predovšetkým na efektívne a rýchle odvádzanie zrážkových vôd mimo urbanizovaného prostredia [5]. V kontexte zvyšujúcej sa frekvencie extrémnych hydrologických javov, ako sú príválové dažde či dlhodobé obdobia sucha, sa však ukazuje, že tento prístup je čoraz menej udržateľný a vyžaduje si zásadnú transformáciu. V posledných desaťročiach sa v rámci vedeckého diskurzu a environmentálnej politiky dostáva do popredia koncept udržateľného hospodárenia s dažďovou vodou, ktorý zdôrazňuje potrebu minimalizácie negatívnych dopadov urbanizácie na prirodzený vodný cyklus [6, 7]. Tento prístup spočíva v integrácii prírody blízких opatrení do mestského prostredia, čím sa umožňuje efektívnejšie riadenie dažďovej vody prostredníctvom jej infiltrácie, evapotranspirácie a dočasného zadržiavania v území [8]. Medzi kľúčové prvky takýchto systémov patria vegetačné strechy, dažďové záhrady, retenčné a vsakovacie plochy, priepustné komunikácie a iné opatrenia, ktoré umožňujú, aby sa dažďová voda stala súčasťou prírodného vodného režimu namiesto toho, aby bola neproduktívne odvádzaná kanalizačnými systémami.

Z hľadiska vedeckého výskumu a aplikovanej praxe je dôležité nielen implementovať konkrétne adaptačné opatrenia, ale aj rozvíjať efektívne analytické a rozhodovacie metódy, ktoré umožnia ich optimálny výber a kombináciu v konkrétnych podmienkach [9]. V tomto smere zohrávajú významnú úlohu metódy viackriteriálneho rozhodovania, umožňujúce komplexné hodnotenie rôznych alternatív na základe environmentálnych, ekonomických, technických a sociálnych faktorov. Medzi najpoužívanjšie metódy patrí Analytický hierarchický proces (AHP), ktorý umožňuje systematickú dekompozíciu rozhodovacieho problému na hierarchické úrovne, a metóda TOPSIS, ktorá na základe vzdialenosti alternatív od ideálneho riešenia poskytuje objektívne usporiadanie jednotlivých variantov.

Význam tejto problematiky je posilnený aktuálnymi výzvami, ktorým mestá čelia v dôsledku klimatickej zmeny. Tradičné prístupy k manažmentu dažďovej vody sa ukazujú ako nedostatočné na zvládanie extrémnych zrážkových udalostí a na zabezpečenie dlhodobej udržateľnosti vodných zdrojov [10]. V tomto kontexte sa dizertačná práca sústreďuje na návrh a analytické vyhodnotenie vybraných modro-zelených opatrení vhodných pre urbanizované územia. Vzhľadom na rozsah skúmanej témy bol výskum prioritne orientovaný na identifikáciu potenciálnych riešení a ich funkčnú analýzu pomocou simulačných nástrojov, ako aj podporu rozhodovania prostredníctvom viackriteriálneho hodnotenia. Overenie účinnosti navrhnutých opatrení v reálnych podmienkach ani podrobnejšiu kalibráciu modelu nebolo možné v tejto fáze realizovať, nakoľko by presahovali rámec jedného výskumného cyklu. Ich realizácia sa považuje za logické pokračovanie v ďalších projektoch aplikovaného výskumu, prípadne v spolupráci s odbornou praxou. Napriek tomu práca v kontexte inžinierskeho a vodohospodárskeho plánovania poskytuje dôslednú analýzu reálnych scenárov a vytvára metodický rámec pre ich odborné posúdenie. Výsledky výskumu tak môžu priniesť teoretické aj praktické podklady pre efektívne riadenie dažďovej vody v mestskom prostredí a podporiť tvorbu udržateľných adaptačných stratégií, prispievajúcich k ochrane vodných ekosystémov a k zlepšeniu kvality života v urbanizovaných oblastiach [11].

2 Ciele dizertačnej práce

V kontexte rastúcej potreby prispôsobiť hospodárenie so zrážkovými vodami v urbanizovanom prostredí meniacim sa klimatickým podmienkam a narastajúcemu výskytu extrémnych zrážkových udalostí sa táto dizertačná práca zameria na identifikáciu a hodnotenie efektívnych technických a prírode blízkych opatrení.

Prioritou bude skúmanie ich schopnosti prispieť k zlepšeniu hydraulického stability stokovej siete a zvýšeniu jej odolnosti voči nárazovým i dlhodobým hydrologickým zaťaženiám. Cieľom práce bude overiť možnosti využitia vegetačných striech a retenčných nádrží ako adaptačných opatrení, ktoré umožňujú zmierniť kulminačné prietoky a obmedziť riziko zahltenia kanalizačných systémov. Hodnotenie účinnosti týchto opatrení bude realizované s využitím hydrodynamického modelovania a následného viackriteriálneho rozhodovania na základe presne definovaných technických parametrov.

Špecifické ciele výskumu možno formulovať nasledovne:

- Preskúmať aktuálny stav stokovej siete a jej prevádzkovú kapacitu počas bežných, návrhových a extrémnych dažďových udalostí, pričom dôraz sa bude klásť na identifikáciu úsekov s opakovaným rizikom povrchového výveru.
- Vypracovať metodiku viackriteriálneho hodnotenia alternatívnych adaptačných opatrení s cieľom poskytnúť transparentné porovnanie ich prínosu v kontexte technických, environmentálnych a priestorových podmienok urbanizovaného územia.
- Overiť prostredníctvom simulačných scenárov hydraulickú účinnosť vegetačných striech a dažďových nádrží pri obmedzovaní kulminačných prietokov a zvyšovaní výškovej rezervy v stokovej sieti.
- Formulovať odporúčania pre implementáciu vybraných riešení v podmienkach samosprávy, zohľadňujúc súčasné legislatívne rámce a možnosti dlhodobého plánovania hospodárenia so zrážkovými vodami.

3 Experimentálna časť

3.1 Metodologický rámec

Navrhovaná metodológia sa opiera o interdisciplinárny prístup, ktorý prepája hydrodynamické modelovanie, viackriteriálnu rozhodovaciu analýzu a komplexné hodnotenie účinnosti adaptačných opatrení pre efektívne hospodárenie so zrážkovými vodami. Kombinácia kvantitatívnych a kvalitatívnych metód umožnila vytvoriť integrovaný a systematický pohľad na optimalizáciu stokových systémov a ich prispôsobenie sa extrémnym hydrologickým javom.

V úvodnej fáze boli zhromaždené a spracované relevantné údaje, ktoré zahŕňali hydrologické charakteristiky povodia, technické parametre stokovej siete, priestorové rozloženie nepriepustných plôch a existujúce opatrenia zamerané na manažment dažďovej vody. Súčasťou tejto etapy bolo aj preskúmanie legislatívnych a normatívnych rámcov, ktoré určujú podmienky hospodárenia s dažďovými vodami v mestskom prostredí. Na základe týchto údajov bol zostavený numerický model v prostredí MIKE URBAN, ktorý umožnil podrobne analyzovať dynamické správanie stokovej siete pri rôznych záťažových scenároch.

Model zahŕňal simulácie návrhových blokových dažďov s definovanou pravdepodobnosťou výskytu, ako aj historicky extrémnych zrážkových udalostí, aby bolo možné overiť reálnu odozvu systému. Výsledky hydrodynamických simulácií boli následne spracované metódami viackriteriálneho hodnotenia s využitím nástrojov AHP a TOPSIS. Kritériá boli navrhnuté tak, aby reflektovali kľúčové technické parametre vrátane maximálneho plnenia potrubí, výškovej rezervy pod terénom, maximálnej tlakovej výšky a účinnosti pri znižovaní kulminačných prietokov. Tento analytický rámec umožnil transparentné porovnanie vhodnosti rôznych adaptačných opatrení, napríklad vegetačných striech či dažďových retenčných nádrží. Spôľahlivosť modelových výstupov bola overená na základe reálnych údajov z monitoringu (scenár ZS8), čo umožnilo posúdiť presnosť simulovaných parametrov a validitu modelu. Na záver boli syntetizované poznatky o účinnosti jednotlivých adaptačných riešení s dôrazom na ich technickú realizovateľnosť, ekonomickú primeranosť a potenciál integrácie do súčasnej infraštruktúry urbanizovaného územia.

Celý metodický prístup tak poskytol robustný rámec pre komplexné hodnotenie funkčnosti odvodňovacích systémov a navrhovaných adaptačných opatrení. Tieto výsledky môžu slúžiť ako podporný nástroj pri rozhodovaní v oblasti mestského vodného hospodárstva, čím prispievajú k posilneniu odolnosti urbanizovaných oblastí voči hydrologickým extrémom a podporia udržateľný rozvoj miest.

3.2 Analýza východiskových podmienok záujmového územia

Pred samotným spracovaním simulačných modelov povrchového odtoku, ktoré slúžia na objektívne posúdenie funkčnosti a účinnosti prípadných opatrení v urbanizovanom prostredí, bolo nevyhnutné podrobne analyzovať východiskové podmienky riešeného územia. Táto analýza poskytuje základné informácie o klimatickom, hydrologickom a urbanistickom charaktere lokality, ktoré sú rozhodujúce pre správne nastavenie vstupných parametrov a interpretáciu výsledkov simulácií. Zohľadnenie týchto podmienok umožňuje identifikovať potenciálne riziká, obmedzenia, ako aj príležitosti pre efektívne hospodárenie s povrchovými vodami a podporuje udržateľný prístup k manažmentu územia.

3.2.1 Charakteristika skúmanej lokality

Záujmové územie sa nachádza v severovýchodnej časti Bratislavy, v katastrálnom území mestskej časti Nové Mesto. Ide o lokalitu známu ako Biely Kríž, situovanú v prechodovej zóne medzi mestskou zástavbou a prirodzeným reliéfom južného úpätia Malých Karpát. Priestorové vymedzenie oblasti je dané hranicami medzi Račianskou ulicou (západne), areálom bývalého priemyselného závodu Palma - Tumys a železničnou stanicou Bratislava – Predmestie (južne), železničnou traťou spájajúcou stanice Bratislava - Vinohrady a Bratislava hlavná stanica (juhovýchodne) a Horskou ulicou (východne).

Z pohľadu geografie ide o územie nachádzajúce sa rozhraní nížinného a horského prostredia južného svahu Malých Karpát, konkrétne v oblasti s typickým prechodovým reliéfom medzi mestským prostredím a podhorskou krajinou. Podľa regionálneho geomorfologického členenia Slovenska patrí toto územie do provincie Západné Karpaty, subprovincie Vnútorne Západné Karpaty, oblasti Fatransko-tatranskej, geomorfologického celku Malé Karpaty, podcelku Pezinské Karpaty, konkrétne do ich južnej časti známej ako Homoľské Karpaty [136, 137].

Geologické prostredie pozostáva z puklinovo porušených paleozoických granitoidných hornín v hĺbke 24–30 m, nad ktorými leží 10–30 m hrubá vrstva kvartérnych fluvialných a proluviálnych sedimentov s pestrou litológiou [137]. Najvrchnejšie horizonty tvorí vrstva antropogénnych navážok s premenlivou zrnitosťou a hrúbkou do 3 m, charakteristická nízkou priepustnosťou a nedostatočným zhutnením. Táto geologická skladba predstavuje z pohľadu hydrogeologických pomerov a geotechnickej stability rizikový faktor pre plošné vsakovanie, predovšetkým pre prítomnosť jemnozrnných ílovitých a piesčito-hlinitých vrstiev s nízkou filtračnou schopnosťou [95].

3.2.2 Hydrologické pomery

Na účely spracovania analýzy návrhových scenárov odvodnenia v podmienkach urbanizovaného prostredia bolo nevyhnutné detailne charakterizovať zrážkové pomery v záujmovom území, a to na základe spoľahlivých a lokálne relevantných klimatologických údajov. Východiskovým podkladom pre túto analýzu boli 5-minútové zrážkové úhmy za obdobie od 1.1.2020 do 31.12.2024, ktoré poskytol Slovenský hydrometeorologický ústav.

Tieto údaje pochádzali zo zrážkomernej stanice Bratislava – letisko, ktorá vzhľadom na svoju geografickú polohu v bezprostrednej blízkosti analyzovaného územia predstavovala najvhodnejší zdroj referenčných dát pre dané hydrologické analýzy. Získané zrážkové údaje boli následne spracované do podoby denných úhrnov, čo umožnilo identifikovať nielen priemerné ročné hodnoty zrážok, ale aj výskyt extrémnych zrážkových udalostí, predstavujúcich kľúčové vstupné parametre pre dimenzovanie a hodnotenie flexibility odvodňovacích opatrení.

