

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
Stavebná fakulta

Ing. Timea Petrová

Autoreferát dizertačnej práce

**TYPOLÓGIA PRVKOV MODRO-ZELENO-ŠEDEJ
INFRAŠTRUKTÚRY A APLIKÁCIA ŠTRUKTURÁLNYCH
SUBSTRÁTOV**

na získanie akademického titulu „philosophiae doctor“
v skratke PhD.

v doktorandskom študijnom odbore 6.1.11 krajinárstvo
v študijnom programe: Krajinárstvo

Denná forma štúdia

Bratislava 2024

Dizertačná práca bola vypracovaná na Katedre vodného hospodárstva krajiny Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.

Prekladateľ: Ing. Timea Petrová
 Stavebná fakulta STU
 Radlinského 11
 810 05 Bratislava

Školiteľ: doc. Ing. Martina Majorošová, PhD.
 Katedra vodného hospodárstva krajiny,
 Stavebná fakulta, STU Bratislava

Autoreferát bol rozoslaný dňa

Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa ohod. na Katedre vodného hospodárstva krajiny Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Radlinského 11, v miestnosti číslo

.....
prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.
dekan fakulty

Obsah

Obsah.....	3
Úvod.....	4
1. Ciele práce.....	6
2. Metodika práce a metódy skúmania.....	6
3. Výsledky práce a diskusia.....	8
3.1. Realizácia výsadby drevín do štrukturálneho substrátu do mobilných nádob – Piešťany.....	8
3.1.1. Zadanie projektu.....	8
3.1.2. Analýza referenčného územia.....	9
3.1.4. Realizácia.....	11
3.1.5. Evalvácia.....	12
3.2. Realizácia aplikácie štrukturálneho substrátu do uličnej zelene – Bratislava.....	13
3.2.1. Zadanie projektu.....	13
3.2.2. Analýza referenčného územia.....	13
3.2.3. Projektová dokumentácia.....	15
3.2.4. Realizácia.....	17
3.2.5. Evalvácia.....	18
3.3. Typológia prvkov modro-zeleno-šedej infraštruktúry.....	19
4. Záver.....	19
5. Summary.....	20
6. Zoznam použitej literatúry.....	20
Zoznam publikačnej činnosti.....	21

Úvod

Vo voľnej krajine nerozlišujeme medzi zelenou (vegetácia), modrou (vodné prvky) a šedou (zrážková voda) infraštruktúrou, pretože sa jedná o interkonexnú sieť prvkov krajiny vytvárajúcu prirodzené prostredie. Modro-zeleno-šedá infraštruktúra definuje strategicky plánované prvky prírodné (vegetáciu) a umelo vytvorené (antropogénne) (Ghofrani et al. 2017), ktorých kombináciou vzniká imitácia prirodzených odtokových charakteristík krajiny pred urbanizáciou, alebo antropogénnym vplyvom, s podporou ekosystémových služieb. Komplex procesov zahŕňa hospodárenie s dažďovou vodou, podporu prirodzeného výparu, zadržiavanie a vsakovanie vody, ktoré napodobňujú prirodzený odtokový režim charakteristický pre krajinu pred urbanizáciou a návrat vody do lokálneho kolobehu.

Na obyvateľstvo mestského prostredia vplýva zmena klímy a iné negatívne javy mestského prostredia najintenzívnejšie. Udržiateľný rozvoj mestského prostredia je možné zabezpečiť integráciou modro-zelených systémov s využitím zrážkových vôd do systému plánovania sídiel a krajiny. Význam prepojenia infraštruktúr sa bude s výskytom negatívnych prejavov zmien klímy a mestského prostredia len zvyšovať a naberať na dôležitosť. Náplňou prvkov modro-zeleno-šedej infraštruktúry je posilnenie ekostabilizačnej hodnoty mestského prostredia a skvalitnenie ekosystémových služieb (Tab. 1).

Medzi primárne vlastnosti prvkov modro-zeleno-šedej infraštruktúry patrí absorpcia, sedimentácia, infiltrácia, filtrácia, akumulácia a vyparovanie prostredníctvom technických a vegetačných prvkov (Stránský et al. 2019). Hlavným cieľom systému v mestskom prostredí je využitie filtračných a transpiračných schopností zelene a infiltračných schopností substrátu s vodnými prvkami (Kruuse 2011). Plánovanie zeleno-modrej infraštruktúry v spojení s hospodárením so zrážkovou vodou dosiahne vegetácia optimálne podmienky, pri súčasnom zmiernení negatívnych dopadov klimatických zmien. Využitie dažďovej vody je dôležitým faktorom vstupujúcim do zložitosti vzťahov modro-zelenej infraštruktúry. Asimilácia systému mestského prostredia na modro-zelenú infraštruktúru je dôležitou súčasťou opatrení na prispôbenie miest. Každá zložka urbánnej krajiny môže byť prispôbená systému hospodárenia so zrážkovou vodou (povrchy komunikácií, povrch striech budov, zeleň). Zároveň, využitím zrážkovej vody sa zmierni povrchový odtok a znečistenie vodných zdrojov. Súčasná riešenia povrchového odtoku, z nepriepustných povrchov v uličných priestoroch, je

založené na minimalizovaní priestorových požiadaviek a centralizovanom spracovaní povrchového odtoku.

Tab.1: Príklady ekosystémových služieb viažucich sa na vodnú prírodnú zložku a rastlinstvo

Ekosystémové služby viazané ku krajinným zložkám	
Produkčná/Zásobovacia služba	Produkcia biomasy a potravy
	Vodný zdroj (akumulácia)
	Zlepšenie mikroklimy (ochladzovanie, zníženie rýchlosti prúdenia vzdušných mäs, zníženie znečistenia vzduchu)
Regulačná služba	Zmiernenie extrémov (zatiernenie, znižovanie mestských ostrovov tepla)
	Spracovanie znečistenia vôd
	Viazanie CO ₂
	Protierózna, stabilizačná a pôdotvorná funkcia
	Redukcia hluku
	Zmiernenie extrémov
	Infiltrácia vody
Biotopová/Ekologická služba	Intercepcia zrážok (zadržanie vody na povrchu rastlín)
	Zníženie odtoku z vegetačných plôch
	Prirodzený habitat pre organizmy
	Uchovávanie biodiverzity
Kultúrna služba	Ekonomická funkcia (zvýšenie hodnoty okolitých nehnuteľností)
	Rekreačná a vzdelávacia funkcia
	Spoločenská funkcia
	Turizmus
	Podpora mentálneho zdravia
	Estetická funkcia a zdroj inšpirácie
	Spirituálna funkcia

