



ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA PROJEKTU
SS07020299
TREESILIENCE
2024 - 2026

Závěrečná zpráva projektu TREESILIENCE (SS07020299)

1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE A ŘEŠITELSKÝ TÝM

Název projektu (CZ)	Nástroje pro podporu plnění ekosystémových služeb stromů a zvyšování odolnosti stávajících výsadeb
Název projektu (EN)	Tools to support the delivery of tree ecosystem services and increase the resilience of existing plantations
Akronym	TREESILIENCE
Číslo smlouvy	SS07020299
Poskytovatel	Technologická agentura ČR (Program Prostředí pro život)
Podprogram	Podprogram 2 – Ekoinovace, technologie a postupy pro ochranu životního prostředí
Období řešení	05/2024 – 06/2026
Hlavní příjemce	Mendelova univerzita v Brně (Lesnická a dřevařská fakulta)
Další účastník	Centrum MZI s.r.o., IČO: 14023644

Klíčové osoby a odborné garance:

- **Ing. Luděk Praus, Ph.D. (MENDELU):** Hlavní řešitel, odborný garant WP4. Zodpovědnost za biomechanické analýzy stability a syntézu výstupů.
- **doc. Ing. Josef Urban, Ph.D. (MENDELU):** Odborný garant WP4. Expert na fyziologickou ekologii, monitoring transpiračního proudu a stresovou fyziologii.
- **Ing. Aleš Kučera, Ph.D. (MENDELU):** Odborný garant WP1. Specializace na pedologii městských půd, hydrofyzikální vlastnosti a návrhy receptur růstových médií.
- **Bc. Mgr. Alena Klimešová, DiS. (MENDELU):** Odborná garantka WP3. Monitoring vitality, monitoring vodního režimu a vyhodnocování ekosystémových služeb.
- **Ing. Marie Matoušková (MENDELU):** Výzkumná pracovnice WP4. Sběr a vyhodnocování ekofyziologických dat (plynová výměna, vodní potenciál).
- **David Hora, DiS. (Centrum MZI s.r.o.):** Odborný garant WP2. Expert na technologie zlepšování stanovištních podmínek a metodiku modro-zelené infrastruktury.
- **Ing. Josef Souček (Centrum MZI s.r.o.):** Specialista na sortiment městských dřevin a vyhodnocování vitality experimentálních výsadeb.

2 SOUHRN NAPLNĚNÍ CÍLŮ PROJEKTU

Plánovaný cíl projektu	Druh výsledku	Dosažený výsledek k 06/2026
SS07020299-V1: Závěrečná zpráva	Vsouhrn	Cíl dosažen v 06/2026

projektu		
SS07020299-V2: Strukturální substrát pro pěstování stromů v prostoru městské ulice	Gfunk	Cíl dosažen v 05/2026
SS07020299-V3: Databáze výsadeb s využitím strukturálních substrátů	S	Cíl dosažen v 04/2026
SS07020299-V4: Technologie vrstev pro infiltraci a akumulaci srážkové vody v prostoru stromové mísy	Fuzit	Cíl dosažen v 05/2026

Projekt úspěšně integroval data z kontrolovaných experimentálních ploch v Tis-micích s dlouhodobým monitoringem v reálném urbanizovaném prostředí (Praha, Louny, Liberec). Tato syntéza umožnila verifikovat vliv připojeného povodí na fyziolo-gickou výkonnost dřevin a predikovat mechanickou stabilitu v závislosti na kvalitě prokořenitelného prostoru.

3 DETAILNÍ POPIS INSTRUMENTACE A VÝZKUMNÝCH PLOCH

3.1 POUŽITÉ PŘÍSTROJE A VYBAVENÍ

Sběr dat byl realizován pomocí špičkové instrumentace umožňující kvantifikaci fyziologických a biomechanických parametrů:

LiCor LI-6800: Přenosný systém pro měření plynové výměny. Využito k měření rychlosti čisté fotosyntézy a průduchové vodivosti na světlém satu- rovaných listech pro komparaci vitality mezi kontrolou a zlepšeným stanovištěm.

Scholanderova komora: Tlaková komora pro měření vodního potenciálu lis-tů, sloužící k přesné kvantifikaci vodního stresu a stanovení turgorové ztráty.

Dendrometry TOMST: Kontinuální monitoring radiálního přírůstu a maxi-málního denního smrštění kmene (MDS) jako citlivého indikátoru aktuálního vodního statusu pletiv.

TreeQinetic: Statické tahové zkoušky využívající elastometry a inklinometry pro stanovení odolnosti vůči zlomu a vývratu v korelaci se "Základní hodnotou stability".

Air Spade (Supersonický rýč): Nedestruktivní odkryv kořenové soustavy pro mapování distribuce kořenů v podmíněně vhodných půdních podmínkách a ověření funkčnosti kořenových cest.

Dvouválcový infiltrometr: Sada pro terénní měření infiltračních kapacity in-stalovaných povrchů WP1. Porovnává využitelnost v praxi a reálnost výsledků s Mini-disc infiltrometrem pro tyto povrchy.

Mini disc-infiltrometr: Nástroj pro operativní terénní verifikaci hydraulické vo-divosti a infiltrační kapacity instalovaných povrchů WP1.

3.2 POPIS VÝZKUMNÝCH PLOCH A POKUSŮ V PROJEKTU

Výzkumná plocha Centra MZI, Tismice, k.ú. Rostoklaty

A) Vliv velikosti prokořenitelného prostoru a připojeného povodí (od 2024)

Vliv připojeného povodí a velikosti prokořenitelného prostoru je ověřován na založeném pokusu, kdy jsou stromy vysázeny do strukturálního substrátu o objemu 1, 3,5 a 8 m³ se stranově omezenou schopností prorůstání do okolního terénu. Pro simulaci městského prostředí je povrch výsadbových rýh překryt dlažbou. K těmto plochám jsou připojena povodí o ploše 0, 5 a 20 m². Vysázeny jsou i kontrolní vzorky. Celkem proběhla výsadba 28 ks stromů (lípa malolistá *Tilia cordata*) v 8mi replikovaných situacích. Celková plocha pokusu zaujímá 860 m². U osmi stanovišť došlo k instalaci dendrometrů a systému čidel (dodavatel Environmental Measuring Systems s.r.o.), které dodávají údaje o růstu stromů a půdních podmínkách v reálném čase.