S cieľom komplexného hodnotenia zrážkových pomerov v záujmovom území boli v ďalšom kroku denné zrážkové úhrny agregované na mesačnú úroveň a následne analyzované v porovnaní s dlhodobým klimatickým normálom. Referenčná hodnota dlhodobého ročného úhrnu zrážok, vyhodnotená Slovenským hydrometeorologickým ústavom (SHMÚ) pre zrážkomernú stanicu Bratislava – Koliba za obdobie 1989 – 2018, predstavuje 690,90 mm. Z porovnania spracovaných ročných úhrnov s dlhodobým klimatickým normálom s touto hodnotou vyplýva, že sledované obdobie rokov 2020 až 2024 sa vyznačovalo značnou variabilitou. V roku 2020 bol celkový úhrn 636,20 mm, teda mierne podpriemerný, avšak bez výraznejších extrémov v rámci sezónneho rozdelenia. Výraznejší deficit sa prejavil v roku 2021, kedy úhrn klesol na 505,60 mm, a podobne v roku 2022 s hodnotou 501,10 mm, čo predstavuje zhruba štvrtinový pokles oproti dlhodobému normálu a signalizuje prevahu suchších podmienok. Naproti tomu v roku 2023 dosiahol úhrn 764,10 mm, čím klimatický normál prekročil o približne 11 %, čo naznačuje vyššie riziko extrémnych zrážkových udalostí a možného preťaženia odvodňovacích systémov. V roku 2024 bol úhrn 563,30 mm, čiže stále pod dlhodobým priemerom, no s istým zlepšením oproti predchádzajúcim suchším rokom. Tieto výsledky jednoznačne potvrdzujú vysokú medzироčnú a sezónnu premenlivosť zrážok, ktorá je kľúčová pre návrh a posúdenie funkčnosti simulačných modelov povrchového odtoku, aby dokázali reflektovať nielen priemerné, ale aj extrémne zrážkové scenáre.

3.2.3 Súčasný systém odvodnenia

Predmetom skúmania dizertačnej práce je územie situované v centrálne zastavanej zóne hlavného mesta Bratislavy, ktoré z hľadiska morfológicko-funkčného usporiadania spadá toto územie do ľavobrežného kanalizačného systému, povodia kmeňovej stoky A a konkrétne hlavných zberačov C a D. Celkový systém je ukončený

napojením na Ústrednú čistiareň odpadových vôd (ÚČOV) vo Vrakuni, ktorej recipientom je vodný tok Malý Dunaj.

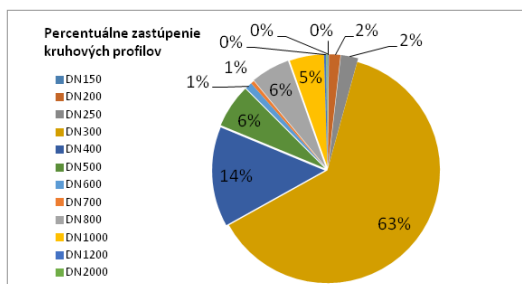
Zberač C predstavuje kľúčový prvok v rámci posudzovaného systému a zohráva významnú úlohu v odvádzaní odpadových vôd z niekoľkých významných mestských oblastí. Odvádza vody z území Nového Mesta, horného úseku Račianskej ulice, lokality Biely Kríž, priemyselných areálov bývalého Istrochemu, ako aj z území športových areálov Zátisie a Pasienky, a tiež mestských častí Trnávka a Ostredky. Na hlavný zberač C je napojený aj doplnkový zberač C0, trasovaný po uliciach Pri Bielom Kríži a Račianska [140]. Následne je zakončený pripojením na zberač B v oblasti Nevädzovej ulice. Mestská časť Krasňany je obsluhovaná systémom zberačov D. Ide o územie, kde z dôvodu kapacitných a technicko-organizačných obmedzení nebolo možné v hodnotenom období zrealizovať terénne preverenie existujúcich napojení. Táto skutočnosť síce neumožnila priame zhodnotenie stavu v tejto časti územia, avšak na základe dostupných podkladov bolo možné zachovať celkový rámec analýzy. Na túto kvalitatívnu fázu hodnotenia nadväzuje kvantitatívna analýza, zameraná na štrukturálne členenie celej posudzovanej kanalizačnej siete z pohľadu typológie potrubí, ich počtu a rozsahu.

Posudzovaná kanalizačná sieť, ktorá tvorí infraštruktúry základ hodnoteného územia, pozostáva z celkového počtu 608 samostatných úsekov potrubí, ktoré možno z funkčného hľadiska rozdeliť do troch hlavných kategórií: splaškové, dažďové a jednotné. Splaškové potrubia sú zastúpené v 149 úsekoch, čo predstavuje približne 24,5 % z celkového počtu, pričom ich súhrnná dĺžka dosahuje 5 222,25 m. Dažďové potrubia tvoria 139 úsekov (22,9 %) a ich celková dĺžka je 4 972,31 m. Najpočetnejšou skupinou sú vetvy jednotnej kanalizácie, evidované v 320 úsekoch (52,6 %). Ich dĺžka predstavuje až 13 191,70 m.

Z hľadiska technicko-dimenziálnych parametrov sa v hodnotenej sieti nachádzajú potrubia s vnútorným priemerom v rozsahu od DN150 až po DN2000. Materiálová skladba tejto siete je značne diverzifikovaná: v posudzovanej sieti sa vyskytujú betónové i plastové potrubia, a výnimočne aj potrubia z kameniny. Detailnejšiu štruktúru z hľadiska materiálového zloženia sumarizuje Tabuľka 3.1, zatiaľ čo grafické vyjadrenie percentuálneho podielu profilov ponúka Graf 3.1.

Tabuľka 3.1 Špecifikácia materiálového zloženia potrubí

Materiál	Dĺžka (m)	n	Percentuálne zastúpenie
Betón (hladký)	90,58	0,012	0,16
Betón (drsňý)	12 850,90	0,015	48,68
PVC	10 252,53	0,008	50,33
Kamenina	192,25	0,010	0,83



Graf 3.1 Percentuálne zastúpenie kruhových profilov na sieti

3.2.4 Urbanizovaná štruktúra záujmového územia

Miera urbanizácie a spevnenia povrchov sa v rámci územia mení, čo ovplyvňuje jeho mikroklimatické a hydrologické charakteristiky. Územie sa vyznačuje funkčnou rozmanitosťou a heterogénnou priestorovou štruktúrou. Zastúpené sú tu plochy individuálneho a hromadného bývania, dopravná a technická infraštruktúra, ako aj nezastavané vegetačné plochy s potenciálom pre ekologické a rekreačné využitie.

Na účely presného hydrodynamického modelovania bolo nevyhnutné detailne analyzovať charakter povrchov v posudzovanom území, keďže priepustnosť a funkčné využitie plôch majú zásadný vplyv na dynamiku povrchového odtoku počas zrážkových udalostí. V prostredí GIS boli vytvorené tematické vrstvy, reprezentujúce vyššie spomenuté referenčné povrchové kategórie.

Po importe do softvérového prostredia MIKE URBAN bola každej vrstve priradená priemerná hodnota nepriepustnosti, vychádzajúca z jej schopnosti generovať povrchový odtok. Tieto hodnoty boli následne prepočítané v závislosti od plochy a morfologickej konfigurácie terénu v jednotlivých kanalizačných okrskoch, čím sa stanovila výsledná hodnota priepustnosti pre každý z nich.

Tento postup tak zabezpečil konzistentné zohľadnenie všetkých významných charakteristík povrchov ešte pred samotnou simuláciou odtokových procesov. Podrobné údaje o jednotlivých tematických vrstvách vrátane priradených koeficientov odtoku a výsledných hodnôt priepustnosti sú uvedené v Tabuľke 3.2.

Tabuľka 3.2 Priemerný odtokový súčiniteľ referenčných povrchových kategórií

Typ povrchu	Ψ_s (-)
Záhradkárske plochy	0,20 – 0,35
Poľnohospodárske pozemky	0,10 – 0,30
Vinohrady	0,15 – 0,35
Trávnaté oblasti	0,05 – 0,20
Dopravná infraštruktúra	0,70 – 0,95
Obytná zóna	0,50 – 0,90

3.3 Simulačné modelovanie zrážkovo-odtokového procesu

Simulačné modelovanie zrážkovo-odtokového procesu predstavuje kľúčový nástroj pri analýze správania sa stokových systémov za dažďových udalostí, a to najmä v podmienkach urbanizovaného prostredia. Táto kapitola sa zameriava na postup a základné východiská pre vytvorenie dynamického modelu povrchového odtoku v prostredí MIKE URBAN.

Model stokovej siete bol vytvorený na základe podrobnej analýzy územia a pozostáva zo 600 uzlov (599 šácht a 1 výustu) a 608 potrubných úsekov. Hydrografické rozdelenie územia vychádzalo z aplikácie Theissonových polygónov, na základe ktorých bolo povodie rozdelené na 600 kanalizačných okrskov. Tento prístup umožnil efektívne priradenie jednotlivých plôch k príslušným šachtám a tým aj presnejšiu simuláciu ich zrážkového zaťaženia.

Na základe tematických vrstiev a priemerných hodnôt nepriepustnosti, ktoré boli popísané v predchádzajúcej kapitole, prebehlo následné priestorové zosúladenie týchto údajov s kanalizačnými okrskami v prostredí MIKE URBAN. Pre každý kanalizačný okrsok bol na základe plošného zastúpenia jednotlivých kategórií povrchov a ich morfolologickej konfigurácie vypočítaný odtokový súčiniteľ Ψ_s . Tento parameter, vyjadrujúci schopnosť povrchov generovať odtok počas zrážkových udalostí, sa stal kľúčovým vstupom pre hydrodynamické modelovanie.

Parametrizácia modelu vychádzala z kombinácie reálnych prevádzkových údajov a návrhových podmienok, pričom cieľom bolo vystihnúť správanie sa stokovej siete v rôznych hydraulických situáciách – od bežného stavu bez zrážok až po odozvu systému na návrhovú dažďovú udalosť. Vstupné údaje boli zostavené tak, aby umožnili overiť funkčnosť siete pri rôznych typoch zaťaženia. Na tento účel bol model testovaný prostredníctvom ôsmich definovaných zaťažovacích stavov, reprezentujúcich rôzne prevádzkové režimy a scenáre prietokového zaťaženia. Ich základné charakteristiky sú uvedené v Tabuľke 3.3.

Tabuľka 3.3 Charakteristika zaťažovacích stavov použitých pri simulácii

Scenár	Špecifikácia	Špecifická spotreba vody (l/os/d)	Celkový úhrn dažďa (mm)	Trvanie simulácie/trvanie dažďa (min)	Priemerná výdatnosť (l/s/ha)
ZS1	Referenčný bezdažďový scenár	100	-	1440/0	-
ZS2	Dažďový a bezdažďový scenár (P = 0,5)	100	44,17	1440/60	122,69
ZS3	Dažďový a bezdažďový scenár (P = 0,5, zelené strechy)	100	44,17	1440/60	122,69
ZS4	Dažďový a bezdažďový scenár (P = 0,5, dažďové nádrže)	100	44,17	1440/60	122,69
ZS5	Dažďový a bezdažďový scenár (SHMÚ, 20.06.2020)	100	48,60	2820/1020	5,63
ZS6	Dažďový a bezdažďový scenár (SHMÚ, 14.04.2023)	100	31,80	2820/1440	3,68
ZS7	Referenčný bezdažďový scenár pre verifikáciu	100	-	1440/0	-
ZS8	Dažďový a bezdažďový scenár (BVS, 29.03.2025)	100	22,50	2820/1320	2,51

3.3.1 ZS1 - Referenčný bezdažďový scenár

Referenčný bezdažďový scenár ZS1 predstavuje výpočtovú situáciu, slúžiacu na posúdenie fungovania stokovej siete v podmienkach bez výskytu zrážok. Zaťaženie modelu v tomto scenári bolo definované na základe špecifickej spotreby vody vo výške 100 l/os/deň, čo určovalo objem splaškových vôd generovaných obyvateľstvom v rámci jednotlivých kanalizačných okrskov. Denné kolísanie prietokov bolo zohľadnené prostredníctvom cyklicky sa opakujúcej okrajovej podmienky, ktorá reflektovala typický denný priebeh spotreby vody pre sídliskové oblasti a stredne veľké mestá podľa metodiky Urcikána a Rusnáka (2011). Okrajové podmienky referenčného bezdažďového scenára sú súhrnne uvedené v Tabuľke 3.4. Výsledky preukázali priestorovo rozdielnu hydraulickú odozvu modelovanej stokovej siete. V úseku Link_13101235 bol stabilný prietok 1,32 m³/s s nízkym plnením potrubia (27 % kapacity), čo naznačuje dostatočnú rezervu.