1. Ciele práce

Hlavným cieľom bolo vytvorenie teoretického a metodického rozboru modro-zeleno-šedej infraštruktúry, s aplikovaním do projektov realizácii výsadiieb s využitím štrukturálneho systému a biouhlia. Hlavným aplikačným cieľom práce do praxe bolo vytvorenie manuálu pre spracovávanie krajinnno-architektonických projektov zameraných na tvorbu modro-zeleno-šedej infraštruktúry (vodozádržných opatrení), v období klimatických zmien, v urbanizovanom prostredí. Prvým cieľom práce bolo naštudovanie si teoretického základu zo Slovenska a najmä zo zahraničia a vytvorenie rešerše potrebnej pre pochopenie zázemia danej témy. Teoretická časť práce sa venuje modro-zeleno-šedej infraštruktúre, jej definícii, vysvetleniu pojmov, histórii, využitiu, funkciám a následne jej typológii.

Druhým cieľom práce bolo spracovanie typológie prvkov modro-zeleno-šedej infraštruktúry, vytvorenie kategorizácie a opísanie základných technických riešení, keďže na Slovensku doposiaľ nebol vytvorený dokument špecifikujúci jednotlivé prvky v mestskom prostredí.

Tretím cieľom bola praktická aplikácia, ktorá pozostávala z analýzy urbánnych pôd, tvorby štrukturálneho substrátu s využitím biouhlia v rôznych mierkach. Prvou realizáciou bola skúšobná výsadba drevín do mobilných nádob v mestskom prostredí pre overenie štrukturálneho substrátu, v porovnaní s klasickým výsadbovým substrátom. Po výsadbe nasledoval monitoring a povýsadbová starostlivosť drevín. Druhou realizáciou bola aplikácia štrukturálneho substrátu v rozsiahlom projekte revitalizácieestskej zelene na území Bratislavy s použitím štrukturálneho substrátu.

2. Metodika práce a metódy skúmania

Pred samotným projektovaním a realizáciami bol potrebný teoretický rozbor témy a vytvorenie typológie prvkov modro-zeleno-šedej infraštruktúry. Naprojektované a zrealizované boli dva projekty. Prvým bola realizácia výsadby drevín do štrukturálneho substrátu a kontrolnej vzorky do mobilných nádob v mestskom prostredí. Druhým projektom bola väčšia mierka výsadby, realizácia aplikácie štrukturálneho substrátu do uličnej zelene v Bratislave. Pri

druhom projekte som spolupracovala s Magistrátom Hlavného mesta Bratislava, oddelením tvorby mestskej zelene.

Navrhovanú metodiku práce možno rozdeliť do 5 fáz. Jednotlivé fázy sú nemenné a všeobecne aplikovateľné, no obsah jednotlivých krokov je modifikovateľný.

- I. Fáza – prípravná - príprava podkladov, teoretických východísk, výber referenčného územia, spracovanie zadania a vstupných dát
 - Teoretický rozbor témy MZŠ infraštruktúry
 - Typológia prvkov MZŠ infraštruktúry
 - Výber referenčného územia pre aplikáciu prvkov MZŠ infraštruktúry
 - Spracovanie zadania projektu

- II. Fáza – analytická - spracovanie vstupných teoretických východísk, informácií a dát z dostupných zdrojov a terénnych obhliadok
 - Terénny prieskum a zber dát o území
 - Spracovanie vstupných dát
 - Analýza riešeného územia so zameraním na pôdny profil a možnosti prekoreniteľného systému
 - Výber typu prvkov MZŠ infraštruktúry a ich parametre

- III. Fáza – projektová - vytvorenie návrhu a projektovej dokumentácie
 - Komplexný návrh
 - Detail a rez návrhu
 - Osadzovací plán a výber vegetačného materiálu
 - Vytyčovací plán
 - Výkaz výmer a textová časť

- IV. Fáza – realizačná - realizácia projektu

- V. Fáza – evalvačná - monitoring, evalvácia a povýsadbová starostlivosť
 - Monitoring
 - Povýsadbová starostlivosť
 - Evalvácia projektu

3. Výsledky práce a diskusia

Manuál Typológie prvkov modro-zeleno-šedej infraštruktúry je uvedený k záverečnej práci v prílohe 1. Po identifikovaní problematiky modro-zeleno-šedej infraštruktúry v mestskom prostredí a zhodnotení možných riešení prebehla príprava a analýza podkladov, vypracovanie projektovej dokumentácie a realizácia projektov. Uskutočnené boli 2 realizácie.

Prvá realizácia bola uskutočnená ako pilotný projekt výsadby vegetácie do štrukturálneho substrátu so zložkou biouhlia. Výsadba bola uskutočnená do mobilných nádob, pre zistenie potenciálneho využitia v mestskom prostredí do uličnej zelene ale aj ako možnosť použitia pri vertikálnych výsadbách drevín do zelených fasád. Táto realizácia bola uskutočnená v Piešťanoch. Súčasťou realizácie bolo aj skonštruovanie samotných mobilných nádob, realizácia výsadby do štrukturálneho substrátu a kontrolnej vzorky do klasického výsadbového substrátu, následná povýsadbová starostlivosť a monitoring.

Druhá realizácia revitalizácie výsadby zeleného pásu bola pilotnou realizáciou v rámci verejného sektoru na Slovensku. Vzhľadom na pôvodné pôdne charakteristiky na druhom referenčnom území, bol použitý štrukturálny substrát so zložkou biouhlia. Projekt s využitím štrukturálneho substrátu do uličnej zelene bol uskutočnený v meste Bratislava na Pionierskej ulici. Bratislava má špecifickejšie mikroklimatické podmienky v porovnaní s územím Slovenska, no najväčší potenciál a potrebu pre využitie modro-zeleno-šedých opatrení, vzhľadom na mierku mestskej zástavby, potenciál rozvoja a vplyv klimatických zmien. Revitalizácie pešej komunikácie a nová výsadba drevín boli potrebné pre plnohodnotné využívanie úseku.

3.1. Realizácia výsadby drevín do štrukturálneho substrátu do mobilných nádob – Piešťany

3.1.1. Zadanie projektu

Zadaním projektu bolo otestovanie využitia alternatívneho štrukturálneho substrátu so zložkou biouhlia v urbanizovanom prostredí na Slovensku. Cieľom projektu bolo zhodnotenie rastového potenciálu vegetácie, vzhľadom na nepriaznivé podmienky urbanizovaného

prostredia s modernou metódou pestovania v štruktúrnom substráte, za použitia zložky biouhlia, v porovnaní s klasickým typom používaného substrátu.