Obr. 1: Zakládání pokusných ploch v roce 2024

B) Růstové médium kořenových cest (od 2025)

Zkoumá vliv výplňového materiálu kořenových cest. Kořenové cesty (4 ks/výsadba) o rozměru 0,4x0,6x2 m byly vyplněny různým médiem (strukturální substrát (HDK 32/64 85%, biouhel 7,5%, kompost 7,5%) , štěrkový výsadbový substrát (štěrk 4/8 70%, kompost 20%, biouhel 10%) , štěrk (HDK 32/64 100%) a nakypřená stávající zemina). Celkem replikováno v 6 provedeních s výsadbou lípy malolisté (*Tilia cordata*). Celková plocha pokusu 180 m².



Obr. 2: Výsadba stromů a zřizování kořenových cest

C) Provozní testování krycí směsí povrchu stromových mís (2025)

Pro testování vlastností zkoušených směsí povrchu stromových mís byly vytvořeny zkušební rámy o rozměru 1,5x1,5 m a ploše 2,25 m² vyplněné variantami testovacích směsí krytové vrstvy stromových mís. Celková plocha pokusu 25 m².



Obr. 3: Testování krycích směsí

Testovací plochy v městském prostředí

A) Vývoj souvrství povrchu stromových mís - ul. Kostelní (2024)

V ul. Kostelní byly instalovány čtyři typy povrchů s podobným konstrukčním principem a odlišnou recepturou krycí vrstvy. Po období monitoringu a testování (pojezd, vsakování), byla vybrána cílová směs pro další analýzy a testování.



Obr. 4: Příklad testovacích ploch krycí vrstvy

B) Testování výsledného konstrukčního provedení vč. výsledné krycí vrstvy (2025)

Na lokalitách ul. Dukelských hrdinů, Pernerova, Vítkova, Maltézské náměstí, Baranova v Praze a Mírové náměstí Lounech byly ve spolupráci s partnery instalovány výsledné směsi povrchu stromových mís pro ověření vlastností v městském provozu.



Obr. 5: Testování včetně krycí vrstvy, ulice

C) Průzkum vlastností vegetačních pásů v městském prostředí (2024)

Terénní odběr půdních vzorků proběhl u 11 lokalit. Lokality byly pro odběr vybrány na základě znalosti místních podmínek. Při výběru byla bána v úvahu intenzita dopravy a šíře vegetačního pásu. Celkem bylo odebráno 44 vzorků z vegetačních pásů ul. Benešovská, Rohanské nábřeží, Pod kaštany, Patočkova, Jugoslávských partyzánů, Evropská, Varšavská, Kolejní, Rožmberská, Jateční a U Uranie. Odebrané vzorky byly laboratorně zpracovány (chemické a fyzikální rozbor), vyhodnoceny a výsledky využity pro návrh vhodné technologie zlepšení stanovištních podmínek. Prezентováno na workshopu Root Space při konferenci Modrozelená 2026.



Obr. 6: Průzkum vlastností vegetačních pásů v městském prostředí

D) Průzkum rozvoje kořenové soustavy vzhledem k limitům zhutnění (2025)

Pro zdokumentování vlivu stanovištních podmínek a zejména zhutnění půdy byly provedeny průzkumy „in situ“, zaměřené na mapování rozvoje kořenů v prostředí v podmíněně vhodných a nevhodných stanovištních podmínkách městských ulic. Průzkumy byly provedeny na vybraných místech pomocí technologie supersonického rýče (syn. Air Spade). Průzkumy byly realizovány v ul. Baranova, Jilmová, Na Vápence, U Průhonu, Jana Želivského, Lucemburská, Dejvická, Kubelíkova, Přemyslovská, Rašínovo nábřeží a Velehradská, rozsah prokořenění byl zkoumán i u starších výsadeb ve strukturálním substrátu v Jihlavě. Výsledky byly využity pro návrh vhodné technologie zlepšení stanovištních podmínek. Prezentováno na workshopu Root Space při konferenci Modrozelená 2026.



Obr. 7: Průzkum rozvoje kořenových systémů

E) Vliv omezeného prokořenitelného prostoru na stabilitu stromů – tahové zkoušky (2024 - 2026)

Na vybraných lokalitách (ul. Slavičkova, nám. J. z Poděbrad, Korunní a dalších) byla provedena měření tahovou zkouškou za účelem ověření vlivu omezeného prokořenitelného prostoru na stabilitu stromů.



Obr. 8: Tahové zkoušky stromů

F) Vliv zlepšení stanovištních podmínek stromové mísy na stabilitu a vitalitu stromů - ul. Lužická (2024 – 2025)

Místo pilotního fyziologické měření na stromech (břestovec, ul. Lužická) se zlepšeným prokořenitelným prostorem v prostoru stromové mísy oproti kontrolním jedincům v původní zhutněné půdě.



Obr. 9: ulice Lužická: vliv zlepšení stanovištních podmínek stromové mísy na stabilitu a vitalitu stromů

G) Testování kombinace použití strukturálního substrátu (Gfunk) a užitého vzoru povrchu stromových mís Letenská pláň (2026)

V rámci projektu Treesilience byla využita příležitost testování všech vyvinutých technologií v komplexním použití na ploše s nevhodnými půdními podmínkami kde byl použit strukturální substrát pro vytvoření podzemních rýh a vegetační vrstvy. Vlastní povrch byl realizován dle užitého vzoru s modifikací cíleného osetí trávničkem (forma štěrkového trávničku). Stromy ve třech výsadbových situacích a dvou replikacích (dub cer *Quercus cerris*) byly doplněny o instalaci dendrometrů a systému čidel (dodavatel Environmental Measuring Systems s.r.o.), celkem je monitorováno 6 ks stromů.



Obr. 10: Experimentální práce na Letenské pláni

H) Vliv různých typů závlahy, Psychiatrická nemocnice v Brně (od 2024)

V areálu Psychiatrické nemocnice v Brně byl založen experiment se závlahou vzrostlých stromů. V rámci experimentu byly na ploše instalovány profilové sondy a na stromy byly instalovány bodové dendrometry. Stromy jsou rozděleny do 3 skupin, kontrolu, se závlahou volným vylitím vody a se závlahou pomocí vaků.