Úsek Link_10571743 vykázal prietok 0,59 m³/s s plnením 89 % profilu, čo signalizuje potenciálne riziko zahľtenia pri vyššom prítoku. Najvyššie zaťaženie bolo zistené v úseku Link_13421851, kde pri prítoku 0,405 m³/s plnenie prekročilo profilovú výšku o 78 %, čo poukazuje na vznik nadmerného tlaku a riziko výveru odpadových vôd aj v suchých podmienkach.

Tabuľka 3.4 Okrajové podmienky použité pre ZS1

Okrajová podmienka		Typ zaťaženia	Časová zmena	Krivka nerovnomernosti
Špecifická spotreba vody pre obytné zóny	100 (l/s/ha)	prítok z okrsku na obyvateľa	cyklická	sídliisko
Povrchový tok Drieňovka	0,55 (m ³ /s)	prítok do bodu	konštantná	-
Prítok splaškových vôd zo 7 okrskov v povodí	5,65E-05 (m ³ /s)	prítok do bodu	konštantná	-

3.3.2 ZS2 - Scenár intenzívneho zrážkového impulzu

Zaťažovací scenár ZS2 vychádzal z návrhového blokového dažďa s periodicitou $P = 0,5$. Čo zodpovedá zrážkovej udalosti s pravdepodobnosťou výskytu raz za dva roky a celkovým trvaním 60 minút. Použitá hyetografická krivka mala konštantnú intenzitu zrážky, čo umožnilo simulovať konzervatívny a rovnomerne distribuovaný vplyv zrážkovej udalosti na stokovú sieť.

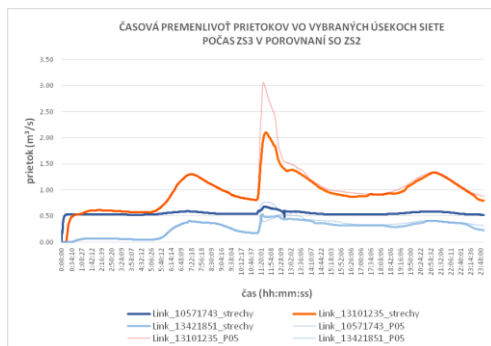
Výsledky referenčného scenára ZS1 preukázali priestorovo rozdielnu hydraulickú odozvu modelovanej stokovej siete. V úseku Link_13101235 bol stabilný prietok 1,322 m³/s s nízkym plnením potrubia (27 % kapacity), čo naznačuje dostatočnú rezervu. Úsek Link_10571743 vykázal prietok 0,590 m³/s s plnením 89 % profilu, čo signalizuje potenciálne riziko zahľtenia pri vyššom prítoku. Najvyššie zaťaženie bolo zistené v úseku Link_13421851, kde pri prítoku 0,405 m³/s plnenie prekročilo profilovú výšku o 78 %, čo poukazuje na vznik nadmerného tlaku a riziko výveru odpadových vôd aj v suchých podmienkach. Podrobné hydraulické parametre sú uvedené v Tabuľke 3.5.

Tabuľka 3.5 Hydraulické parametre vo vybraných úsekoch počas ZS2 v čase max. prietokov

Posudzované úseky zo siete	DN (m)	Prietok (m ³ /s)	Hĺbka vody v potrubí (m)	Úroveň zaplavenia (m)	Plnenie potrubia (-)	Tlak v potrubí (m)
Link_13421851	0,8	0,534	3,62	-0,86	4,52	2,82
Link_10571743	1	0,766	2,59	-1,21	2,59	1,59
Link_13101235	2	3,058	0,83	-4,17	0,42	-

3.3.3 ZS3 - Scenár zelených striech

Vývoj maximálnych prietokov počas zaťažovacieho scenára ZS3, zahŕňajúci implementáciu zelených striech, je znázornený na Grafe 3.2. Cieľom tohto scenára bolo posúdiť vplyv zelených striech na hydraulické zaťaženie stokovej siete v porovnaní so základným scenárom ZS2, pričom obidva scenáre vychádzali z rovnakého návrhového blokového dažďa s periódou $P = 0,5$ a trvaním 60 minút.



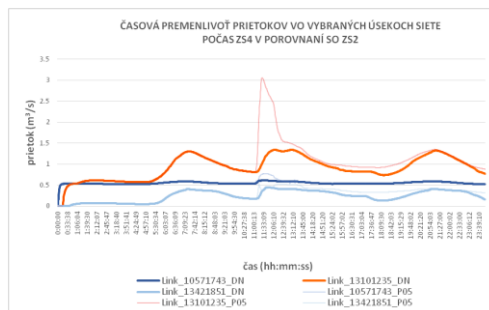
Graf 3.2 Časová premenlivosť prietokov vo vybraných úsekoch počas ZS3
v porovnaní so ZS2

Výsledky scenára preukázali priaznivý vplyv zelených striech na zníženie hydraulickej záťaže stokovej siete. V profile Link_13101235 sa dosiahol prietok $2,099 \text{ m}^3/\text{s}$ s plnením iba 34 %, čo predstavuje dostatočnú rezervu kapacity. V úseku Link_10571743 klesol prietok na $0,678 \text{ m}^3/\text{s}$ a plnenie na 1,70, čím sa zlepšila bezpečnosť prevádzky, hoci riziko zahltenia úplne nevymizlo. Úsek Link_13421851 síce zaznamenal nižší prietok $0,535 \text{ m}^3/\text{s}$, ale plnenie potrubia na úrovni 3,54 stále signalizuje preťaženie. Celkovo opatrenia v podobe zelených striech prispeli k obmedzeniu prietokov, poklesu hladín a lepšej ochrane pred povrchovým pretečením.

3.3.4 ZS4 - Scenár dažďových nádrží

Vyhodnotenie scenára ZS4 sa zameralo na účinnosť dažďových retenčných nádrží pri zmierňovaní hydraulického zaťaženia stokovej siete, v porovnaní s referenčnými podmienkami scenára ZS2, ktoré vychádzali z rovnakého návrhového blokového dažďa s periodicitou opakovania $P = 0,5$ a trvaním 60 minút.

Simulácie potvrdili, že aplikácia retenčných nádrží dokázala znížiť maximálne plnenie profilov a stabilizovať tlakové pomery, pričom v niektorých úsekoch sa prejavil ešte výraznejší efekt než pri implementácii vegetačných striech uvažovaných v scenári ZS3. V úseku Link_13101235 bol maximálny prietok redukovaný približne o 57 % a plnenie potrubia dosiahlo iba 27 %, čo indikuje dostatočnú kapacitnú rezervu. V úseku Link_10571743 poklesol prietok o 20 % a plnenie na hodnotu 1,08, čím sa obmedzilo riziko zahltenia. V profile Link_13421851 sa prietok znížil o 17 %, pričom plnenie dosiahlo 1,99, čo stále predstavuje riziko tlakových stavov, ale s priaznivejšou výškovou rezervou ako v predchádzajúcich scenároch. Časová premenlivosť hydraulických parametrov je znázornená na Grafe 3.3.



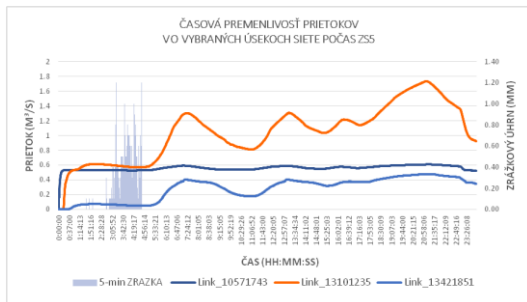
Graf 3.3 Časová premenlivosť prietokov vo vybraných úsekoch počas ZS3 v porovnaní so ZS2

3.3.5 ZS5 - Scenár s reálnou zrážkovou udalosťou (20.06.2020)

Zaťažovací scenár ZS5 vychádzal z najvýraznejšej reálnej zrážkovej udalosti zaznamenatej v rokoch 2020 – 2024, konkrétne zo zrážok spadnutých 20. júna 2020. Počas tejto udalosti bol zaznamenaný denný úhrn zrážok 48,6 mm, pričom najvyššia hodinová intenzita – 7,30 mm – sa vyskytla medzi 19:00 a 20:00.

Simulácia potvrdila dynamickú odozvu systému s najvyšším prietokom 1,733 m³/s v úseku Link_13101235, kde zostala dostatočná kapacitná rezerva a bezpečný výškový rozdiel od terénu. V úseku Link_10571743 došlo k naplneniu profilu s miernou tlakovou výškou 0,14 m, avšak stále s prijateľnou výškovou rezervou 2,66 m voči terénu. Najvyššie hydraulické zaťaženie bolo zaznamenané v

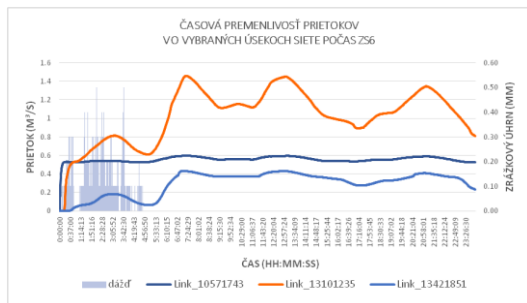
úseku Link_13421851 s plnením 3,21 a tlakovou výškou 1,77 m, čo poukazuje na prevádzku na hranici kapacitných možností, hoci bez priameho povrchového pretečenia. Časový priebeh prietokov je znázornený na Grafe 3.4



Graf 3.4 Časová premenlivosť prietokov vo vybraných úsekoch siete počas ZS5

3.3.6 ZS6 – Scenár s reálnou zrážkovou udalosťou (14.04.2023)

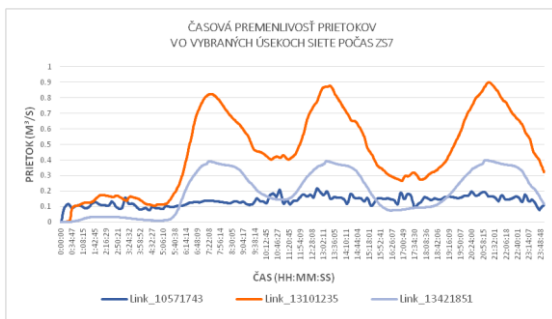
Zrážková udalosť zo 14. apríla 2023 s úhrnom 31,8 mm a maximálnou hodinovou intenzitou 3,1 mm preverila schopnosť kanalizačnej siete zvládnuť dynamicky narastajúce zaťaženie. V úseku Link_13101235 bol prietok 1,456 m³/s pri plnení 28 %, čo potvrdilo dostatočnú kapacitnú rezervu a stabilný prevádzkový režim. Úsek Link_10571743 pracoval prakticky na hranici zaplnenia (stupeň 0,99), no stále s dostatočnou výškovou rezervou 2,80 m, čím sa eliminovalo riziko povrchového pretečenia. V najviac zaťaženom úseku Link_13421851 bolo evidované plnenie 2,31 s tlakovou výškou 1,05 m a výškovým rozdielom voči terénu 2,62 m, čo zabezpečilo odolnosť systému aj v pretlakovom režime. Vývoj prietokov počas tejto udalosti zachytáva Graf 3.5.



Graf 3.5 Časová premenlivosť prietokov vo vybraných úsekoch siete počas ZS6

3.3.7 ZS7 – referenčný bezdažďový scenár pre verifikácia modelu

Za účelom prípravy výpočtového modelu na proces verifikácie bol vytvorený zaťažovací scenár ZS7, zohľadňujúci podmienky typického dňa bez zrážok, konkrétne 26. marca 2025. V rámci tohto scenára boli ako okrajová podmienka implementované reálne namerané prietoky z povrchového toku Drieňovka, ktoré reflektovali aktuálny hydraulický stav recipienta. Ostatné nevyhnutné vstupy, ako prítok do bodu či špecifická spotreba vody, zostali zachované v rovnakej konfigurácii ako v scenári ZS1. Tento simulačný rámec bez dažďovej zrážky vytvoril referenčný stav, ktorý umožnil presne identifikovať dopad skutočnej zrážkovej udalosti v nasledujúcom scenári ZS8. Pre ilustráciu dynamiky prietokov v kanalizačnej sieti je vhodné odkázať aj na Graf 3.6 znázorňujúci časovú premenlivosť prietokov vo vybraných úsekoch siete počas daného scenára.



Graf 3.6 Časová premenlivosť prietokov vo vybraných úsekoch siete počas ZS6

Simulácia preukázala dostatočnú kapacitu stokovej siete v suchých podmienkach, pričom najvyšší prietok $0,899 \text{ m}^3/\text{s}$ bol zaznamenaný v úseku Link_13101235, ktorý ako hlavný hydraulický uzol zhromažďuje prítok z viacerých vetiev. Ostatné profily vykazovali nižšie zaťaženie — v úseku Link_13421851 prietok $0,397 \text{ m}^3/\text{s}$ a v úseku Link_10571743 prietok $0,217 \text{ m}^3/\text{s}$ s plnením na úrovni 68,9 %. Výsledky potvrdzujú stabilnú prevádzku siete, zároveň však identifikujú úseky s trvalo vysokým základným prietokom, ktoré môžu byť kritické pri nárazovom zrážkovom zaťažení.