3.1.2. Analýza referenčného územia

Paradoxne, pre potreby testovania daného typu novej výsadby, bolo kľúčové nájsť podmienky čo najnepriaznivejšie. Výber referenčného územia prvej realizácie limitovali viaceré stresory typické pre mestské prostredie. Medzi najvýznamnejšie patria blízky kontakt dopravnej komunikácie, exponované stanovisko voči mikroklimatickým podmienkam a nedostatočný prekoreniteľný priestor. Vybraná bola lokalita mesta Piešťany v bezprostrednej blízkosti komunikácie, v miestach s vysokou mierou zastavanosti a oslnenia počas celého dňa (Obr. 1).



Obr. 1: Lokalizácia prvej realizácie výsadby drevín na území mesta Piešťany
(Timea Petrová, 2023)

3.1.3. Projektová dokumentácia

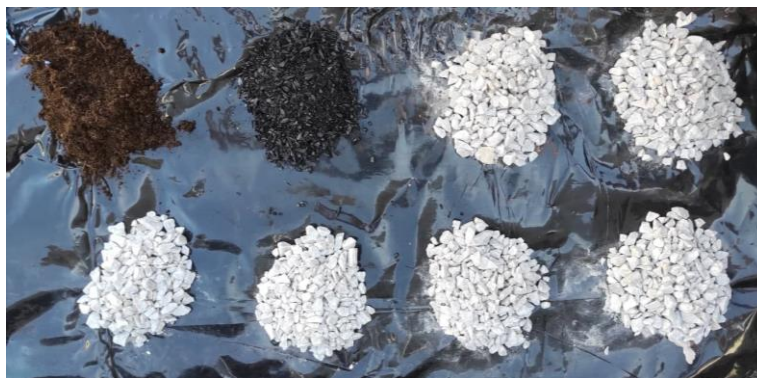
Výsadba bola navrhovaná do mobilných nádob, ktorých návrh je súčasťou projektovej dokumentácie k práci. Následne bol zvolený výber vegetačného materiálu a zloženie substrátu.

Pre potreby danej realizácie boli vytvorené štyri kusy drevených mobilných nádob, do ktorých boli vysadené dreviny. Do dvoch mobilných nádob bol navrhnutý štruktúrny substrát a do ďalších dvoch klasický substrát. Simulácia nedostatočného prekoreniteľného substrátu a

náročných mikroklimatických podmienok mestského prostredia bola zabezpečená výsadbou do nádob. Nádobky boli navrhnuté v dvoch veľkostiach: typ A: 70x150x70 cm pre stromy a typ B: 70x70x70 cm pre kry, z každého typu dva kusy.

Výber vegetačného materiálu zohľadnil podmienky referenčnej plochy a typ výsadby. Vybrané druhy zohľadňujú viacero stanovištných aspektov ako vhodnosť výsadby do spevnených plôch, rastové vlastnosti, vlastnosti habitusu drevín, alergénnosť, odolnosť voči mrazu, citlivosť na vyššie teploty a oslnenie, znášanlivosť rezu a nároky na prekoreniteľný priestor. Ako zástupca vysokej drevinovej vegetácie bol vybraný *Carpinus betulus* 'Fastigiata' – hrab obyčajný. *Photinia × fraseri* - červienka fraserova bola zvolená ako zástupca stálozelených drevín krovitej formy.

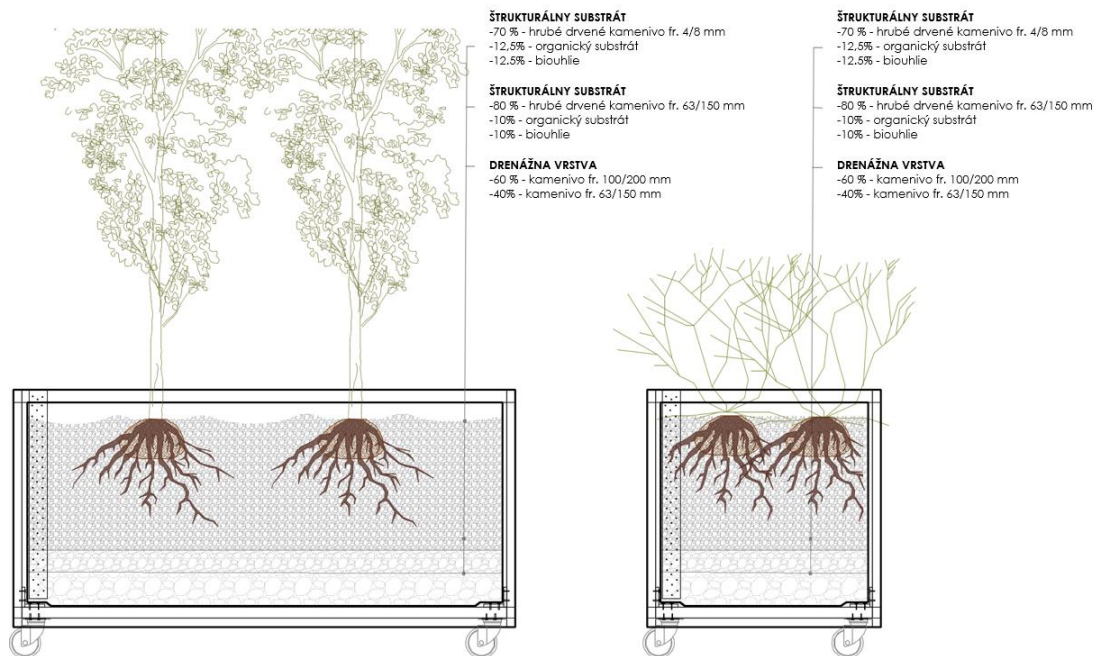
Realizácia spočívala v porovnaní výsadby kontrolnej vzorky štandardným postupom sadenia do organického substrátu určeného pre kontajnerové výsadby a štrukturálneho substrátu so zložkou biouhlia. Kontrolná vzorka výsadby do organického substrátu bola navrhovaná v 2 vrstvách. Drenážna vrstva sa zhodovala zložením v oboch typoch výsadiieb a to v podobe 100 mm, z 60% z drenážneho štrku frakcie 100/200 mm s doplnením frakcie 63/150 mm



Obr. 2: Zloženie štrukturálneho substrátu so zložkou biouhlia podľa švédskeho modelu
(Timea Petrová, 2021)

Využitie štrukturálneho substrátu v podmienkach Slovenska nebolo realizované a popísane, preto bol ako prvý vybraný švédsky model, ktorý pozostáva zo zmesi: štrkového kameniva, klasického substrátu a zložky biouhlia. Model štrukturálneho substrátu pozostával zo zmesi štrkového kameniva, bežného substrátu a zložky biouhlia. Použitý pomer bol 75 %

(6/8) objemu frakcie 4/8 mm vápencového kameniva, 12,5 % (1/8) organického substrátu a 12,5 % (1/8) organického biouhlia *Sonnenerde* (Obr. 2).