4 ODBORNÉ VÝSLEDKY DLE PRACOVNÍCH BALÍČKŮ (WP1–WP4)

4.1 WP1: ZLEPŠENÍ INFILTRACE A AKUMULACE SRÁŽKOVÉ VODY V PROSTORU STROMOVÉ MÍSY, ODOLNOST PROTI ZHUTNĚNÍ A ÚČINNOST PŮDNÍHO FILTRU PŘI PŘEDČIŠTĚNÍ SRÁŽKOVÉ VODY

Odborný garant: Aleš Kučera

Cíl: Návrh a ověření skladby povrchu stromové mísy, který zajistí dostatečnou infiltrační schopnost, retenční kapacitu a filtrační (předčišťovací) funkci vůči srážkové vodě při současném zachování odolnosti proti mechanickému zhutnění, dobré udržitelnosti a nízkým nákladům. Sledovanými parametry jsou velikost stromové mísy, infiltrační schopnost, retenční kapacita jejího povrchu a schopnost zachytávat nerozpustné látky a běžné městské polutanty. Součástí technického řešení je i ochrana kořenové zóny před zhutněním.

Stromové mísy jsou v prostoru zpevněných ploch zásadním prvkem, který ovlivňuje kvalitu stanovištních podmínek stromů a přístup vody do jejich kořenové zóny. Stromové mísy mají též významný potenciál z hlediska hospodaření se srážkovou vodou v městském prostředí. Současná řešení zahrnují širokou škálu způsobů úpravy povrchových vrstev půdy v prostoru stromových mís. Otevřené nezpevněné stromové mísy jsou tvořeny odkrytou půdou, anorganickým mulčem ze štěrkových vrstev, případně s organickým mulčovací materiálem (kůrou, štěpkou nebo obdobnými materiály), popř. vrstvou mlatového povrchu. Mulčování organickým materiálem umožňuje přímou infiltraci srážkové vody a výměnu plynů, avšak nevýhodou je značná proměnlivost vlastností vzhledem k aktuálním klimatickým podmínkám, tendence k erozi, ke zbahnění, k utužení a tím ke zhoršení infiltrační schopnosti i ke zvýšenému riziku anaerobních podmínek. Stromové mísy kryté štěrkovým zásypem jsou tvořeny tříděným kamenivem různých frakcí, případně dekorativním štěrkem. Toto řešení má vyšší protierozní účinnost, lépe splňuje požadavky na estetiku, avšak neumožňuje efektivní údržbu, což vede ke znečištění povrchů a kolmataci. Stromové mísy tvořené zpevněným povrchem s otvorem pro kmen stromu jsou tvořeny betonovou, asfaltovou nebo dlažďenou plochou s kruhovým či polygonálním otvorem. Řešení poskytuje vysokou únosnost povrchu, avšak zhoršenou dostupnost vody a výměnu plynů. Propustné dlažby a vegetační tvárnice se štěrkovou nebo vegetační výplní otvorů umožňují lepší vsak, avšak nesplňují vždy estetické požadavky a jsou náročné na údržbu a revitalizaci ploch.

Plocha stromové mísy činí cca 2,5 až 8 m². Technické požadavky na vlastnosti povrchu se z hlediska MZI zaměřují na širší výčet předpokladů. Povrch stromové mísy musí vykazovat vysokou propustnost pro vodu s minimálním povrchovým odtokem, a to i při připojení povodí okolních zpevněných ploch. Zároveň musí odolat ki-

netické energii přívalových dešťů nebo intenzivní zálivky. Základem dlouhodobosti materiálu je tak protierozní odolnost. Infiltrace musí probíhat rovnoměrně po celé ploše stromové mísy. Materiál stromové mísy musí být retenčně účinný a zároveň dobře provzdušněný. Předpokladem je tak vysoká makropórovitost resp. poměr nekapilárních : kapilárních pórů cca 2 : 1. Konstrukce stromové mísy musí chránit kořenový prostor před mechanickým zhutněním způsobeným chůzí i neplánovaným pojezdem lehkých vozidel. Mechanické působení na povrch nesmí negativně ovlivňovat makropórovitost, vodopropustnost ani perkolaci plynů. Materiál svrchních vrstev stromové mísy musí být filtračně účinný vůči mechanickým částicím z důvodu prevence vůči kolmataci hlubších půdních vrstev. Z chemické podstaty by měl vykazovat mírně kyselou půdní reakci a neměl by obsahovat vápenaté resp. karbonátové složky ani rozpustné soli, ani toxické látky. Povrch stromové mísy musí vykazovat dobré vizuální vlastnosti a přispívat k estetické kvalitě veřejného prostoru. Celá skladba technického řešení musí být dostatečně flexibilní, a to jak pro nové, tak pro stávající výsadby. Musí být nezávislá na velikosti a tvaru stromové mísy, musí být opravitelná a obnovitelná a musí být ekonomicky i provozně přiměřená.

Průběh řešení (2024–2026)

V roce 2024 bylo na testovací ploše v ul. Kostelní v Praze (stromová mísa 1,6 × 1,8 m, sklon 5,5 %) instalováno pět výchozích směsí krycí vrstvy (kombinace žulové a porfyrové drtě, biouhlu, kompostu a vápence) spolu s kontrolním vzorkem stávající zhutněné zeminy. Po 40 dnech od instalace proběhlo provozní testování – nátoková zkouška (schopnost zachytit 20 l vody), odolnost proti zhutnění při zatížení dopravou a odolnost proti erozi. Na základě výsledků byla vybrána finální receptura krycí směsi (50 % porfyr 0/16 mm, 30 % vápenec 4/8 mm, 10 % kompost 0/10 mm, 10 % biouhel) v kombinaci s akumulací vrstvou ze 100 % porfyru frakce 16/32 mm.

V roce 2025 pokračovalo testování vybrané varianty a drobné doladění receptury a technologie míchání a instalace – byl upřesněn vhodný typ biouhlu (ovlivňuje barevnou stálost povrchu) a kompostu (omezení zaplevelení klíčovými semeny) a byl optimalizován postup hutnění a vlhkosti směsi při míchání. Receptura byla ve spolupráci s TSK Praha, a. s. a jejími dodavateli instalována v reálném provozu na šesti lokalitách v Praze (Dukelských hrdinů, Pernerova, Vítkova, Maltézské náměstí, Baranova a Anny Letenské) a mimo Prahu na Mírovém náměstí v Lounech. Souběžně byla zahájena kompletní laboratorní analýza vlastností navrhované směsi včetně testování filtrační kapacity povrchové vrstvy pro potřeby přihlášky užitého vzoru a byla připravena metodika testování vlivu konstrukce na zhutňování. Vlastní hutnicí zkoušky (nastavení optimálních parametrů) a měření infiltračních vlastností běžně dostupnými nástroji (pro nastavení kvalitativního ověření realizací) proběhlo na jaře 2026.