3.3.8 ZS8 – Scenár s reálnou zrážkovou udalosťou (29.03.2025)

Zaťažovací scenár ZS8 bol navrhnutý s cieľom čo najvernejšie replikovať skutočné prevádzkové podmienky kanalizačnej siete.

Z monitorovacieho obdobia od 17. marca do 1. apríla 2025 bola ako dominantná zrážková epizóda vybraná udalosť z 29. marca 2025 s celkovým úhrom 21,70 mm, ktorá bola následne použitá ako vstup pre simuláciu hydraulikkej odozvy. V profile Link_13101235 sa potvrdili priaznivé parametre s prietokom 0,892 m³/s a nízkym plniacim stupňom 0,220, čo svedčí o dostatočnej kapacitnej rezerve. Úsek Link_10571743 vykazoval nižší prietok 0,063 m³/s a stabilné hydraulické podmienky s výraznou rezervou voči terénu. Najkritickejší bol úsek Link_13421851, kde plnenie 2,111 naznačuje výrazné preťaženie a zníženú bezpečnostnú rezervu, hoci nedošlo k povrchovému výveru. Celkovo výsledky tvoria kľúčový podklad pre overenie presnosti modelu porovnaním so skutočnými meraniami, čo umožní lepšie posúdiť spoľahlivosť simulácie pri reálnych dažďových udalostiach.

Zhodnotenie spoľahlivosti modelu

Na overenie spoľahlivosti výpočtového modelu bola v rámci scenára ZS8 vykonaná verifikácia založená na porovnaní simulovaných výstupov s reálne nameranými údajmi počas zaznamenananej zrážkovej udalosti. Hodnotenie sa sústredilo na dve základné hydraulické veličiny – výšku hladiny a objemový prietok recipientu, pri využití štatistických ukazovateľov pre posúdenie zhody časových radov. V prípade hladiny vody recipientu model dokázal zachytiť základný tvar zrážkovej odozvy, ako nástup, kulmináciu aj pokles, avšak simulované hodnoty systematicky zaostávali za reálne nameranými. Podobný trend sa prejavil aj pri porovnaní prietokov, kde rozdiel v absolútnych hodnotách bol ešte výraznejší.

Pre porovnanie simulovaných a nameraných údajov boli využité štatistické ukazovatele Pearsonov korelačný koeficient a Nash–Sutcliffov koeficient efektívnosti. Výsledné hodnoty Pearsonovho koeficienta (0,176 pre hladinu a 0,159 pre prietok) naznačujú len minimálnu koreláciu, pričom záporné NSE (–43,99 a –22,76) svedčia o nedostatočnej presnosti predikcie. Tento nesúlad pravdepodobne pramení z absencie predchádzajúcej kalibrácie modelu, ktorá by umožnila lepšie nastaviť jeho parametre a tým zvýšiť vierohodnosť výsledkov.

3.4 Viackriteriálne hodnotenie navrhovaných riešení

S narastajúcim výskytom intenzívnych zrážkových udalostí, ktorých dôsledkom je zvyšujúce sa hydraulické zaťaženie stokových sietí, nadobúdajú rozhodovacie

nástroje pre výber vhodných technických opatrení zásadný význam. Predmetom hodnotenia boli dva zaťažovacie stavy odvodené z dynamického simulačného modelu, konkrétne ZS3 (implementácia zelených striech) a ZS4 (zavedenie decentralizovaných dažďových nádrží na akumuláciu zrážkovej vody). Oba scenáre vychádzali z rovnakého návrhového hyetogramu s periódou opakovania $P = 0,5$ s trvaním dažďa 60 min, čo umožnilo vytvoriť porovnateľný rámec pre hodnotenie účinnosti použitých opatrení. Za hodnotiace kritériá boli vybrané výlučne parametre priamo odvodené zo simulačných modelov, ktoré dokážu kvantifikovať mieru hydraulického zaťaženia aj účinnosť opatrení pri tlmení prietokových impulzov. Pri stanovení váh týchto kritérií sa prihliadalo na ich reálny význam pre bezpečnosť a funkčnosť systému. Váhové koeficienty, stanovené nasledovne, popisuje Tabuľka 3.6.

Tabuľka 3.6 Váhové koeficienty určené metódou AHP na základe porovnania významnosti

Kritérium	Váha (%)	Zdôvodnenie
K1 – Maximálne plnenie	30	Najvyššia priorita pre kapacitné posúdenie siete
K2 – Výšková rezerva	25	Zásadné pre prevenciu výverov vody na povrch
K3 – Tlaková výška	20	Podporuje hodnotenie tlakových pomerov
K4 – Redukcia prietoku	25	Merateľný efekt opatrenia na zmiernenie prietokovej špičky

Pre každý hodnotený variant (ZS3, ZS4) sa vybrali maximálne alebo minimálne hodnoty sledovaných parametrov, aby boli zastúpené najkritickejšie hydraulické podmienky v sieti. Získané údaje pre štyri hodnotiace kritériá boli ďalej systematicky usporiadané do rozhodovacej matice a v ďalšom kroku použité vo výpočte na stanovenie normalizovaných hodnôt, ktoré boli v poslednej fáze prenasobené váhovými koeficientmi stanovenými na základe preferencií odborného hodnotenia, čím sa premietol ich relatívny význam v rozhodovacom procese. Tým vznikla vážená rozhodovacia matica, uvedená v Tabuľke 3.7. Tvoriaca základ pre aplikáciu metódy TOPSIS, vyhodnocujúca vzdialenosť každého variantu od ideálneho a anti-ideálneho riešenia.

Tabuľka 3.7 Vážená rozhodovacia matica pre varianty ZS3 a ZS4

Kritérium	ZS3 – Zelené strechy	ZS4 – Dažďové nádrže
K1 – Maximálne plnenie (-)	0,169	0,300
K2 – Výšková rezerva (m)	0,143	0,250
K3 – Tlaková výška (m)	0,079	0,200
K4 – Redukcia prietoku (%)	0,139	0,250

4 Diskusia

Výsledky dynamických simulácií a následnej viackriteriálnej analýzy priniesli komplexný obraz o hydraulickom správaní modelovanej stokovej siete, pričom bolo možné identifikovať nielen slabé miesta systému, ale zároveň vyhodnotiť účinnosť uvažovaných adaptačných opatrení. Pri sledovaní priebehu jednotlivých zaťažovacích scenárov sa ukázalo, že aj v období bez zrážkových udalostí (ZS1 a ZS7) vykazovali niektoré úseky siete značné naplnenie profilov, blížiac sa kapacitným limitom, čo naznačuje latentné riziko preťaženia pri neočakávaných náhlejších dažďoch. Napriek absencii zrážkového impulzu sa totiž preukázalo, že určité profily pracujú v režime veľmi malej rezervy, a v prípade dodatočného zaťaženia môžu byť ľahko zahltené.

Výrazné zaťaženie systému bolo následne potvrdené v návrhovom scenári (ZS2), simulujúci blokovú dažďovú udalosť s pravdepodobnosťou opakovania $P = 0,5$ a trvaním 60 min. Tento modelovaný hyetogram dokázal odhaliť problematické miesta najmä v úsekoch s vysokým odtokovým súčiniteľom a menšími priemerami potrubia. Výsledkom bolo preplnenie profilov, miestami až viac ako štvornásobné v porovnaní s ich geometrickou kapacitou, čo vyústilo do tlakových pomerov a minimálnej výškovej rezervy voči terénu. Takáto situácia signalizuje vysoké riziko povrchového výveru alebo dokonca povodňových javov v okolí šachiet. Scenáre založené na reálnych extrémnych zrážkach (ZS5, ZS6 a ZS8) poskytli doplnkový pohľad na schopnosť systému zvládať meteorologicky overené, historicky zaznamenané udalosti. Tieto simulácie potvrdili, že stoková sieť vykazuje limitovanú odolnosť voči opakovaným či kumulovaným extrémom, pričom niektoré úseky už pri jedinej intenzívnej zrážke dosahovali stav plného alebo tlakového zaplavenia. Napriek tomu, že v rozhodujúcich bodoch siete zostávala určitá výšková rezerva, tlaková výška preukázala, že prevádzka sa pohybovala v rizikových hodnotách, čo je dôležitým poznatkom pre preventívne plánovanie.

Implementácia technických opatrení v podobe zelených striech (ZS3) a dažďových nádrží (ZS4) preukázala ich významný regulačný účinok. Zelené strechy dokázali citeľne predĺžiť čas nástupu prietoku a zmierniť kulmináčné hodnoty, čím sa dosiahla stabilnejšia prevádzka v kritických profiloch. Ich prínos je mimoriadne vhodný v hustej mestskej zástavbe, kde priestor na budovanie nádrží absentuje. Na druhej strane dažďové nádrže, ktoré umožňujú kontrolované vypúšťanie

zrážkových vôd, dosiahli ešte výraznejšie zlepšenie hydraulických pomerov — pokles maximálneho zaplnenia potrubí, stabilizáciu tlakových stavov a predovšetkým vyššiu bezpečnostnú výškovú rezervu vo vybraných šachtách.

Metodika viackriteriálneho hodnotenia na báze AHP a TOPSIS v tejto práci umožnila objektívne zohľadniť viaceré technické parametre, pričom kľúčové váhy boli priradené predovšetkým kritériu maximálneho plnenia profilu a výškovej rezervy, pretože tieto ukazovatele najpriamejšie ovplyvňujú bezpečnosť a stabilitu siete počas návrhových dažďových udalostí. Výsledné skóre potvrdilo absolútnu prevahu dažďových nádrží, ktoré sa v hodnotených parametroch prakticky priblížili ideálnemu riešeniu. Tento výsledok však nemožno chápať ako univerzálny, pretože sa opiera o súbor technických kritérií bez zahrnutia napríklad environmentálnych alebo ekonomických aspektov, ktoré by mohli v iných prípadoch preferencie posunúť.

Diskusia zároveň poukázala na to, že väčšina analyzovaných scenárov potvrdzuje limitovanú odolnosť stokovej siete pri opakujúcich sa extrémnych zrážkach. Aj po zavedení navrhovaných opatrení pretrvávajú v niektorých úsekoch tlakové podmienky, čo signalizuje potrebu cielenej optimalizácie siete a rozšírenia adaptačných riešení na viacerých úrovniach. Perspektívnym riešením sa v tomto kontexte javí hybridný prístup spájajúci zelené strechy s retenčnými nádržami, ktorý kombinuje výhody decentralizovaného predzdržania vody s jej regulovaným vypúšťaním. Hoci v tejto práci neboli spracované detailné konštrukčné výkresy ani rezy, návrh rešpektuje štandardy bežne uplatňované pri projektovaní modro-zelených prvkov. Opiera sa o základné princípy stanovené v relevantných technických normách, ako sú STN EN 752 a STN 75 6101, a reflektuje ciele strategických dokumentov vrátane Plánu manažmentu povodňového rizika či koncepcie hospodárenia s dažďovou vodou v urbanizovanom prostredí. Podrobné odkazy na konkrétne normy však neboli súčasťou tejto práce v plnom rozsahu, keďže jej cieľom bolo predovšetkým demonštrovať princípy a možnosti riešení na úrovni konceptuálneho návrhu a územného plánovania.

V súhrne možno konštatovať, že diskutované výsledky poskytujú podrobné podklady pre rozhodovanie, pričom zohľadňujú nielen bežné prevádzkové režimy, ale aj extrémne zaťažovacie situácie s potenciálom spôsobenia povrchového zaplavenia či zaťaženia siete. Detailný hydraulický výpočet všetkých profilov síce nebol

realizovaný, no modelové výstupy potvrdzujú, že tieto opatrenia významne prispievajú k zníženiu odtoku počas kulminácie dažďových prietokov. To naznačuje, že systém môže prispieť k zníženiu hydraulického preťaženia kanalizačnej siete najmä v prípadoch krátkych, intenzívnych dažďov. Spojenie viackriteriálneho hodnotenia s podrobnou dynamickou simuláciou tak predstavuje robustný rámec na posúdenie účinnosti adaptačných opatrení a ponúka ucelený návod pre ďalší rozvoj plánovania hospodárenia so zrážkovými vodami v urbanizovaných územiach.

5 Záver

Na základe komplexných výpočtov, zahŕňajúcich osem rôznych zaťažovacích scenárov, bolo preukázané, že stoková sieť v posudzovanom území vykazuje značné kapacitné limity už pri bežnej prevádzke, pričom pri návrhových a reálnych extrémnych dažďových udalostiach je jej funkčnosť ohrozená. Dynamické simulácie ukázali, že niektoré profily sú schopné absorbovať len minimálny dodatočný prítok bez toho, aby došlo k vzniku tlakových stavov alebo priamo k povrchovému výveru vody. Tento stav sa potvrdil najmä v úsekoch s vysokým odtokovým súčiniteľom a menšou prierezovou kapacitou, čo by malo byť v budúcnosti prioritne riešené.