Obr. 3: Návrh štrukturálneho substrátu v mobilných nádobách (Timea Petrová, 2021)

Výška výsadbovej vrstvy štrukturálneho substrátu bola navrhnutá vo výške 400 mm. Druhá vrstva nasledovala 65 mm vrstva v zložení 80 % vápencového vymývaného kameniva fr. 63/150 mm, 10 % substrátu vhodného na kontajnerovú zeleň a 10 % organického biouhlia. Posledná vrstva s výškou 100 mm bola navrhnutá v 60 %kameniva fr. 100/200 mm a 40 % fr. 63/150 mm (obr. 3). Vrstvy kameniva tvorili drenážnu vrstvu. Po zmiešaní jednotlivých zložiek vzniká zmes, ktorá bola navrhovaná v prípade dvoch kusov stromov *Carpinus betulus* 'Fastigiata' a troch kusov vždyzeleného kríka *Photinia × fraseri*. Pre potreby drevinnej vegetácie boli zabezpečené dostatočné priestorové možnosti koreňového systému a výmenu plynov medzi pôdou a okolitým prostredím.

3.1.4. Realizácia

Realizácia výsadby prebehla 15.5.2021 (Obr. 4). Pre zabezpečenie vhodnej drenáže nádob boli vytvorené vrstvy s kamenivom rôznej frakcie. Spodná vrstva obsahovala vymývané kamenivo fr. 100/200 mm, následne frakcia vymývaného kameniva 63/150 mm a posledná drenážna vrstva bola z vymývaného makadamu fr. 16/32 mm. Vytvorením drenážnych vrstiev

bol zabezpečený odtok nadbytočnej vody z nádoby. Následne boli kladené vrstvy substrátu a štrukturálneho substrátu.



Obr. 4: Frakcie kameniva drenážnych vrstiev, realizácia výsadby (Timea Petrová, 2021)

3.1.5. Evalvácia

Po zostrojení nádob a následnej výsadbe bolo ďalšou etapou vyhodnotenie vlastností územia a ich vplyvu na vegetáciu v klasickom substráte s porovnaním použitia štrukturálneho substrátu so zložkou biouhlia. Merania a zber údajov dendrometrických vlastností (kvantitatívne parametre) a kvalitatívnych parametrov drevinnej vegetácie prebiehali počnúc výsadbou v máji 2021. Analyzovanými dendrometrickými parametrami boli druhová determinácia, obvod kmeňa, výška dreviny a šírka koruny. Údaje boli získané priamym meraním drevín.

Rast v štrukturálnom substráte v porovnaní s klasickým substrátom prvý rok nemal významný negatívny vplyv na vlastnosti drevín. Prírastok bol počas prvej vegetačnej sezóny v oboch substrátoch porovnateľný. Druhé vegetačné obdobie prinieslo rozdiely v kvantitatívnych aj kvalitatívnych charakteristikách drevín. U jedného stromu vysadenom v štrukturálnom substráte bol zaznamenaný menší výškový aj obvodový prírastok. Znížená vitalita stromu bola spôsobená menej rozvinutou koreňovou sústavou jedinca, ktorá bola zistená v roku 2024, kedy bola vykonaná kontrola koreňových systémov drevín. Tento rozdiel môže byť spôsobený nedostatočnou dobou aktivácie biouhlia pred výsadbou. Počas tretieho vegetačného obdobia pokračoval trend porovnateľných kvantitatívnych aj kvalitatívnych parametrov u troch stromov. Napriek krátkej dobe pozorovania možno zhodnotiť, že použitie štruktúrneho

substrátu so zložkou biouhlia v pomere 80% - 10% - 10%, oproti klasickému substrátu nemalo výrazne negatívny vplyv na dreviny. Rastové charakteristiky drevín boli ovplyvnené vysadením do stresového prostredia, ktoré vplývalo najmä na menšie prírastky u všetkých vzoriek.

Počas kontrolných dní boli merané údaje počas prvého roka pre analýzu bioindikačných vlastností ako teplota vzduchu, teplota nad povrchom substrátu a teplota 15 cm pod povrchom substrátu počas špičkovej hodnoty dňa (v priemere medzi 15:00 a 17:30). Z daných údajov možno skonštatovať, že štruktúrálny substrát sa neprehrieva oproti organickému substrátu.

3.2. Realizácia aplikácie štruktúrného substrátu do uličnej zelene – Bratislava

3.2.1. Zadanie projektu

Cieľom projektu obnovy uličného priestoru na Pionierskej ulici bolo prepojenie uličnej zelene do jednotného zeleného pásu a zlepšenie technického stavu pešej komunikácie s doplnením potrebných dopravných prvkov. Doplnenie drevín bolo základným cieľom projektu pre zlepšenie pobytových, izolačných, ekologických aj estetických charakteristík danej ulice.

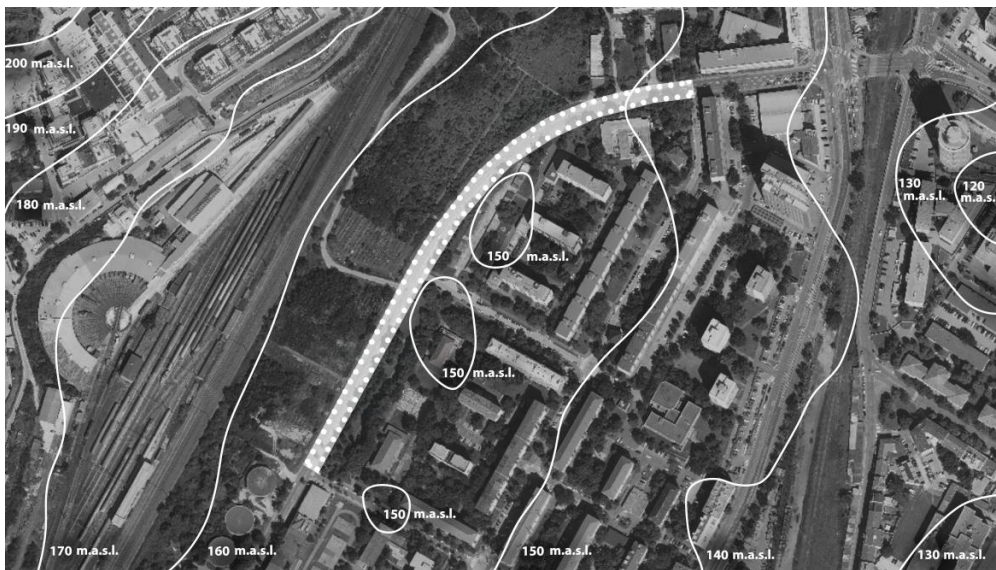
3.2.2. Analýza referenčného územia

Riešené územie sa nachádza v katastrálnom území okresu Bratislava III, v mestskej časti Nové mesto, na Pionierskej ulici (Obr. 5).