V průběhu roku 2026 byly detailněji zkoumány suroviny použité pro krycí vrstvu. Na základě laboratorních zkoušek byly vytvořeny čtyři nové modifikace receptury krycí vrstvy. Byla provedena terénní aplikace a série laboratorních měření a výsledná

receptura použitá pro užitný vzor tak vychází jak z empirických, tak i z naměřených dat.

Podstata technického řešení krycí vrstvy stromové mísy - varianty vybrané pro užitný vzor

Podstata technického řešení spočívá ve vytvoření konstrukční skladby povrchu stromové mísy tak, aby byla zajištěna mechanická únosnost povrchu, povrchová retence srážkové, závlahové i povrchově tekoucí vody a její následná infiltrace do kořenového prostoru stromu a dlouhodobá ochrana fyzikálních vlastností půdního nebo substrátového prostředí pod touto vrstvou. Technické řešení je tvořeno souvrstvím dvou funkčních vrstev, a to spodní retenční a roznášecí vrstvy a vrchní krycí vrstvy. Tyto vrstvy jsou přitom navrženy tak, aby se jejich funkce navzájem doplňovaly. Retenční a roznášecí vrstva slouží k dočasnému zadržení vody, krycí vrstva umožňuje rychlý průnik vody do retenční a roznášecí vrstvy se současným předčištěním srážkové vody od nerozpuštěných látek (kaly a písky), čímž omezuje zanášení retenční a roznášecí vrstvy a chrání ji před nadměrným vysycháním. Retenovaný objem je následně infiltrován do prokořenitelného prostoru stromů.

Krycí vrstva je prodyšná, mechanicky soudržná, odolná proti zhuštění a zároveň před zhuštěním chrání retenční a roznášecí vrstvu. Technické řešení spočívá ve vytvoření souvrství složeného z retenční a roznášecí vrstvy a krycí vrstvy. Krycí vrstva se přitom hutní ručním pěchem na únosnost min. 10 MPa. U krycí vrstvy je objemová hmotnost redukována cca. 1,55–1,75 g/cm³, makropórovitost je cca. 15-25 % obj. Krycí vrstva přitom chrání retenční a roznášecí vrstvu před zanesením drobnými nečistotami a před vysycháním. Povrch rovněž umožňuje snadný úklid a údržbu plochy kolem stromu a plní též funkci estetickou. Receptura u organických složek využívá recyklovaných materiálů.

Krycí vrstva má charakter šterkomlatu a je tvořena směsí s následujícími složkami:

- drcený porfyr frakce 0/16 mm (50 % obj. ± 5 %)
- drcený porfyr frakce 4/8 mm (30 % obj. ± 3 %)
- kompost frakce 0/10 mm (10 % obj. ± 2 %)
- biouhel netříděný frakce 0/10 mm (10 % obj. ± 2 %)

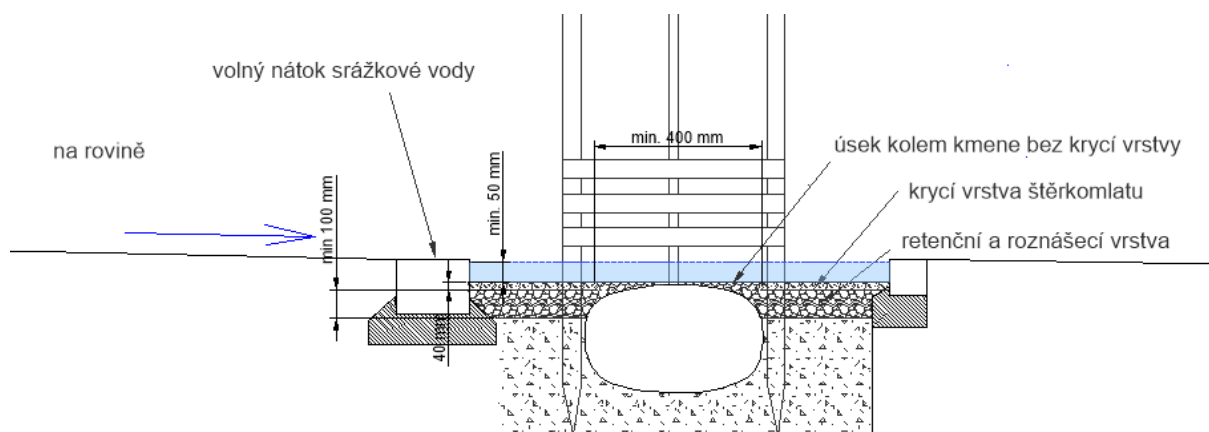
Retenční a roznášecí vrstva je tvořena drceným porfyrem frakce 16/32 mm, urovnaným do rovnoměrné vrstvy.

Údržba povrchu stromové mísy je prováděna ručním vyhrabáním odpadu a urovnáním povrchu tzv. švédskými hráběmi v intervalu přibližně 1x měsíčně nebo podle potřeby. Doplnění a přehutnění krycí směsi se provádí v intervalu cca. 3 roky. V případě snížení rychlosti infiltrace vlivem kolmatace (pokles rychlosti infiltrace pod 50 mm/hod) se provádí kompletní výměna krycí vrstvy.