Implementácia adaptačných opatrení v podobe vegetačných striech a dažďových nádrží bola overená nielen cez simulačné modely, ale aj prostredníctvom viackriteriálneho hodnotenia, ktoré jednoznačne stanovilo vyššiu technickú účinnosť variantu dažďových nádrží. Tento variant preukázal schopnosť znižovať hydraulické zaťaženie, rozkladať kulminačné prietoky a stabilizovať tlakové pomery, čo sa prejavilo v preferenčnom skóre dosahujúcom ideálnu hodnotu podľa metódy TOPSIS. Napriek tomu nemožno vylúčiť ani dôležitosť vegetačných striech, ktoré v priestorovo limitovaných zónach ponúkajú aspoň čiastočné riešenie, najmä pri regulácii prvej dažďovej vlny a pri zlepšení mikroklimatických podmienok. Prínosom tejto práce je, že hodnotila hydraulickú odozvu nielen na teoretické návrhové scenáre, ale aj na reálne historické zrážky, čím bola overená robustnosť modelu voči reálnym atmosférickým situáciám. Aj keď verifikácia poukázala na isté rozdiely medzi simulovanými a nameranými hodnotami, tieto rozdiely možno v budúcnosti eliminovať presnejšou kalibráciou parametrov na základe dlhodobějších monitorovacích údajov.

Závery z jednotlivých zaťažovacích stavov, predovšetkým ZS5 a ZS8, zdôraznili, že kapacitná rezerva stokovej siete je pri opakujúcich sa extrémoch veľmi nízka, čo znamená, že dlhodobé adaptácie musia zahŕňať nielen technické opatrenia, ale aj strategické plánovanie územného rozvoja, ktoré zohľadní prítomnosť neprestajne sa meniacej klímy a rastúce hustoty zastavanosti. Pre prax je preto odporúčané uvažovať s kombinovanými riešeniami, kde sa výhody decentralizovaných retenčných nádrží spoja s plošným efektom vegetačných striech, čím sa vytvorí viacúrovňová obrana proti kulmináčnym prietokom a ich dôsledkom. Takýto hybridný prístup môže podporiť udržateľné hospodárenie so zrážkovými vodami v mestách, zlepšiť mikroklimatické pomery a súčasne zvýšiť prevádzkovú bezpečnosť kanalizačných systémov počas stále častejších extrémnych udalostí. Ďalší rozvoj navrhovaných riešení bude do značnej miery závisieť od dostupnosti kvalitných dát a od systematického monitoringu hydraulického správania sietí v reálnych podmienkach.

6 Literatúra

[1] ZHOU, Q. A review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts. *Water*, 2014 [online]. Vol. 6 (4), pp. 976-992. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/w6040976>

[2] HYDROCOOP, s.r.o. Aktualizácia územného generelu vodných tokov a protipovodňovej ochrany na území hlavného mesta Slovenskej republiky Bratislavy. Bratislava, 2022 [online]. 293 s. Dostupné z: https://cdn-api.bratislava.sk/strapi-homepage/upload/textova_cast_a73c1b7990.pdf

[3] ELLIOTT, A. H., TROWSDALE, S. A. A review of models for low impact urban stormwater drainage. *Environmental Modelling & Software*, 2007 [online]. Vol. 22 (3), pp. 394-405. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.12.005>.

[4] AULENBACH, B. T. et al. Effect of impervious area and BMP Implementation and Design on Storm Runoff and Water Quality in Eight Small Watersheds. *Journal of the American Water Resources Association*, 2017 [online]. Vol. 53 (2), pp. 382-399. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12501>

[5] BUTLER, D. et al. Urban Drainage. *CRC Press*, 2018 [online]. 592 p. ISBN: 978-1-35111-7430-5. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/9781351174305>

[6] WILLEMS, P. et al. Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: Methods and shortcomings. *Atmospheric Research*, 2012 [online]. Vol. 103, pp. 106-118. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.04.003>

[7] FLETCHER, T.D. et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 2015 [online]. Vol. 12 (7), pp. 525-542. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>

[8] CHARLESWORTH, S.M. A Review of the Adaptation and Mitigation of Global Climate Change Using Sustainable Drainage in Cities. *Journal of Water and Climate Change*, 2010 [online]. Vol. 1 (3), pp. 165-180. Dostupné z: <https://doi.org/10.2166/wcc.2010.035>

[9] MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *IJGIS*, 2006 [online]. Vol. 20 (7), pp 703-726. eISSN: 1362-3087. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>

- [10] SEMADENI-DAVIES, A. et al. The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Combined sewer system. *Journal of Hydrology*, 2008 [online]. Vol. 350 (1-2), pp.100-113. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.05.028>
- [11] LI, H. et al. Sponge City Construction in China: A Survey of the Challenges and Opportunities. *Water*, 2017 [online]. Vol. 9 (9), pp. 594. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/w9090594>
- [12] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. *Cambridge University Press*, 2021. 2391 p. ISBN: 978-1-0091-05789-6. DOI: [10.1017/9781009157896](https://doi.org/10.1017/9781009157896)
- [13] KUNDZEWICZ, Z. W., DÖLL, P. Will groundwater ease freshwater stress under climate change? *Hydrological Sciences Journal*, 2009 [online]. Vol. 54(4), pp. 665–675; Dostupné z: <https://doi.org/10.1623/hysj.54.4.665>
- [14] BATES, B. C. et al. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2008. ISBN: 978-92-9169-123-4.
- [15] ROSENZWEIG, C. et al. Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network. Cambridge University Press, 2011 [online]. pp. 249-270. ISBN: 9781107004207. DOI: [10.1017/CBO9780511783142](https://doi.org/10.1017/CBO9780511783142)
- [16] MEASHAM, T. G. et al. Adapting to climate change through local municipal planning: barriers and challenges. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2011 [online]. Vol. 16 (8), pp. 889–909. DOI: [10.1007/s11027-011-9301-2](https://doi.org/10.1007/s11027-011-9301-2)
- [17] LINKOV, I., MOBERG, E. Multi-Criteria Decision Analysis: Environmental Applications and Case Studies. CRC Press (1st ed.), 2012 [online]. 204 p. eISBN: 978-0-4291-0753-5; DOI: [10.1201/b11471](https://doi.org/10.1201/b11471)
- [18] MILLY, P. C. D., et al. Climate change: Stationarity is dead: Whither water management? *Science*, 2008 [online]. Vol. 319 (5863), pp. 573–574. DOI: [10.1126/science.1151915](https://doi.org/10.1126/science.1151915)
- [19] MŽP SLOVENSKEJ REPUBLIKY. Stratégia adaptácie Slovenskej republiky na zmenu klímy. Bratislava, 2018 [online]. Dostupné z: <https://www.minzp.sk/files/odbor-politiky-zmeny-klimy/strategia-adaptacie-sr-zmenu-klimy-aktualizacia.pdf>

[20] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 – An indicator-based report. EEA No 1/2017 [online]. ISBN: 978-92-9213-835-6. DOI: [10.2800/534806](https://doi.org/10.2800/534806)

[21] VÍTEK, J. et al. Hospodáření s dešťovou vodou v ČR. Praha: 01/71 ZO ČSOP Koniklec, 2016. ISBN 9788026078159.

[22] JACOBSON, C. R. Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review. *Journal of Environmental Management*, 2011 [online]. Vol. 92 (6), pp. 1438–1448. DOI: [10.1016/j.jenvman.2011.01.018](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.01.018)

[23] SENEVIRATNE, S. I., et al. Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 2010 [online]. Vol. 99 (3), pp. 125–161. DOI: [10.1016/j.earscirev.2010.02.004](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004)

[24] FENDEKOVÁ, M., et al. Hydrologické sucho na Slovensku a prognóza jeho vývoja. *Univerzita Komenského v Bratislave*, 2018. 300 s. ISBN: 978-80-223-4510-1.

[25] MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY. Správa o stave životného prostredia Slovenskej republiky v roku 2019. Bratislava, 2020. 179 s. ISBN: 978-80-8213-028-0.

[26] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Protecting Water Resources with Smart Growth. *US EPA 231-R-04-002*, 2004 [online]. 120 p. Dostupné z: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-04/documents/protecting-water-resources.pdf>

[27] SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. Vodohospodárska bilancia kvality podzemnej vody SR v roku 2020. *SHMÚ, 2021* [online]. 94 s. Dostupné z: https://www.shmu.sk/File/Hydrologia/Vodohospodarska_bilancia/VHB_kvalita_PzV/KvPzV_2020_VHB_text.pdf

[28] UNITED NATIONS. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. *ST/ESA/SER.A/420*, 2019 [online]. 126 p. ISBN: 978-92-1-148319-2. Dostupné z: <https://population.un.org/wup/assets/WUP2018-Report.pdf>

[29] GRIMM, N. B. et al. Global Change and the Ecology of Cities. *Science*, 2008 [online]. Vol. 319 (5864), pp. 756–760; DOI:[10.1126/science.1150195](https://doi.org/10.1126/science.1150195)

- [30] KARPATSKÝ ROZVOJOVÝ INŠTITÚT. Katalóg adaptačných opatrení miest a obcí Bratislavského samosprávneho kraja na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy. *Bratislavský samosprávny kraj*, 2016 [online]. 156 p. Dostupné z: <https://bratislavskyykraj.sk/wp-content/uploads/2022/07/katalog-adaptacnych-opatreni-miest-a-obci-bsk-na-nepriaznive-dosledky-zmeny-klimy.pdf>
- [31] VÍTEK, J. Odvodňovanie urbanizovaných území podľa princípů udržiteľného rozvoje. *Urbanismus a územní rozvoj*, 2008. Vol. 11 (4), pp. 15-26. ISSN: 1212-0855.
- [32] OKE, T. R. The urban energy balances. *Progress in Physical Geography*, 1988. Vol. 12 (4), pp. 471-508. DOI: [10.1177/030913338801200401](https://doi.org/10.1177/030913338801200401)
- [33] SZTRUHÁR, D., SOKÁČ, M. Hydrológia urbanizovaných území. Bratislava: *Slovenská technická univerzita v Bratislave*, 2005. 192 s. ISBN: 80-227-2220-0.
- [34] URCIKÁN, P., RUSNÁK, D. Stokovanie a čistenie odpadových vôd: Stokové siete I. Bratislava: *Slovenská technická univerzita v Bratislave*, 2011. 324 s. ISBN: 978-80-227-3435-6.
- [35] JANDORA, J., STARÁ, V., STARÝ, M. Hydraulika a hydrologie: Modul 01. Učebný text, Brno. *CERM&FAST VUT*, 2005. 186 s.
- [36] HLAVÍNEK, P. et al. Stokování a čištění odpadních vod: Modul 1. Učební text, Brno. *CERM&FAST VUT*, 2006. 132 s.
- [37] LEE, J. H., BANG, K.W. Characterization of urban stormwater runoff. *Water Research*, 2020 [online]. Vol. 34 (6), pp. 1773-1780. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00325-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00325-5).
- [38] NOVOTNÝ, V., BROWN, P. Cities of the Future: Towards Integrated Sustainable Water and Landscape Management. IWA Publishing, 2007. 427 p. ISBN-13: 978-1843391364.
- [39] MELANDS, S. Management of contaminated runoff water: Current practice and future research needs. *CEDR*, 2016. 84 p. ISBN: 979-10-93321-18-9.
- [40] CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., & MAYS, L. W. Applied Hydrology. New York: *McGraw-Hill*, 1988. 540 p. ISBN: 0-07-100174-3.
- [41] WANG, S. et al. Pollutant concentrations and pollution loads in stormwater runoff from different land uses in Chongqing. *Journal of Environmental Sciences*, 2013. Vol. 25 (3), pp. 502-510. ISSN: 1001-0742.

[42] GERMAN DWA-RULES AND STANDARDS. Standard DWA-A 138: Planning, Construction and Operation of Facilities for the Percolation of Precipitation Water © DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, 2005. ISBN 978-3-937758-74-9.

[43] WURBS, R. A., & JAMES, W. P. Water Resources Engineering. *Upper Saddle River: Prentice Hall*, 2002. 828 p. ISBN: 978-0-13-081293-3.

[44] SLOVENSKÝ ÚSTAV TECHNICKÉJ NORMALIZÁCIE. STN 75 6101: Gravitačné kanalizačné systémy mimo budov. Bratislava, 2016.

[45] MAYS, L. W. Water Resources Engineering (2nd ed.). *John Wiley & Sons*, 2011. ISBN: 978-0-470-46064-1.

[46] ROSSMAN, L. A. Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1. *United States Environmental Protection Agency*, EPA/600/R-14/413b, 2015. 353 p.