Obr. 5: Lokalizácia druhej realizácie výsadby drevín na území Bratislavy

(Timea Petrová, 2022)



Obr. 6: Hranice riešeného územia s vyznačením topografie (Timea Petrová, 2022)

Na riešenom území prebehlo niekoľko terénnych obhliadok pred realizáciou projektu, pre upresnenie zadania a stanovenie slabých stránok a problémov. Ide o plochu na rozhraní hustej mestskej zástavby, priemyselných areálov a územia s reliktnými vinohradníckymi činnosťami. Dĺžka riešeného územia má 503 m. Riešené územie má prevažne rovinný charakter, iba v severovýchodnom úseku terén uličného priestoru mierne klesá (Obr. 6). Z hľadiska frekventovanosti danej lokality vozidlami možno označiť daný úsek Pionierskej ulice za frekventovaný dopravný ťah. Urbánne pôdy boli úplne umelo vytvorené a ich vznik bol spojený so stavebnou činnosťou v danej lokalite. Na území úplne absentovala etáž krov a nízkych rastlín. Výhodou daného územia bola dostatočná vzdialenosť inžinierskych sietí a ich ochranných pásiem v takmer celej dĺžke výsadbového pásu.

Pred realizáciou sa na území nachádzali fragmenty predchádzajúcej výsadby - 11 ks drevín *Negundo aceroides* Moench. – javorovec jaseňolistý, no tento druh v súčasnosti uvádzame ako invázny druh, preto boli dreviny odstránené. Realizácii výsadby predchádzalo aj vyfrézovanie 11 pňov. Z pôvodnej výsadby boli na danom území zachované len 3 dreviny: 2 ks druhu *Robinia pseudoaccacia* L. - agát biely a 1 ks *Fraxinus excelsior* L. - jaseň štíhly. 1 ks dreviny *Fraxinus excelsior* musel byť pred realizáciou odstránený zo zdravotného a bezpečnostného hľadiska bol považovaný za neperspektívny.

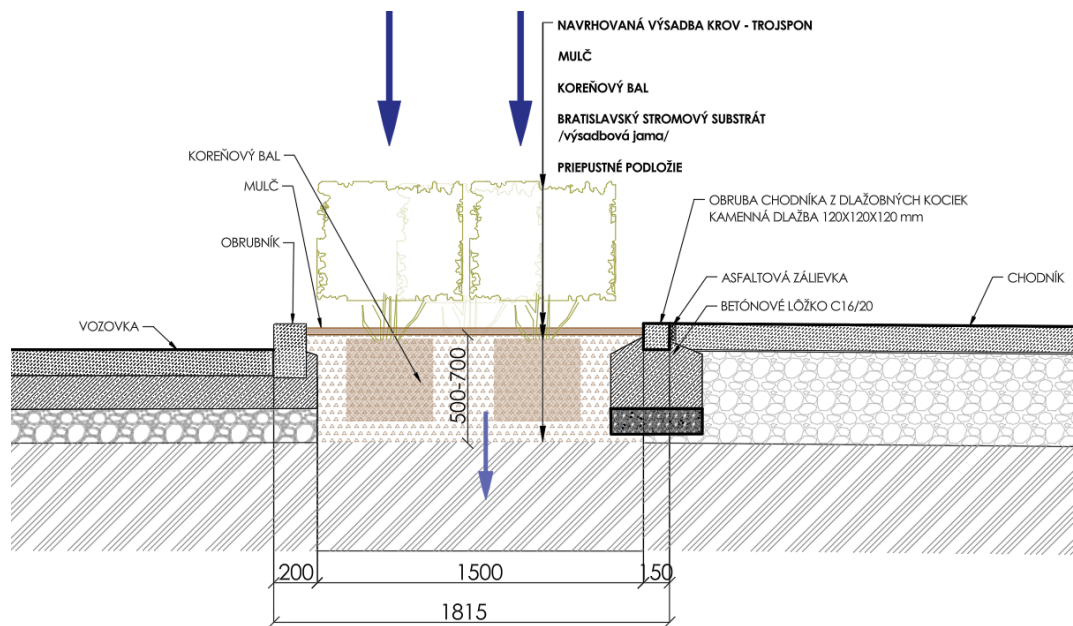


Obr. 7: Stav uličného priestoru pred realizáciou (Timea Petrová, 2022)