Příklad provedení

Příklad provedení 1: v rovinatém terénu

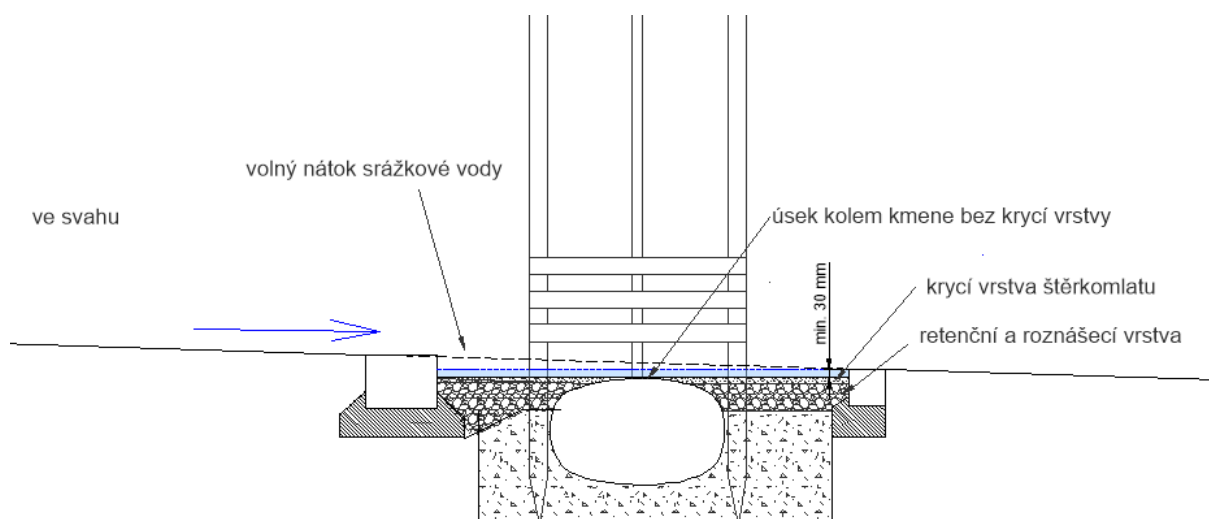
Retenční a roznášecí vrstva je uložena na strukturálním nebo výsadbovém substrátu v prostoru stromové mísy do souvislé vrstvy. Výsledná mocnost této vrstvy je 100 mm. Tato vrstva zasahuje až do prostoru kořenového balu k bázi kmene. Krycí vrstva je rozprostřena a urovnána na retenční a roznášecí vrstvě při vlhkosti 10-15 % obj. (odpovídá stavu vhodnému pro konsolidaci, kdy je směs při stlačení soudržná, avšak při mechanickém narušení se opět rozpadá) a zhutněná mimo prostor kořenového balu ručním pěchem na hodnotu únosnosti 10 MPa. Výsledná mocnost této vrstvy je 40 mm. Krycí směs je instalována v minimální vzdálenosti od báze kmene stromu 300 mm a retenční a roznášecí vrstva je tak ponechána obnažená, bez překrytí krycí vrstvou (umožní rychlý vsak vody při zaplavení celé stromové mísy). Niveleta krycí vrstvy musí být pro dosažení uvažované povrchové retence min. o 50 mm níže než je niveleta okolních zpevněných ploch.



Obr. 11: Schéma provedení v rovinatém terénu

Příklad provedení 2: ve svažitém terénu

Na lokalitách ve svažitém terénu je z důvodů protierozní ochrany a omezení povrchového odtoku nutné zajistit co nejrychlejší vsak povrchově tekoucí vody do konstrukce stromové mísy. Je-li retenční a roznášecí vrstva uložena na rostlé zemině, je na straně nátoky uložena do prohloubené rýhy orientované po vrstevnici, určené k zachycení a vsaku povrchově přitékající vody. Hloubka rýhy je cca. 300 mm a šířka je cca. 200 mm). Krycí vrstva je uložena a rovněž mimo prostor kořenového balu zhutněna ručním pěchem na hodnotu únosnosti 10 MPa. V místě nátoky vody je mocnost krycí vrstvy snížena na 20 mm, přičemž její snížená tloušťka podporuje rychlý vsak vody do retenční a roznášecí vrstvy.



Obr. 12: Schéma provedení ve svažitém terénu

Průmyslová využitelnost

Technické řešení je vhodné pro aplikaci v různých typech městského prostoru, zejména v uličních stromořadích, v pěších zónách, parcích, parkovištích a dalších zpevněných plochách, kde je vyžadována kombinace mechanické únosnosti povrchu, efektivního hospodaření se srážkovou vodou a ochrany stanovištních podmínek stromů. Díky své konstrukční variabilitě je řešení použitelné jak v rovinatém, tak i ve svažitém terénu, a to i v prostorově omezených podmínkách. Optimalizace infiltrace a dočasné retence srážkové vody přispívá k omezení povrchového odtoku i zátěže kanalizačních systémů a ke zlepšení vodního režimu stromů. Tím se technické řešení pozitivně promítá do střednědobého i dlouhodobého plánování municipalit, zejména ve vazbě na adaptační strategie v podmínkách měnícího se klimatu. Pozitivní vliv na technickou infrastrukturu obcí spočívá v omezení závislosti stromů na doplňkové závlaze a v souvislosti s tím, také ve snížení energetických a provozních nákladů obcí. Aplikace technického řešení vede ke zvýšení vitality a zlepšení fyziologického stavu stromů a podporuje tak lepší plnění ekosystémových služeb městské zeleně.

Technické řešení je realizováno s využitím běžně dostupných materiálů a technologií, je kompatibilní se standardními postupy městské údržby a umožňuje jednoduchou obnovu a lokální opravy v intencích technických služeb obcí, bez nutnosti rozsáhlých stavebních zásahů. Využití recyklovaných a druhotných materiálů v krycí vrstvě technického řešení přispívá ke snížení uhlíkové stopy a podporuje principy oběhového hospodářství. Díky uvedeným vlastnostem je technické řešení průmyslově využitelné zejména v oblasti komunálních služeb, správy veřejného prostoru, krajinářské, zahradnické a arboristické praxe i při realizaci investičních projektů zaměřených na udržitelný rozvoj měst a obcí.

Při průměrné hustotě uličních stromů (cca. 50–80 stromů na 1 000 obyvatel) má

technické řešení vysoký potenciál využití v optimalizaci povrchů stromových mís jak stojících stromů tak i nových výsadeb v řádech desítek až stovek tisíc stromů. Při průměrné roční obnově stromů cca. 1–3 % a při zahrnutí nových výsadeb technické řešení představuje násobné zvětšení infiltrační plochy, která v součtu za krajské město může činit i několik hektarů, ale i desítek až stovek tisíc m³ srážkové vody, která není přímo odvedena do kanalizačních systémů.

Za účelem vyhodnocení možností realizace byly testovány jak samotné suroviny, tak navrhované směsi ve více variantách na filtrační soustavě, aby bylo možné zjistit filtrační účinek z aspektu dvou nejvýznamnějších fenoménů města: zasolení a přítomnost mechanických částic. Vedle filtračního účinku byl také testován retenční účinek a porozita jednotlivých surovin i navrhovaných směsí.