[47] VIESSMAN, W., et al. Introduction to Hydrology (4th ed.). *Harper & Row*, 1989 [online]. 751 p. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/344734328/Introduction-to-Hydrology-by-Warren-Viessman>.

[48] MARSALEK, J., SCHREIER, H. Innovation in Stormwater Management in Canada: The Way Forward. *Water Quality Research Journal of Canada*, 2009 [online]. Vol. 44 (1), v-x. Dostupné z: <https://doi.org/10.2166/wqrj.2009.001>

[49] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Guide to Hydrological Practices. Volume II: Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices (6th ed.). *WMO*, 2009 [online]. No. 168, 302 p. ISBN: 978-92-63-10168-6. Dostupné z: <https://library.wmo.int/viewer/36066/?offset=#page=4&viewer=picture&o=bookmark&n=0&q>

[50] MAYS, L. W. Stormwater Collection Systems Design Handbook. *The McGraw-Hill Companies*, 2001. ISBN: 978-0-0713-5471-4.

[51] AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems. *ASCE*, 1992 [online]. 714 p. Dostupné z: https://books.google.sk/books?id=vWtXEohjy5cC&pg=PA8-A22&hl=sk&source=gbs_toc_r&cad=2#v=onepage&q&f=false

[52] LAOUACHERIA, F. et al. Modeling the impact of design rainfall on the urban drainage system by Storm Water Management Model. *Journal of Water and Land Development*, 2019 [online]. No. 40 (I-II), pp. 119-125. DOI: [10.2478/jwld-2019-0013](https://doi.org/10.2478/jwld-2019-0013)

[53] YEN, B. C., CHOW, V. T. Design hyetographs for small drainage structures. *Journal of the Hydraulics Division*, 1980 [online]. Vol. 106 (6), pp. 1055-1076. Dostupné z: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/JYCEAJ.0005442>

[54] HUFF, F. A. Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms. *Water Resources Research*, 1967 [online]. Vol. 3 (4), pp. 1007–1019. https://doi.org/10.1029/WR003i004p01007open_in_new

[55] KRVAVICA, N., RUBINIĆ, J. Evaluation of Design Storms and Critical Rainfall Durations for Flood Prediction in Partially Urbanized Catchments. *Water*, 2020 [online]. Vol. 12 (7), 2044 p. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/w12072044>

[56] ŠIFALDA, J. Návrhové zrážky pro hydrologické výpočty. Praha: *Hydrometeorologický ústav*, 1983.

[57] BHATTACHARJEE, V. N. et al. A history matching approach for calibrating hydrological models. *Environ Ecol Stat*, 2019 [online]. Vol. 26, pp. 87-105. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10651-019-00420-9>

[58] LI, W., et al. High temporal resolution rainfall–runoff modeling using long-shortterm-memory (LSTM) networks. *Neural Computing and Applications*, 2021 [online]. Vol. 33, pp. 1261 – 1278. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05010-6>

[59] ROSSMAN, L. A., HUBER, W. C. Storm Water Management Model Reference Manual, Volume I: Hydrology. *United States Environmental Protection Agency*, EPA/600/R-15/162A, 2016.

[60] JAMES, W., et al. User's Guide to SWMM5 (13th ed.). *ChiPress*, 2010. 905 p.

[61] BROEKHUIZEN, I. Uncertainties in rainfall-runoff modelling of green urban drainage systems Measurements, data selection and model structure. *Lulea University of Technology*, 2019. 137 p. ISSN: 1402-1757

[62] DHI. MIKE URBAN Model Manager, User Guide. 2017.

[63] HERNES, R. R. et al. Assessing the effects of four SUDS scenarios on combined sewer overflows in Oslo, Norway: evaluating the low-impact development module of the Mike Urban model. *Hydrology Research*, 2020. Vol. 51 (6), pp. 1437-1454.

[65] ZOOPPOU, CH. Review of urban storm water models. *Environmental Modelling & Software*, 2001 [online]. Vol. 16, pp. 195-231. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(00\)00084-0](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(00)00084-0)

[66] SEMADENI-DAVIES, A. et al. The impacts of climate change and urbanization on drainage in Helsingborg, Sweden: Combined sewer system. *Journal of Hydrology*, 2008 [online]. Vol. 350 (1-2), pp. 100-113. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.05.028>

[67] SEMADENI-DAVIES, A. et al. The impacts of climate change and urbanization on drainage in Helsingborg, Sweden: Suburban stormwater. *Journal of Hydrology*, 2008 [online]. Vol. 350 (1-2), pp. 114-125. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.006>

[68] FERRANS, P. et al. Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review. *Science of The Total Environment*, 2022 [online]. Vol. 806 (2). Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150447>

[69] ZHANG, K. et al. Evaluating the reliability of stormwater treatment systems under various future climate conditions. *Journal of Hydrology*, 2019 [online]. Vol. 568, pp. 57-66. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.056>

[70] BANJARA, M. et al. Impact of Land Use and Land Cover Change on Hydrological Processes in Urban Watersheds: Analysis and Forecasting for Flood Risk Management. *Geosciences*, 2024 [online]. Vol. 14 (2), 40 p. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/geosciences14020040>

[71] MONTALTO, F., et al. Rapid assessment of the cost-effectiveness of low impact development for CSO control. *Landscape and Urban Planning*, 2007 [online]. Vol. 82 (3), pp. 117–131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.004>

[72] SHAFIQUE, M., KIM, R. Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions. *Ecological Chemistry and Engineering*, 2015 [online]. Vol. 22 (4), pp. 543-563. Dostupné z: DOI: [10.1515/eces-2015-0032](https://doi.org/10.1515/eces-2015-0032)

[73] O'DRISCOLL, M., et al. Urbanization effects on watershed hydrology and in-stream processes in the southern United States. *Water*, 2010 [online]. Vol. 2 (3), pp. 605–648. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/w2030605>

[74] BESSEDIK, M., et al. Strategic Decision-Making in Sustainable Water Management Using Demand Analysis and the Water Evaluation and Planning Model. Sustainability, 2023 [online]. Vol. 15 (22). Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su152216083>

[75] PERRELET, K., et al. Engineering blue-green infrastructure for and with biodiversity in cities. *Urban sustainability*, 2024 [online]. Vol. 4 (27). Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s42949-024-00163-y>

[76] KIRSHEN, P., et al. Integrated urban water management applied to adaptation to climate change. *Urban Climate*, 2018 [online]. Vol. 24, pp. 247-263. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.03.005>

[77] BROWN, R. R., FARRELLY, M. A. Delivering sustainable urban water management: A review of the hurdles we face. *Water Science & Technology*, 2009 [online]. Vol. 59 (5), pp. 839–846. DOI: [10.2166/wst.2009.028](https://doi.org/10.2166/wst.2009.028)

[78] ELLIS, J.B. Sustainable surface water management and green infrastructure in UK urban catchment planning. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2010 [online]. Vol. 56 (1), pp. 24-41. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/09640568.2011.648752>

[79] JIANG, Y., ZEVENBERGEN, C., & MA, Y. Urban pluvial flooding and stormwater management: A contemporary review of China's challenges and responses. *Water*, 2018. Vol. 10 (7), 948 p.

[80] STRÁNSKY, D., et al. Studie hospodáření se srážkovými vodami v urbanizovaných územích. *CzWA*, 2019 [online]. 130 p. Dostupné z: https://mzp.gov.cz/system/files/2024-11/OAZK-studie_HDV-20241127.pdf

[81] MULLIGAN J., et al. Hybrid infrastructures, hybrid governance: New evidence from Nairobi on green-blue-grey infrastructure in informal settlements. "Urban hydroclimatic risks in the 21st century: Integrating engineering, natural, physical and social sciences to build resilience" *Anthropocene*, 2020 [online]. Vol. 29 (4). Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2019.100227>

[82] HORTON, R. E. An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. *Soil Science Society of America Journal*, 1941 [online]. Vol. 5 ©, pp. 399–417. ISSN: 0361-5995. Dostupné z: <https://doi.org/10.2136/sssaj1941.036159950005000C0075x>

[83] YANG, M., et al. Improving the Horton infiltration equation by considering soil moisture variation. *Journal of Hydrology*, 2020 [online]. Vol. 586. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124864>

[84] ATTA-DARWA, T., et al. Performance evaluation of infiltration models under different tillage operations in a tropical climate. *Scientific African*, 2022 [online]. Vol. 17. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01318>

[85] SOKÁČ, M., et al. Využitie prostriedkov hydroinformatiky v mestskej hydrológii. Učebná pomôcka. *Katedra zdravotného inžinierstva SvF STU v Bratislave a Katedra technickej kybernetiky a umelej inteligencie FEI TU v Košiciach*, 1999. 305 p. ISBN: 80-85330-64-4.

[86] BERNDTSSON, J. C. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 2010 [online]. Vol. 36(4), pp. 351–360. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>

[87] URCIKÁN, P., RUSNÁK, D. Stokovanie a čistenie odpadových vôd, Stokovanie II, Objekty na stokovej sieti. Slovenská technická univerzita v Bratislave: *Vydavateľstvo STU*, 2011. ISBN 978-80-227-3434-9.

[88] WOODS BALLARD, B., et al. The SuDS Manual. Version 5. © CIRIA, 2015 [online]. 964 p. ISBN: 978-0-86017-760-9. Dostupné z: <http://www.scotsnet.org.uk/documents/nrdg/ciria-report-c753-the-suds-manual-v6.pdf>.

[89] ZBIERKA ZÁKONOV SLOVENSKEJ REPUBLIKY. Zákon č. 364/2004 Z. z. o vodách. 2004 [online]. Dostupné z: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2004/364/>

[90] ZBIERKA ZÁKONOV SLOVENSKEJ REPUBLIKY. Zákon č. 50/1976 Zb. o územnom plánovaní a stavebnom poriadku. 1976 [online]. Dostupné z: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/1976/50/>

[91] EUROPEAN COMMISSION. Stratégia adaptácie na zmenu klímy EÚ 2021. [online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0082>

[92] EUROPEAN PARLIAMENT & COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. Smernica 2000/60/ES, ktorou sa ustanovuje rámec pre činnosť Spoločenstva v oblasti vodnej politiky. *Úradný vestník Európskych spoločenstiev*, 2000 [online]. L 327, 1–73. Dostupné na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX:32000L0060>

[93] EURÓPSKY PARLAMENT & RADA EURÓPSKEJ ÚNIE. Smernica 2007/60/ES Európskeho parlamentu a Rady z 23. októbra 2007 o hodnotení a manažmente povodňových rizík. *Úradný vestník Európskej únie*, 2007 [online]. L 288, 27–34. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX:32007L0060>

[94] RADA EURÓPSKÝCH SPOLOČENSTIEV. Smernica Rady 91/271/EHS z 21. mája 1991 o čistení komunálnych odpadových vôd. *Úradný vestník Európskych spoločenstiev*, 1991 [online]. L 135, pp. 40–52. [cit. 16.03.2025]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX:31991L0271>

[95] EURÓPSKA KOMISIA. Oznámenie komisie európskemu parlamentu, rade, európskemu hospodárskemu a sociálnemu výboru a výboru regiónov. *Koncepcia na ochranu vodných zdrojov Európy* (COM(2012) 673 final), 2012 [online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX:52012DC0673>

[96] MŽP SR. Zelenšie Slovensko: Stratégia environmentálnej politiky SR do roku 2030. Bratislava, 2019 [online]. Dostupné z: https://www.minzp.sk/files/iep/publikacia_zelensie-slovensko-sj_web.pdf

[97] MŽP SR. Oznámenie o strategickom dokumente. Plán manažmentu povodňového rizika v čiastkových povodiach Slovenskej republiky. *Slovenská agentúra životného prostredia*, 2021 [online]. 21 p. Dostupné na: https://cms.minzp.sk/files/sekcia-vod/oznamenie-sd-pmpr_final2021.pdf

[98] EUROPEAN COMMISSION. Guidance on integrating climate change and biodiversity into environmental impact assessment. *Publications Office of the European Union*, 2013 [online]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/environment/eia/pdf/EIA%20Guidance.pdf>

[99] PORTNER, H. O., et al. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. © 2022 *Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2022 [online]. 168 p. DOI: [10.1017/9781009325844](https://doi.org/10.1017/9781009325844).