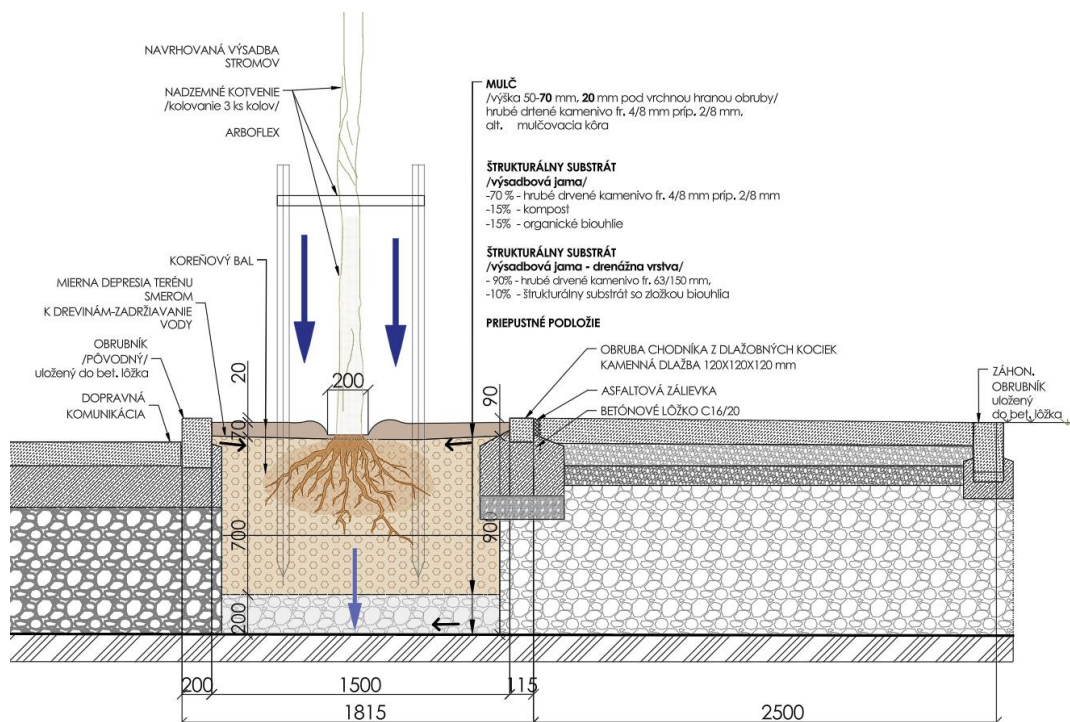
3.2.3. Projektová dokumentácia

Hlavnou zmenou návrhu voči pôvodnému stavu bolo navrhnutie kontinuálnej línie zeleného pásu. Celková šírka výsadbového pásu bola navrhnutá na 150 cm v celej dĺžke úseku s doplnením obruby. Veľkosť výsadbových jám s kompletnou výmenou substrátu bola dimenzovaná pri stromoch na 1,5 x 2 x 1 m a na zvyšnom území výsadiieb krov na 50-70 cm hĺbky. Návrh pracoval s vytvorením novej líniovej vegetácie. Kombinovaná výsadba bola vytvorená etážou krov a etáže stromov, z dôvodu vytvorenia vegetačnej bariéry zo strany komunikácie.

Výrazným faktorom návrhu bola potreba izolácie pomocou vegetácie po celej dĺžke ulice. Navrhnuté boli dve úrovne zelene – vyššia úroveň stromov a nižšia úroveň kríkov, aby sa vytvorila izolácia zo strany dopravnej komunikácie. Do etáže stromov bol napokon vybraný druh *Fraxinus pennsylvanica* Marshall - jaseň červený v počte 34 ks, v pravidelných 10 m rozstupoch. *Fraxinus pennsylvanica* je nepôvodný, opadavý druh na území Slovenska, ale využívaný je najmä pre svoje vlastnosti pionierskej dreviny, ktorý dobre znáša narušené miesta a vplyvy mestského prostredia, pri dostatočnom prísune vlhky. V návrhu do strednej etáže krov bol napokon zvolený druh *Potentilla fruticosa* 'Klondike' - nátržník krovitý v počte 1317 ks. Masová výsadba v trojradovom trojspone bola prispôbená na šírku zeleného pásu 1,5 m v hustote 3-5 ks /b.m., vo výsadbovej veľkosti 10 – 30 cm. *Potentilla fruticosa* 'Klondike' je kultivar overený v Bratislavských podmienkach v mnohých projektoch, ktorý dobre znáša podmienky mestského prostredia a výskytu mestských ostrovov tepla.



Obr. 8: Rez segmentu výsadby krov (Timea Petrová, 2023)



Obr. 9: Rez segmentu výsadby stromu (Timea Petrová, 2023)

Úpravy stanovištných podmienok majú individuálny postup a špecifický charakter. Pre daný projekt bola vybraná alternatíva úpravy pôvodného pôdneho zloženia na štrukturálny substrát so zložkou biouhlia. V danom projekte bola vybraná predpripravená zmes štrukturálneho substrátu so zložkou biouhlia a kompostu pre vytvorenie optimálnych

podmienok a zlepšenie vlastností pôdy. Zložka biouhlia má filtračné schopnosti adsorbčného materiálu a podľa odborníkov je vhodnou alternatívou k súčasnému spôsobu filtrovania zrážkovej vody odvádzanej z pozemkov pozemných komunikácii a parkovísk, ktorá sa považuje za vodu odpadovú. Bola vybraná alternatíva predpripraveného štruktúrneho substrátu súkromnou firmou. Takto pripravený štruktúrny substrát bolo možné použiť rovnako, ako pri výsadbe do bratislavského stromového substrátu. Bola zvolená česká firma, ktorá daný typ substrátu sprostredkovala už vo viacerých českých realizáciách.

3.2.4. Realizácia



Obr. 10: Zábery zrealizácie výsadby (Timea Petrová, 2022)

Realizácia prebiehala plynulo a pomerne rýchlo na rozsiahlosť projektu, od februára 2022 do apríla 2022. Odstránených bolo 817,3 m² plochy chodníka. Šírka odstránenej plochy chodníka bola 150 cm a 50 -100 cm do hĺbky. Do výsadbových jám stromov bola prvá vrstva vytvorená z hrubého drveného kameniva fr. 63/150 mm, na ktorú sa naviezla vrstva predpripraveného štruktúrneho substrátu z 70% hrubého drveného kameniva fr. 4/8 mm a 30% organickej zložky kompostu a biouhlia. V prípade výsadby 34 ks vzrastlých drevín bolo potrebné zvážiť postup vytvorenia štruktúrneho substrátu a prípravy výsadbových miest. Štruktúrny substrát bol do výsadbových jám stromov privezený predpripravený certifikovanou firmou vo veľkoobjemových vakoch (big bagoch), čo zabezpečilo rýchlu realizáciu výsadby.



Obr. 11: Zábery uličného priestoru po realizácii výsadby (Timea Petrová, 2022)

3.2.5. Evalvácia



Obr. 12: Zábery uličného priestoru 2 roky po realizácii výsadby (Jana Kubicová, 2024)

Navrhovanú plochu zelene možno označiť za prepojenú líniovú vegetáciu pri komunikácii –jednoradové stromoradie, ktorej súčasná hlavná funkcia je izolácia (ochrana zo strany dopravnej komunikácie pred hlukom, znečistením PM časticami a vetrom) a estetická (vytvorenie kompozičnej osi a uzatvorenie priestoru krátkodobej rekreácie) (obr. 11). Kombinovaná výsadba stromov a krov vytvára efektívnejšiu bariéru a príjemnejšiu a bezpečnejšiu trasu pre chodcov/bežcov, čím je podporená spoločenská funkcia. Počas kvitnutia krov bolo už v prvom roku možné zaznamenať mnoho opel'ovačov a podporu ekologickej funkcie. Po dorastení korún stromov do väčších mierok bude benefitom najmä regulačná

funkcia – zlepšenie mikroklimy. Realizáciu výsadby teda môžeme zhodnotiť pozitívne z pohľadu ekosystémových služieb. Počas prvého a druhého roka po výsadbe dreviny prosperovali.