Technologické vlastnosti všech zkoumaných variant receptur krycí vrstvy

Testované směsi

Suroviny pro testované směsi uvádí následující tabulka:

Materiál (surovina)	Frakce (mm)	Účel použití	Podíl v receptuře (%)
Porfyr (lom Kubo)	0/16	Nosná kostra krycí vrstvy zajišťující mechanickou únosnost a odolnost proti zhutnění; ostrohranné zrno drží strukturu, nízká konduktivita filtrátu potvrzuje chemickou neutralitu materiálu.	50
Porfyr (lom Třebnuška)	4/8	Náhrada vápence se srovnatelnou ostrohranností pro stabilitu směsi, bez nežádoucího zvyšování pH filtrátu; testováno jako propustnější alternativa při zachování pevnosti.	30
Vápenec (lom Mořina)	4/8	Původně zvolen pro pískové barevné vyznění a ostrohrannost zrna zajišťující stabilitu; nevýhodou je výrazné zvyšování pH filtrátu, nevhodné pro alkalické městské půdy.	30
Čedič (lom Libochovany)	4/8	Testovaná barevná a materiálová alternativa k vápenci s cílem zachovat stabilitu a estetiku povrchu při odlišných chemických vlastnostech filtrátu (mírně alkalizující účinek).	30
Kačírek (lom Čenkov)	4/8	Zaoblené zrno jako dostupná alternativa k ostrohranným materiálům; ověřuje se vliv nižší úhlovosti zrna na stabilitu a propustnost krycí vrstvy.	30
Biouhel (Dr. Uhlí) ¹	(netříděný)	Zajišťuje sorpci znečišťujících látek a mechanických částic při filtraci srážkové vody, zvyšuje pórovitost a podporuje předčištění vody v krycí vrstvě.	10
Kompost (Garden line)	0/10	Organická složka dodávající živiny a podporující mikrobiální aktivitu; zvyšuje vodní kapacitu směsi, může přechodně zvyšovat konduktivitu filtrátu vlivem vyluhování.	10-20
Biouhel (Preol) ²	0/10	Alternativní zdroj biouhlu ověřující stejnou sorpční a filtrační funkci jako netříděný biouhel,	10

¹ Biouhel vyrobený ze standardních surovin - dřevitá biomasa.

		s cílem porovnat kvalitu a stálost účinku dle do- davatele.	
--	--	--	--

Tabulka 1: Suroviny testované směsi

Biouhel Dr. Uhlí – vyráběn pyrolýzou dřevní štěpky při cca 850 °C. Dřevní surovina obecně poskytuje vyšší specifický povrch biouhlu ve srovnání s biouhlem ze slámy nebo travní biomasy. Pro účel stromové mísy to znamená vyšší sorpční kapacitu vůči znečišťujícím látkám a lepší schopnost zadržet vodu i živiny – tedy silnější předpoklad pro funkci předčištění srážkové vody.

Biouhel Preol – vzniká z sekundárních plev z čištění řepkového semene, tedy ze zemědělského vedlejšího produktu podobného typu jako sláma/slupky. Tento typ biomasy typicky dává biouhel s nižším specifickým povrchem a pórovitostí než dřevní surovina, ale zpravidla vyšším obsahem minerálních látek (K, P) z rostlinného původu – rozdíly ve vlastnostech biouhlu jsou dány jednak různými surovinami použitými na výrobu, jednak odlišnostmi ve výrobním procesu. Prakticky to znamená potenciálně nižší filtrační/sorpční účinnost, ale možný přínos v podobě rychleji uvolnitelných živin – a naopak vyšší riziko zvýšení konduktivity/pH filtrátu vlivem vyššího obsahu popelovin.

Shrnutí pro požadavky na povrch stromové mísy: Předpokladem pro diferenci různých typů biouhlu je, že Biochar od firmy Dr. Uhlí je pravděpodobně vhodnější tam, kde je prioritou dlouhodobá sorpce a filtrace (hlavní cíl WP1), Preol biouhel je zajímavý spíše jako zdroj s výhodnější dostupností/cenou a možným přínosem v podobě živin, ale s nejistým dopadem na filtrační výkon.

Také byly testovány jako směsná média se složením uvedeným v následující tabulce:

2 *Preol je český podnik (skupina Agrofert), tradičně největší zpracovatel řepkového semene u nás, se zaměřením na výrobu bionafty a technických produktů z řepkového oleje. V Preolu vzniká nová technologie zpracování sekundárních plev z čištění řepkového semene, jejímž výsledkem je biochar (biouhel), který se využívá mimo jiné jako půdní kondicionér. Ten zlepšuje přirozenou úrodnost a kvalitu půdy tím, že zadržuje vláhu a brání vyplavování živin.*

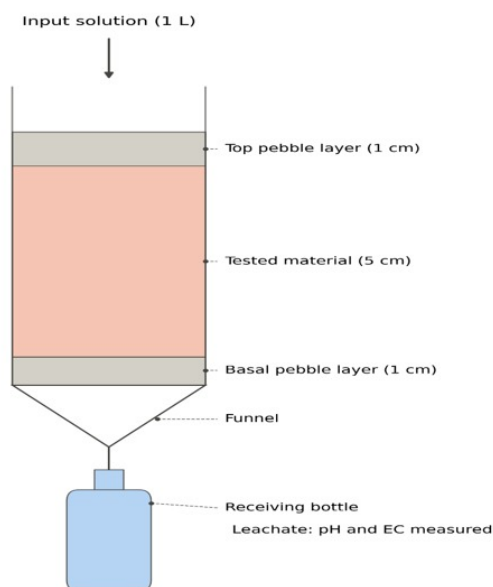
Varianta			
A	poměr (%)	materiál	frakce (mm)
	50	porfyr	0/16
	30	vápenec	4/8
	10	kompost	0/10
B	poměr (%)	materiál	frakce (mm)
	50	porfyr	0/16
	30	porfyr	4/8
	10	kompost	0/10
C	poměr (%)	materiál	frakce (mm)
	50	porfyr	0/16
	30	čedič	4/8
	10	kompost	0/10
D	poměr (%)	materiál	frakce (mm)
	50	porfyr	0/16
	30	vápenec	4/8
	10	kompost	0/10
E	poměr (%)	materiál	frakce (mm)
	50	porfyr	0/16
	30	porfyr	4/8
	10	kompost	0/10
F	poměr (%)	materiál	frakce (mm)
	50	porfyr	0/16
	30	čedič	4/8
	10	kompost	0/10
1	poměr (%)	materiál	frakce (mm)
	50	porfyr	0/16
	30	vápenec	4/8
	10	kompost	0/10
2	poměr (%)	materiál	frakce (mm)
	50	porfyr	0/16
	30	porfyr	4/8
	10	kompost	0/10
K (kontrola)	poměr (%)	materiál	frakce (mm)
	100	Křemitý písek	2/4

Tabulka 2: Složení směsných médií

U uvedených materiálů byla testována filtrační účinnost vzhledem k roztokům s různým obsahem chloridu sodného, močoviny a glaukonitu. Chlorid sodný reprezentuje zasolené prostředí města ve vazbě na zimní údržbu, v tomto případě ve dvou různých koncentracích roztoků (5 a 10 %). Močovina reprezentuje eutrofizované prostředí s různými zdroji dusíku, zejména výkaly a moč psů a dopravu, v koncentraci 2 %. Glaukonit byl použit pro přípravu suspenze za účelem sledování účinnosti filtrace mechanických částic.