[100] MAGISTRÁT HLAVNÉHO MESTA SR. *Akčný plán adaptácie na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy hlavného mesta SR Bratislavy 2017-2020*. Bratislava, 2017 [online]. 94 s. [cit. 13.05.2025]. Dostupné z:

https://mycovenant.eumayors.eu/storage/web/mc_covenant/documents/17/yUYkIS5oqAVN7sNIm8PQzfFSxCvORHg3.pdf

[101] MAGISTRÁT HLAVNÉHO MESTA SR. *Informácia o plnení opatrení Akčného plánu adaptácie na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy na území hlavného mesta SR Bratislavy za roky 2019-2020*. Bratislava, 2021 [online]. 38 s. Dostupné na: https://cdn-api.bratislava.sk/strapi-homepage/upload/AP_ZK_Priebezna_sprava_2019_2020_30032021_v2_c6ab839364.pdf

[102] OBERNDORFER, E., et al. Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. *BioScience*, 2007 [online]. Vol. 57 (10), pp. 823–833. Dostupné z: <http://www.bioone.org/doi/full/10.1641/B571005>

[103] GETTER, K. L., ROWE, D. B. The Role of Extensive Green roofs in Sustainable Development. *HortScience*, 2006 [online]. Vol. 41(5), pp. 1276–1285. Dostupné z: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.5.1276>

[104] MENTENS, J., et al. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 2006 [online]. Vol. 77 (3), pp. 217–226. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2005.02.010](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010)

[105] ČSN 83 9051. Technologie vegetačních úprav v krajině – Rozvojová a udržovací péče o vegetační plochy. *Český normalizační institut*, 2010.

[106] ASB. Poznáme najkrajšie zelené strechy Slovenska 2022. [online]. [cit. 19.03.2025]. Dostupné z: <https://www.asb.sk/zelena-obnova/pozname-najkrajšie-zelene-strechy-slovenska-2022>

[107] PERINI, K., & ROSASCO, P. Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment*, 2013 [online]. Vol. 70, pp. 110–121. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.012>

[108] OTTELÉ, M., et al. Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. *Energy and Buildings*, 2011 [online]. Vol. 43 (12), pp. 3419–3429. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.010>

[109] MANSO, M., CASTRO-GOMES, J. Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015 [online]. Vol. 41 (78-88), pp. 863–871. DOI: [10.1016/j.rser.2014.07.203](https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203)

[110] BURIAN, S., DUBSKÝ, M., VEJVARA L. Ozelenení fasád: Metodika. Svaz zakládání a údržby zeleně, 2022 [online]. 68 s. [cit. 13.03.2025]. Dostupné z: https://opzp.cz/files/documents/storage/2024/06/07/1717761181_Ozelen%C4%9Bn%C3%AD%20fas%C3%A1d_metodika.pdf

[111] ALEXANDRI, E., JONES, P. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 2008 [online]. Vol. 43 (4), pp. 480–493. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>

[112] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Green Infrastructure Design and Implementation. EPA, 2021 [online]. [cit. 28.03.2025]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/green-infrastructure>

[113] DIETZ, M. E. Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2007 [online]. Vol. 186 (1–4), pp. 351–363. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11270-007-9484-z>

[114] DEBUSK, K. M., et al. Rainwater harvesting: A comprehensive review of literature. *Water Practice & Technology*, 2014 [online]. Vol. 9 (2), pp. 185–199. Dostupné z: <https://repository.lib.ncsu.edu/server/api/core/bitstreams/d49ca053-51fc-445f-b964-8e11230f6ae7/content>

[115] BLECKEN, G. T., et al. Stormwater control measure (SCM) maintenance considerations to ensure designed functionality. *Urban Water Journal*, 2017 [online]. Vol. 14 (3), pp. 278–290. URL: DOI: [10.1080/1573062X.2015.1111913](https://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1111913)

[116] SHAFIQUE, M., KIM, R., & RAFIQ, M. Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018 [online]. Vol. 90, pp. 757–773. DOI: [10.1016/j.rser.2018.04.006](https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.006)

[117] THOMAS, T., DURHAM, B. Integrated Water Resource Management: Looking at the Whole Picture. *Desalination*, 2003 [online]. Vol. 156(1–3), pp. 21–28. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(03\)00320-5](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00320-5).

[118] NOVOTNY, V., et al. Water Centric Sustainable Communities: Planning, Retrofitting, and Building the Next Urban Environment. *John Wiley & Sons*, 2010. pp. 624. ISBN: 978-0-470-47608-6.

[119] KADLEC, R. H., WALLACE, S. D. Treatment Wetlands (2nd ed.). *CRC Press*, 2009 [online]. pp. 366. [cit. 29.03.2025]. ISBN: 978-1-56670-526-4. Dostupné z: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/KADLEC%20WALLACE%202009%20Treatment%20Wetlands%202nd%20Edition_0.pdf

[120] ČSN 75 6261. Dešťové nádrže. Český normalizační institut, 2000.

[121] WONG, T. H. F., & BROWN, R. R. The water sensitive city: Principles for practice. *Water Science & Technology*, 2009 [online]. Vol. 60(3), pp. 673–682. Dostupné z: <https://doi.org/10.2166/wst.2009.436>

[122] DOPARKU. Park pod Plachtami. [online]. [cit. 30.03.2025]. Dostupné z: <https://doparku.cz/projekt/park-pod-plachtami/>

[123] BAAR BRATISLAVA ARCHITECTS. Park Jama. [online]. [cit. 30.03.2025]. Dostupné z: <https://www.baar.sk/jama/>

[124] TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE. Biotechnické inovácie pri zadržiavaní a využití dažďovej vody. Projekt podporený z grantov EHP a štátneho rozpočtu SR. Zvolen, 2019 [online]. [cit. 02.04.2025]. Dostupné z: <https://www.tuzvo.sk/sk/granty-ehp-0>

[125] MY ZVOLEN. Vynovené okolie Technickej univerzity vo Zvolene je plné vody. SME, 2017 [online]. Dostupné z: <https://myzvolen.sme.sk/g/73378/vynovene-okolie-technickej-univerzity-vo-zvolene?gref=https%3A%2F%2Fmyzvolen.sme.sk%2Fc%2F20672504%2Fvynovene-okolie-univerzity-vo-zvolene-je-plne-vody.html&list=1>

[126] FIGUEIRA, J., et al. Multiple criteria decision analysis: State of the Art Surveys. *Springer Science*, 2005. pp. 1063. DOI: [10.1007/b100605](https://doi.org/10.1007/b100605)

[127] L. SAATY, T., et al. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. *Springer*, 2022 [online]. Vol. 175. DOI: [10.1007/978-1-4614-3597-6](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6)

[128] AXELSSON, C., et al. Urban pluvial flood management Part 2: Global Perceptions and Priorities in Urban Stormwater Adaptation Management and Policy Alternatives. *Water*, 2021 [online]. Vol. 13 (17), 2433 p. DOI: [10.3390/w13172433](https://doi.org/10.3390/w13172433)

[129] HWANG, C. L., YOON, K. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications *a State of the Art Survey*, 1981. Springer.

[130] BEHZADIAN, M., OTAGHSARA, S. K., YAZDANI, M., & IGNATIUS, J. A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 2012 [online]. Vol. 39 (17), pp. 13051–13069. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>

[131] ZAVADSKAS, E. K., et al. *State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods*. Technological and Economic Development of Economy, 2014 [online]. Vol. 20 (1), pp. 165–179. DOI: [10.3846/20294913.2014.892037](https://doi.org/10.3846/20294913.2014.892037)

[132] KULLER, M., et al. Framing water sensitive urban design as part of the urban form: A critical review of tools for best planning practice. *Environmental Modelling & Software*, 2017 [online]. Vol. 96, pp. 265-282. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.07.003>

[133] LI, Q., et al. Comprehensive performance evaluation of LID practices for the sponge city construction: A case study in Guangxi, China. *Journal of Environmental Management*, 2019 [online]. Vol. 231, pp. 10-20. DOI: [10.1016/j.jenvman.2018.10.024](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.024)

[134] ZENG, C., et al. Evaluation of the Cost-Effectiveness of Green Infrastructure in Climate Change Scenarios Using TOPSIS. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021 [online]. Vol. 64 (11). DOI:[10.1016/j.ufug.2021.127287](https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127287)

[135] ALVES, A., et al. Assessing the Co-Benefits of green-blue-grey infrastructure for sustainable urban flood risk management. *Journal of Environmental Management*, 2019 [online]. Vol. 239, pp. 244-254. DOI:[10.1016/j.jenvman.2019.03.036](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.036)

[136] MAZÚR, E., LUKNIŠ, M. Regionálne geomorfologické členenie SSR. *Geografický časopis*, 1978 [online]. Vol. 30 [cit. 03.04.2025]. Dostupné z: https://www.sav.sk/journals/uploads/10251027GC_1978_2_1_Mazur%20et%20al..pdf

[137] ŠEBESTA, I. Hydrogeologický prieskum: Bratislava-Rača-Pekná cesta. *Štátny geologický ústav Dionýza Štúra*. Bratislava, 2021. [online]. Dostupné z: databázy ŠGÚDŠ.

[138] ANDRUSOV, D. Geológia československých Karpát. Slovenská akadémia vied, Bratislava, 1958.

[139] RADINJA, M., COMAS, J., COROMINAS, L., ATANASOVA, N. Assessing stormwater control measures using modelling and a multi-criteria approach. *Journal of Environmental Management*, 2019. Volume 243. Pages 257-268. ISSN 0301-4797.

[140] MAGISTRÁT HLAVNÉHO MESTA SR. Aktualizácia územného generelu odkanalizovania hlavného mesta SR Bratislavy. *AUREX*, 2009 [online]. Dostupné z: <https://www.bratislava.sk/zivotne-prostredie-a-vystavba/rozvoj-mesta/uzemnoplanovacie-dokumenty/prerokovane-uzemnoplanovacie-podklady/uzemne-generely>

[141] MAGISTRÁT HLAVNÉHO MESTA SR. *Atlas hodnotenia zraniteľnosti a rizík nepriaznivých dôsledkov zmeny klímy na území hlavného mesta SR Bratislavy*. Bratislava, 2022. 130 s. ISBN 978-80-570-2203-9.

[142] MAGISTRÁT HLAVNÉHO MESTA SR. *Územný plán hlavného mesta SR Bratislavy: Grafická časť*. Bratislava, 2022 [online]. [cit. 12.03.2025]. Dostupné z: <https://bratislava.sk/zivotne-prostredie-a-vystavba/rozvoj-mesta/uzemnoplanovacie-dokumenty/platna-uzemnoplanovacia-dokumentacia/uzemny-plan-mesta-a-jeho-zmeny-a-doplňky/uphm2007>

[143] BUTLER, D., DAVIES, J. W. *Urban Drainage* 3rd edition. Abingdon: Spon Press, 2011. 652 p. ISBN 978-0415455251.

[144] EKOLIST.CZ. *Povrchové retenční dešťové nádrže: zatím nevyužitá příležitost městské a příměstské krajiny* [online]. 2024 [cit. 27.06.2025]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/publicistika/priroda/povrchove-retencni-destove-nadrze-zatim-nevyuzita-prilezitost-mestske-a-primestske-krajiny>

7 Publikačná činnosť

V2 Vedecký výstup publikačnej činnosti ako časť editovanej knihy alebo zborníka

- V2_01 HRUDKA, Jaroslav - ŠUTÚŠ, Marek - CSÓKA, Marek - RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea.] - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Wastewater disposal - historical research review. In *Proceedings from 10th Conference of Young Researchers - KOMVY 2021 [elektronický zdroj]* : virtuálny priestor, Bratislava, SR, 29. - 30. 4. 2021. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2021, CD-ROM, s. 52-57. ISBN 978-80-227-5092-9. Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_02 HRUDKA, Jaroslav - ŠUTÚŠ, Marek - CSÓKA, Marek - RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea.] - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Combined sewer overflow chamber analysis based on CFD modelling. In *Young Scientist 2021 (YS21) [elektronický zdroj]* : proceedings of the 13th International Scientific Conference of Civil and Environmental Engineering for PhD. Students and Young Scientists. 13th-15th October 2021, High Tatras, Slovakia. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2021, online, [7] s., art. no. 012019. ISSN 1757-899X. V databáze: DOI: 10.1088/1757-899X/1209/1/012019. Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_03 HRUDKA, Jaroslav - RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea.] - ŠUTÚŠ, Marek - STANKO, Štefan. Analysis of the efficiency of the CSO chamber at extreme wastewater flow. In *SGEM 2021. 21th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Volume 21. Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems : proceedings. Vienna, Austria, 7-10 December 2021*. 1. vyd. Viedeň : SGEM World Science, 2021, S. 61-68. ISSN 1314-2704. ISBN 978-1-7138-5236-0. V databáze: DOI: 10.5593/sgem2021V/3.2/s12.09 ; SCOPUS: 2-s2.0-85131940963. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC
- V2_04 HRUDKA, Jaroslav - WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - STANKO, Štefan - RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea.] - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Possibilities of Sewage Treatment Temporarily Accumulated in Sumps. In *SGEM 2022. 22nd International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Volume 22 : conference proceedings. 04 - 10 July, 2022, Albena, Bulgaria*. 1. vyd. Sofia : STEF 92 Technology, 2022, online, s. 153-158. ISSN 1314-2704. ISBN 978-619-7603-42-2. V databáze: DOI: 10.5593/sgem2022/3.1/s12.19 ; SCOPUS: 2-s2.0-85150918941. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC

- V2_05 KOLLÁR, Adam - HRUDKA, Jaroslav - STANKO, Štefan - RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea.]. Optimizing urban drainage systems: the role of mathematical modeling in wastewater and surface runoff management. In *Městské vody 2024 = Urban water 2024 : sborník přednášek konference s mezinárodní účastí. Velké Bílovice, 3. - 4. října 2024*. 1. vyd. Brno : ARDEC, 2024, USB klíč, s. 187-193. ISBN 978-80-86020-00-6. Typ výstupu: příspěvek z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC
- V2_06 MARKO, Ivana - WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - HRUDKA, Jaroslav - RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea.] - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Quality of first flush of rainwater from urban area: short review. In *Civil Engineering Conference (CEC 2022) [elektronický zdroj] : 06/06/2022 - 08/06/2022 Košice, Slovakia*. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2022, online, [5] s., art. no. 012075. ISSN 1757-899X. V databáze: DOI: 10.1088/1757-899X/1252/1/012075. Typ výstupu: příspěvek z podujatia; Výstup: domácí; Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_07 MELIŠKA, Martin - KOLLÁR, Adam - HRUDKA, Jaroslav - RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea.] - STANKO, Štefan. Behaviorálne stratégie pre udržateľný manažment dažďovej vody v čase klimatickej krízy. In *Proceedings from 13th Conference of Young Researchers - KOMVY 2024*. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2024, USB klíč, s. 40-48. ISBN 978-80-227-5444-6. Typ výstupu: příspěvek z podujatia; Výstup: domácí; Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_08 PORTNOV, Maksim - RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea.] - WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - STANKO, Štefan. Analysis of mathematical modeling of the sewerage network. In *Young Scientist 2022 (YS22) : proceedings of the 14th Conference of Civil and Environmental Engineering for PhD Students and Young Scientists. Slovak Paradise, Slovakia, 27-29 June 2022*. 1. vyd. Melville, NY : AIP Publishing, 2023, online, [6] s., art. no. 020036. ISSN 0094-243X. ISBN 978-0-7354-4600-7. V databáze: DOI: 10.1063/5.0159205. Typ výstupu: příspěvek z podujatia; Výstup: domácí; Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_09 PORTNOV, Maksim - HRUDKA, Jaroslav - MELIŠKA, Martin - RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea.] - STANKO, Štefan. Rainfall impact on urban combined sewer overflow. In *Proceedings from 13th Conference of Young Researchers - KOMVY 2024*. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2024, USB klíč, s. 33-39. ISBN 978-80-227-5444-6. Typ výstupu: příspěvek z podujatia; Výstup: domácí; Kategória publikácie do 2021: AFD

- V2_10 RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea,] - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona - PORTNOV, Maksim - HRUDKA, Jaroslav. Implementation of rainwater collection systems with a perspective to the future development of cities and municipalities. In *Proceedings from 10th Conference of Young Researchers - KOMVY 2021 [elektronický zdroj]* : virtuálny priestor, Bratislava, SR, 29. - 30. 4. 2021. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2021, CD-ROM, s. 117-125. ISBN 978-80-227-5092-9. Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_11 RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea,] - HRUDKA, Jaroslav - WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Adaptive reactions to climate change by implementation of blue-green infrastructure in a set of urban zones in Central Europe. In *SGEM 2021. 21th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Volume 21. Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems : proceedings. Vienna, Austria, 7-10 December 2021*. 1. vyd. Viedeň : SGEM World Science, 2021, S. 35-42. ISSN 1314-2704. ISBN 978-1-7138-5236-0. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85131928745 ; DOI: 10.5593/sgem2021V/3.2/s12.06. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC
- V2_12 RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea,] - RÓZSA, Gergely - PORTNOV, Maksim - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Vplyv zelených striech pri zmierňovaní mestských tepelných ostrovov z pohľadu trvalo udržateľného rozvoja. In *Proceedings from 11th Conference of Young Researchers - KOMVY 2022 [elektronický zdroj]* : Osrblie, SR, 2. - 6. 5. 2022. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2022, CD-ROM, s. 49-54. ISBN 978-80-227-5209-1. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_13 RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea,] - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Implementation of green infrastructure in an urbanized territory and its effect on overload of sewage networks. In *Proceedings from 12th Conference of Young Researchers - KOMVY 2023 [elektronický zdroj]*. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2023, CD-ROM, s. 47-52. ISBN 978-80-227-5323-4. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_14 RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea,] - WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - ŠUTÚŠ, Marek - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Factors affecting the hydrological performance of green roofs to Mitigate urban heat islands. In *Young Scientist 2022 (YS22) : proceedings of the 14th Conference of Civil and Environmental Engineering for PhD Students and Young Scientists. Slovak Paradise, Slovakia, 27-29 June 2022*. 1. vyd. Melville, NY : AIP Publishing, 2023, online, [5] s., art. no. 020039. ISSN 0094-243X. ISBN 978-0-7354-4600-7. V databáze: DOI: 10.1063/5.0158913. Typ

výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD

- V2_15 RACZKOVÁ, Andrea [Štaňová, Andrea,] - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Using the potencial of green roofs in strengthening the resistance of cities to the adverse effects of climate change. In *Proceedings from 13th Conference of Young Researchers - KOMVY 2024*. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2024, USB kľúč, s. 11-20. ISBN 978-80-227-5444-6. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_16 RÓZSA, Gergely - MARKO, Ivana - RACZKOVÁ, Andrea [Štaňová, Andrea,] - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Analysis of the development of selected components of separated municipal waste in a selected locality in Slovakia. In *SGEM 2021. 21th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Volume 21. Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems : proceedings. Vienna, Austria, 7-10 December 2021*. 1. vyd. Viedeň : SGEM World Science, 2021, S. 53-60. ISSN 1314-2704. ISBN 978-1-7138-5236-0. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85131951634 ; DOI: 10.5593/sgem2021V/3.2/s12.08. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC
- V2_17 RÓZSA, Gergely - PORTNOV, Maksim - RACZKOVÁ, Andrea [Štaňová, Andrea,] - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Development of models used in waste management – A review. In *Young Scientist 2022 (YS22) : proceedings of the 14th Conference of Civil and Environmental Engineering for PhD Students and Young Scientists. Slovak Paradise, Slovakia, 27-29 June 2022*. 1. vyd. Melville, NY : AIP Publishing, 2023, online, [4] s., art. no. 020051. ISSN 0094-243X. ISBN 978-0-7354-4600-7. V databáze: DOI: 10.1063/5.0158962. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_18 ŠUTÚŠ, Marek - RACZKOVÁ, Andrea [Štaňová, Andrea,] - WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - STANKO, Štefan. Bezvýkopové metódy a ich použitie. In *Proceedings from 11th Conference of Young Researchers - KOMVY 2022 [elektronický zdroj] : Osrblie, SR, 2. - 6. 5. 2022*. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2022, CD-ROM, s. 69-74. ISBN 978-80-227-5209-1. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_19 WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - HRUDKA, Jaroslav - MARKO, Ivana - RACZKOVÁ, Andrea [Štaňová, Andrea,] - STANKO, Štefan. Dynamic Modeling of Stormwater Flow in the Sewer Network using MIKE URBAN. In *Abstract book for the 17th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium [elektronický zdroj] : Architectural, Engineering and Information Sciences. Online, 25-26 October 2021*. Pécs : Pollack Press,

2021, online, [1] s., paper no. 69. ISBN 978-963-429-811-3. Kategória publikácie do 2021: AFG

V2_20 WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - PORTNOV, Maksim - RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea,] - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Hodnotenie životného cyklu integrovaných systémov odvádzania vôd z urbanizovaných území. In *Proceedings from 11th Conference of Young Researchers - KOMVY 2022 [elektronický zdroj]* : Osrblie, SR, 2. - 6. 5. 2022. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2022, CD-ROM, s. 75-82. ISBN 978-80-227-5209-1. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD

V2_21 WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - HRUDKA, Jaroslav - RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea,] - STANKO, Štefan - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Small Domestic Wastewater Treatment Plants in Rural Areas in the Conditions of the Slovak Republic. In *SGEM 2023. 23rd International Multidisciplinary Scientific GeoConference : conference proceedings. 03 - 09 July 2023, Albena, Bulgaria*. 1. vyd. Sofia : STEF 92 Technology, 2023, online, s. 141-147. ISSN 1314-2704. ISBN 978-619-7603-58-3. V databáze: DOI: 10.5593/sgem2023/3.1/s12.17 ; SCOPUS: 2-s2.0-85177881416. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC

V2_22 WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea,] - KOLLÁR, Adam - PORTNOV, Maksim - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Využitie BIM vo vodnom hospodárstve. In *Proceedings from 13th Conference of Young Researchers - KOMVY 2024*. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2024, USB kľúč, s. 26-32. ISBN 978-80-227-5444-6. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD

V3 Vedecký výstup publikačnej činnosti z časopisu

V3_01 RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea,] - WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - HRUDKA, Jaroslav - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Preventing extreme events in the urban environment using blue-Green infrastructure. In *Pollack Periodica*. Vol. 18, no. 2 (2023), s. 66-71. ISSN 1788-1994 (2023: 0.288 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.1556/606.2023.00802 ; SCOPUS: 2-s2.0-85159945412. Typ výstupu: článok; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: ADM

V3_02 RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea,] - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona - WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - HRUDKA, Jaroslav - HURBAN, Ľuboš. The influence of infiltration devices on the urban area. In *Pollack Periodica*. Vol. 19, no. 3 (2024), online, s. 81-86. ISSN 1788-1994

(2024: 0.385 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85200637073 ; DOI: 10.1556/606.2024.01047. Typ výstupu: článok; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: ADM

V3_03 WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - HRUDKA, Jaroslav - MARKO, Ivana - RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea.] - STANKO, Štefan. Dynamic modeling of flow in combined sewer network using the MOUSE model. In *Pollack Periodica*. Vol. 17, no. 3 (2022), s. 89-93. ISSN 1788-1994 (2022: 0.298 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.1556/606.2022.00536 ; SCOPUS: 2-s2.0-85141373576. Typ výstupu: článok; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: ADM

O2 Odborný výstup publikačnej činnosti ako časť knižnej publikácie alebo zborníka

O2_01 RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea.] - WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - HRUDKA, Jaroslav - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Extreme Changes in the Hydrological Regime and their Impact on Urban Drainage Systems in the Urbanized Territory. In *Abstract book for the 18th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium [elektronický zdroj] : Architectural, Engineering and Information Sciences. Hungary, Pécs, 3-4 November 2022*. Pécs : Pollack Press, 2022, online, [1] s., paper no. 56. ISBN 978-963-626-040-8. Typ výstupu: abstrakt z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: BFA

O2_02 RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea.] - WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - HRUDKA, Jaroslav - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona. Water retention equipment in the urbanized areas. In *Abstract book for the 19th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium [elektronický zdroj] : Architectural, Engineering and Information Sciences. Hungary, Pécs, 2-3 November 2023*. Pécs : Pollack Press, 2023, online, [1] s., paper 60. ISBN 978-963-626-182-5. Typ výstupu: abstrakt z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: BFA

O2_03 RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea.] - PORTNOV, Maksim - ŠKULTÉTYOVÁ, Ivona - WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka]. Efficiency Assessment of Water Retention Equipments to Load the Sewer Network. In *Abstract book for the 20th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium : Architectural, Engineering and Information Sciences. Hungary, Pécs, 28-29 October, 2024*. 1. vyd. Pécs : Pollack Press, 2024, online, [1] s., paper 67. ISBN 978-963-626-330-0. Typ výstupu: abstrakt z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: BFA

- O2_04 WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - HRUDKA, Jaroslav - RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea.] - STANKO, Štefan. Matematické modelovanie stokovej siete ako rozhodovací nástroj pri výbere objektov na zníženie dažiového prítoku. In *Rekonštrukcie stokových sietí a čistiarní odpadových vôd : zborník prednášok a posterov 13. bienálnej konferencie s medzinárodnou účasťou*. 1. vyd. Bratislava, Slovensko : Výskumný ústav vodného hospodárstva, 2023, S. 64-70. ISBN 978-80-89740-39-0. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: BEF
- O2_05 WITTMANOVÁ, Réka [Csicsaiová, Réka] - HRUDKA, Jaroslav - RACZKOVÁ, Andrea [Staňová, Andrea.] - STANKO, Štefan. Hodnotenie vplyvu životného cyklu objektov trvalo udržateľných mestských odvodňovacích systémov. In *Městské vody 2023 = Urban water 2023 [elektronický zdroj] : sborník přednášek konference s mezinárodní účastí. Velké Bílovice, 5. - 6. října 2023*. 1. vyd. Brno : ARDEC, 2023, S. 170-175. ISBN 978-80-86020-97-6. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: BEE