3.3. Typológia prvkov modro-zeleno-šedej infraštruktúry

Modro-zeleno-šedú infraštruktúru a jej prvky možno označiť ako adaptačné opatrenia. Typológia prvkov modro-zeleno-šedej infraštruktúry je spracovaná v samostatnom manuáli ako **Príloha 1: Manuál typológie prvkov modro-zeleno-šedej infraštruktúry.**

4. Záver

Teoretická časť práce zhrnula dôležité faktory ovplyvňujúce plánovanie modro-zeleno-šedej problematiky, s následným vytvorením manuálu prvkov modro-zeleno-šedej infraštruktúry v urbanizovanej krajine. Tento výstup slúži ako základný podklad v téme modro-zeleno-šedej infraštruktúry.

Prínos práce spočíva v realizácii pilotných projektov s využitím moderných metód mestského plánovania podobného typu na Slovensku. Výsadbou drevín do štrukturálneho substrátu vzniká potenciálne riešenie redukovajúce negatívne vlastnosti urbanizovaného prostredia na vegetáciu s nedostatočným prekoreniteľným priestorom. Realizáciou výsadby do štrukturálneho substrátu a monitorovaním dát, vznikol vstupný podklad hodnotiaci potenciál využitia v urbanizovanom prostredí. Ciele práce zamerané na realizáciu aplikácie štrukturálneho substrátu boli splnené v plnom rozsahu. V aplikačnej časti práca skúma možnosť použitia štrukturálnych substrátov v mestskom prostredí. Zrealizované boli projekty, ktoré potvrdili význam tejto technológie do budúcnosti v miestach, s nevyhovujúcimi pôdnymi vlastnosťami pre rast drevinnej vegetácie. Aplikácia štrukturálneho substrátu pre nové výsadby v mestskom prostredí vytvára v budúcnosti veľa príležitostí pre vznik odolnejších, adaptabilnejších miest. Pre zabezpečenie ekosystémových služieb sídelnej krajiny je prioritou aplikácia opatrení trvalo udržateľného a moderného rozvoja miest.

5. Summary

The dissertation thesis is focused on blue-green-grey infrastructure and the application of structural substrates in the urban environment. As a result of climate change, the occurrence and intensity of extreme weather events, and stressors for vegetation, are increasing. The blue-green-grey infrastructure defines strategically planned natural (vegetation) and man-made (anthropogenic) elements, the combination of which creates an imitation of the natural drainage characteristics of the landscape before urbanization or anthropogenic influence, with the support of ecosystem services. The complex processes include rainwater management, promotion of natural evaporation, retention, and infiltration, which mimic the natural runoff regime characteristic of the landscape before urbanization, and the return of water to the local cycle. The technological use of the connection of blue-green-grey infrastructure in the urban environment brings the possibility of using rainwater in favour of vegetation elements. Urban vegetation and above all woody vegetation elements (trees, shrubs) are an important element in the process of adaptation strategies of residential structures, which is why much attention is paid to them.

The thesis aimed to create a typology of blue-green-grey infrastructure elements and implement tree plantings using a structural system with a biochar component in the territory of Bratislava and Piešťany. The work serves as a base on the topic of blue-green-grey infrastructure. Applying elements of blue-green-grey infrastructure and structural substrate for new plantings of trees in the urban environment creates many opportunities in the future for creating more resilient, adaptable cities.

6. Zoznam použitej literatúry

GHOFRANI, Zahra, Victor SPOSITO a Robert FAGGIAN, 2017. A Comprehensive Review of Blue-Green Infrastructure Concepts. *International Journal of Environment and Sustainability* [online]. 2017, roč. 6, č. 1. ISSN 2091-2854. Dostupné na: doi:10.24102/ijes.v6i1.728

KRUUSE, Annika, 2011. GRaBS (Green and Blue Space Adaptation for Urban Areas and Eco Towns) Expert Paper 6: The Green Space Factor and the Green Points System [online]. 2011,

s. 12. ISSN 00409960. Dostupné na:
https://malmo.se/download/18.d8bc6b31373089f7d980008924/1491301018437/greenspacefactor_greenpoints_grabs.pdf

STRÁNSKÝ, David, Ivana KABELKOVÁ, Vojtěch BARECH a Et AL., 2019. Studie hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaných územích. 2019.

Zoznam publikačnej činnosti

Publikácie v tlači:

V3 Vedecký výstup publikačnej činnosti z časopisu

PETROVÁ, Timea - MAJOROŠOVÁ, Martina. Urban soils in bratislava, slovakia - threats, potential, and impact on green infrastructure planning. In *City, Territory and Architecture..* [elektronický zdroj].

Evidované publikácie:

V2 Vedecký výstup publikačnej činnosti ako časť editovanej knihy alebo zborníka

V2_01 PETROVÁ, Timea - MAJOROŠOVÁ, Martina - TYUKOSOVÁ, Viktória [Tyukosová, Viktória]. Elements of evapotranspiration cooling effect reducing negative microclimatic properties of urban environments – case studies of Slovakia. In *Transport of water, chemicals and energy in the soil-plant-atmosphere system in conditions of the climate variability [elektronický zdroj] : book of Abstracts and Posters. Via the WEB Portal, November, 11–13 2020*. 1. vyd. Bratislava : Institute of Hydrology of the Slovak Academy of Sciences, 2020, CD-ROM, s. 75. ISBN 978-80-89139-48-4.
 Kategória publikácie do 2021: AFH

V2_02 PETROVÁ, Timea. Reducing the negative microclimatic properties of an urban structure by restoring the resilience of the elements of the synanthropic and cultural greenery. In *HydroCarpath 2020. Processes, patterns and regimes in the hydrology of the Carpathians:*

coupling experiments, remote sensing, citizen science and modelling [elektronický zdroj] : abstracts of the conference. Vienna/Bratislava/Sopron, 3. 12. 2020. 1. vyd. Sopron : University of Sopron Press, 2020, USB kľúč, s. 23. ISBN 978-963-334-375-3.
 Kategória publikácie do 2021: AFG