Testovací roztoky a suspenze byly převedeny přes filtrační kolonu o průměru

104 mm a o mocnosti 5 cm materiálu, kdy v dolní části kolony bylo umístěné hrubé síto o velikosti ok 1,5 mm a dále 1 cm praného štěrku o frakci 4/8 (stabilizace materiálu v koloně, bez dalšího filtračního účinku). Horní část kolony byla oddělena sítím z důvodu eliminace zvíření směsi při vlévání směsi do kolony. Schéma kolony je uvedeno na následujícím obrázku.



Obr. 13: Schéma kolony

Doplňkově byla vyhodnocena také rychlost filtrace a objem přefiltrovaného materiálu (orientační hodnocení retenčního účinku, avšak bez předchozí informace o aktuální vlhkosti).

Hydrofyzikální vlastnosti byly řešeny prostřednictvím analýzy Kopeckého fyzikálního válečku naplněného na úroveň přirozené sléhavosti jednotlivých materiálů hutněním v laboratorních podmínkách. Hydrofyzikální analytika byla provedena za účelem hodnocení vlastností materiálů určených pro povrchy stromových mís. Stanovené veličiny popisují, jak materiál nakládá s vodou a vzduchem v pórovém prostoru, a jak odolává mechanickému zatížení.

"Horní" hydrolimity: Plná vodní kapacita (PVK) vyjadřuje stav bezprostředně po plném nasycení – kolik vody materiál pojme celkově, včetně vody, která během chvíle odteče a odpovídá de facto pórovitosti. Gravitační voda (GV) je ta část objemu vody, která zbyla ve vzorku po plynulém 30minutovém odtékání gravitační vody z největších pórů – ukazuje rychlost počátečního odvodnění. Maximální kapilární kapacita (MKK) představuje vodu drženou kapilárními silami po odeznění gravitačního odtoku (2 h) – reprezentuje reálnou "provozní" vodní kapacitu materiálu. Retenční vodní kapacita (RVK) je stav po 24 h odsávání, tedy voda, která v materiálu zůstává dlouhodobě k dispozici kořenům.

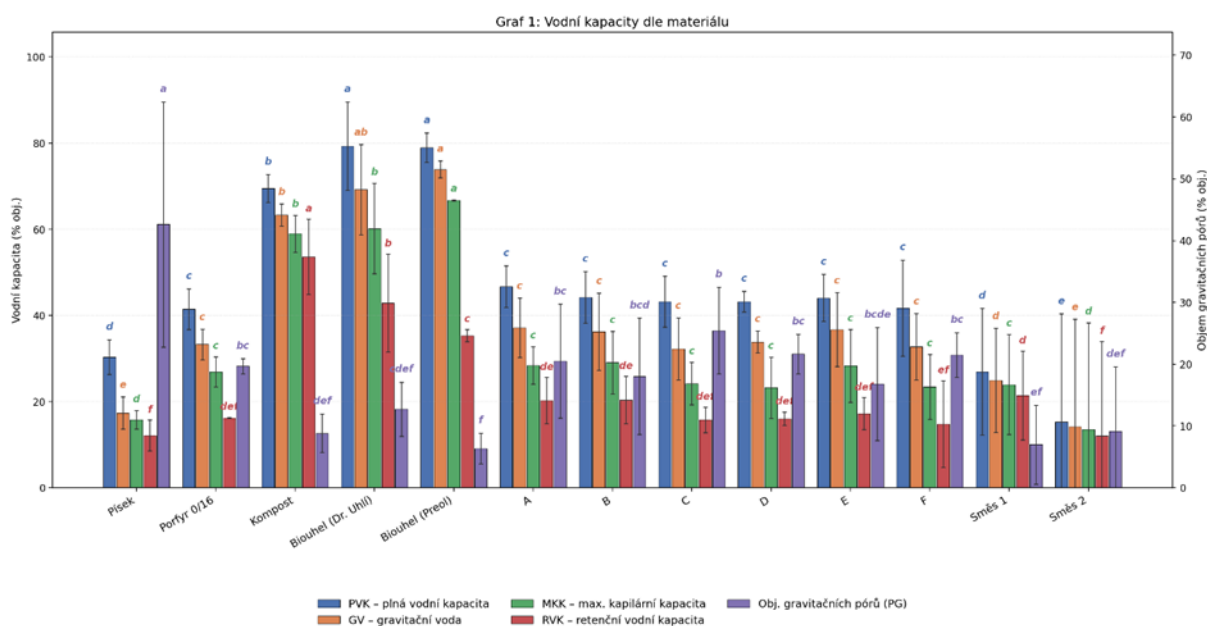
Objem gravitačních (nekapilárních) pórů (PG) vyjadřuje podíl makropórů, který-

mi voda i vzduch volně prochází – klíčový parametr pro rychlost infiltrace.

"Dolní" hydrolimity – bod vadnutí (BV), lentokapilární bod (LB) a bod snížené dostupnosti (BSD) popisují stupně vázanosti vody v jemných pórech, od vody nedostupné rostlině (BV) až po vodu hůře dostupnou (BSD). Čím vyšší jsou tyto hodnoty, tím více materiál vodu "svazuje", místo aby ji propouštěl dál. Využitelná vodní kapacita (VVK) je rozdíl mezi kapacitou a bodem vadnutí – množství vody skutečně využitelné stromem.

Poměr kapilárních/nekapilárních pórů ukazuje vyváženost mezi zadržováním a propouštěním vody, minimální vzdušná kapacita (A_{mkk}) pak trvale zachovaný podíl vzduchem vyplněných pórů i po nasycení – zásadní pro dýchání kořenů.

Objemová hmotnost redukovaná (rd) vyjadřuje míru zhutnění a nosnosti materiálu – čím nižší, tím lehčí a méně mechanicky stabilní materiál.



Obr. 14: Tzv. „horní“ hydrolimity jednotlivých materiálů – surovin a jejich směsí. Vysvětlivky jednotlivých variant jsou uvedeny v tabulce na začátku této podkapitoly. (PVK – plná vodní kapacita; GV – gravitační voda; MKK – maximální kapilární kapacita; RVK – retenční vodní kapacita).