V2_03 PETROVÁ, Timea. Prvky evapotranspiračného chladenia redukujúce negatívne mikroklimatické vlastnosti urbánneho prostredia. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 30th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 14th 2020, Bratislava, Slovakia. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2020, CD-ROM, s. 244-251. ISBN 978-80-227-5052-3.*
 Kategória publikácie do 2021: AFD

V2_04 PETROVÁ, Timea. Využitie alternatívnej formy štrukturálneho substrátu v plánovaní modro – zelenej infraštruktúry. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 31st Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 13th 2021, Bratislava, Slovakia. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2021, CD-ROM, s. 208-215. ISBN 978-80-227-5150-6.*
 Kategória publikácie do 2021: AFD

V2_05 PETROVÁ, Timea - TYUKOSOVÁ, Viktória [Tyukosová, Viktória] - MAJOROŠOVÁ, Martina. Possibilities of using structural substrate with a biochar component in blue-green infrastructure planning. In *HydroCarpath 2021. Catchment and River Processes in Regional Hydrology: Coupling Field Experiments and Data Assimilation into Process Understanding and Modeling in Carpathian Basins [elektronický zdroj] : abstracts and posters of the conference. Vienna/Bratislava/Sopron, 26. 11. 2021. 1. vyd. Sopron : University of Sopron Press, 2021, USB kľúč, s. 26, article ID : P14. ISBN 978-963-334-414-9.*
 Typ výstupu: abstrakt z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFG

V2_06 PETROVÁ, Tímea - MAJOROŠOVÁ, Martina - TYUKOSOVÁ, Viktória [Tyukosová, Viktória] - ZAŤOVIČOVÁ, Miriam. Application of structural substrate with biochar component into the urban water retention measures. In *Public recreation and landscape protection - with environment hand in hand... : proceedings of the 13th conference. 9-10 May 2022, Křtiny*. 1. vyd. Brno : Mendel University in Brno, 2022, S. 41-44. ISSN 2336-6311. ISBN 978-80-7509-830-6. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85131221360 ; DOI: 10.11118/978-80-7509-831-3-0041.

Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC

V2_07 PETROVÁ, Tímea. Projektovanie prvkov zelenej infraštruktúry mestského prostredia na území antrozeme. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 32nd Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 26th 2022, Bratislava, Slovakia*. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2022, CD-ROM, s. 179-186. ISBN 978-80-227-5251-0.

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

V2_08 TYUKOSOVÁ, Viktória [Tyukosová, Viktória] - PETROVÁ, Tímea. Influence of anthropogenic factors and changes in the morphology of the Danube channel on the fragmentation of floodplains in Petržalka. In *Transport of water, chemicals and energy in the soil-plant-atmosphere system in conditions of the climate variability [elektronický zdroj] : book of Abstracts and Posters. Via the WEB Portal, November, 11–13 2020*. 1. vyd. Bratislava : Institute of Hydrology of the Slovak Academy of Sciences, 2020, CD-ROM, s. 23. ISBN 978-80-89139-48-4.

Kategória publikácie do 2021: AFH

V2_09 TYUKOSOVÁ, Viktória [Tyukosová, Viktória] - PETROVÁ, Timea. Changes in the composition and morphology of floodplain forests resulting from management of the Danube basin. In *HydroCarpath 2021. Catchment and River Processes in Regional Hydrology: Coupling Field Experiments and Data Assimilation into Process Understanding and Modeling in Carpathian Basins [elektronický zdroj] : abstracts and posters of the conference. Vienna/Bratislava/Sopron, 26. 11. 2021*. 1. vyd. Sopron : University of Sopron Press, 2021, USB kľúč, s. 27, article ID : P15. ISBN 978-963-334-414-9. Typ výstupu: abstrakt z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFG

V2_10 TYUKOSOVÁ, Viktória [Tyukosová, Viktória] - PETROVÁ, Timea - GREČNÁROVÁ, Jana. The impact of short-term recreational activities on the habitat of floodplain vegetation in the urban environment. In *Public recreation and landscape protection - with environment hand in hand... : proceedings of the 13th conference. 9-10 May 2022, Křtiny*. 1. vyd. Brno : Mendel University in Brno, 2022, S. 357-360. ISSN 2336-6311. ISBN 978-80-7509-830-6. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85131224098 ; DOI: 10.11118/978-80-7509-831-3-0357.

Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC

V3 Vedecký výstup publikačnej činnosti z časopisu

V3_01 PETROVÁ, Timea - MAJOROŠOVÁ, Martina. Analýza mestskej štruktúry prvkami modro-zelenej infraštruktúry v krajských mestách Slovenska. In *Pozemkové úpravy*. Roč. 29, č. 2 (2021), s. 15-20. ISSN 1214-5815. Kategória publikácie do 2021: ADE

V3_02 ŠTEFUNKOVÁ, Zuzana - MACURA, Viliam - ŠKRINÁR, Andrej - MAJOROŠOVÁ, Martina - DOLÁKOVÁ, Gréta - HALAJ, Peter - PETROVÁ, Timea. Evaluation of the Methodology to Assess the Influence of Hydraulic Characteristics on Habitat Quality. In *Water [elektronický zdroj]*. Vol. 12, iss. 4 (2020), online, [13] s., art. no. 1131. ISSN 2073-4441 (2020: 3.103 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.718 - SJR, Q1 - SJR Best Q). V databáze: CC: 000539527500208 ; SCOPUS: 2-s2.0-85084399599 ; DOI: 10.3390/W12041131. Kategória publikácie do 2021: ADC

O2 Odborný výstup publikačnej činnosti ako časť knižnej publikácie alebo zborníka

O2_01 PETROVÁ, Timea - MAJOROŠOVÁ, Martina. Sustainable urban planning of blue - green infrastructure with the structural substrate with a biochar component. In *WMCAUS 2022. Abstract Book [elektronický zdroj] : 7th World Multidisciplinary Civil Engineering, Architecture, Urban Planning Symposium, 05-09 September, 2022, Prague*. 1. vyd. Praha : WMCAUS, 2022, online, [1] s.

Typ výstupu: abstrakt z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: B

Štatistika: kategória ohlasov od 2022

1 Citácia v publikácii registrovaná v citačných indexoch			6
	Domáce		1
	Zahraničné		5
2 Citácia v publikácii vrátane citácie v publikácii registrovanej v iných databázach okrem citačných indexov			1
	Zahraničné		1
Súčet			7

Štatistika: kategória ohlasov do 2021

1	Citácie v zahraničných publikáciách, registrované v citačných indexoch Web of Science a databáze SCOPUS	6
3	Citácie v zahraničných publikáciách neregistrované v citačných indexoch	1
Súčet		7