Graf zachycuje čtyři klíčové vodní kapacity (PVK, GV, MKK, RVK) a doplňkově objem gravitačních pórů (PG) pro 13 testovaných materiálů/směsí. Nejvýraznější je rozdíl mezi samostatnými organickými materiály a minerálními směsmi krycí vrstvy.

Biouhel (Dr. Uhlí i Preol) dosahuje nejvyšších hodnot plné vodní kapacity (PVK $\approx 79\%$) i gravitační vody (GV 69–74 %) – statisticky se od všech ostatních materiálů významně liší (skupina "a"). To odpovídá jeho vysoké pórovitosti a schopnosti zadržet velké množství vody. Zajímavé je, že Preol biouhel dosahuje signifikantně vyšší

MKK (66,8 %, skupina "a") než Dr. Uhlí (60,2 %, skupina "b") – tedy má vyšší kapacitu zadržet vodu kapilárními silami. Naopak u retenční vodní kapacity (RVK, tj. vody zůstávající po 24h odsávání) je pořadí opačné: Dr. Uhlí (43 %) významně převyšuje Preol (35 %). To naznačuje, že ačkoli Preol biouhel drží více vody v kapilárách krátkodobě, Dr. Uhlí ji zadržuje o něco lépe dlouhodobě – rozdíl, který stojí za zvážení při výběru konkrétního materiálu např. vzhledem k taxonu nebo předpokládané další zátěži ve vazbě na mechanické nečistoty apod.

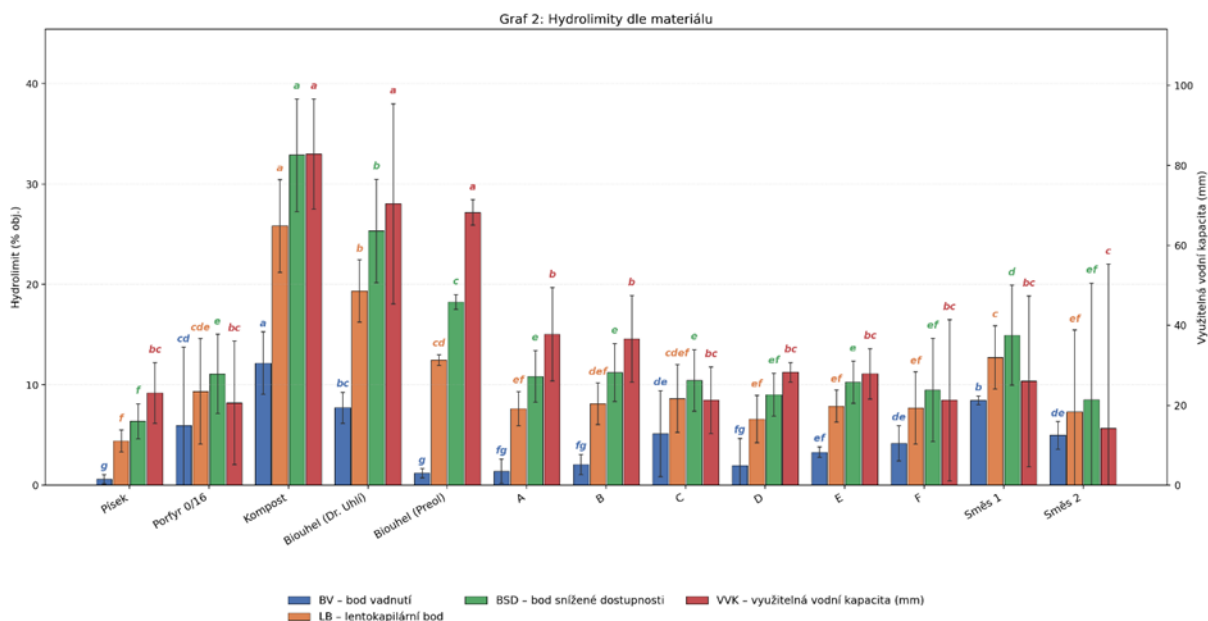
Kompost se chová podobně jako biouhel – vysoká PVK (69,5 %) i MKK (59 %), a dokonce nejvyšší RVK ze všech materiálů (53,6 %, skupina "a"), tedy nejlepší schopnost dlouhodobě zadržet vodu po odeznění gravitačního odtoku.

Směsi A–F (kombinace porfyru, kompostu, biouhlu a 30% složky vápenec/porfyr/čedič) tvoří poměrně homogenní skupinu s PVK 41–47 % a nejsou mezi sebou u PVK, GV ani MKK statisticky odlišitelné (všechny spadají do skupiny "c") – to znamená, že volba 30% složky (vápenec vs. porfyr vs. čedič) ani zdroj biouhlu (Dr. Uhlí vs. Preol) neovlivňuje zásadně celkovou vodní kapacitu směsi. Drobné rozdíly se objevují u RVK, kde varianty A a B (s Dr. Uhlí biouhlem) dosahují mírně vyšších hodnot (20 %) než varianty s Preol biouhlem (14,8–17,2 %), i když rozdíly nejsou vždy statisticky průkazné.

Směs 1 a Směs 2 vykazují výrazně nižší vodní kapacity než odpovídající novější varianty A a B – zejména Směs 2 má nejnižší PVK ze všech směsí (15,3 %, skupina "e", srovnatelná s čistým pískem).

Písek (kontrola) má očekávaně nízké vodní kapacity (PVK 30 %, MKK 15,8 %) srovnatelné se Směsí 1, ale zásadně nejvyšší objem gravitačních pórů (PG = 42,6 %, skupina "a") – tedy nejrychlejší a nejvydatnější odtok vody gravitací, což je typické pro jednodrný, dobře propustný materiál bez jemné frakce.

Přítomnost organické složky (biouhel, kompost) je hlavním faktorem zvyšujícím vodní kapacitu krycí vrstvy, zatímco typ minerální 30% složky (vápenec/porfyr/čedič) na celkovou vodní kapacitu prakticky nemá vliv – to je důležité zjištění pro budoucí volbu materiálu, protože umožňuje vybírat 30% složku podle jiných kritérií (cena, dostupnost, barva) bez kompromisu ve funkci zadržení vody.



Obr. 15: Tzv. „dolní“ hydrolimity jednotlivých materiálů – surovin a jejich směsí. Vysvětlivky jednotlivých variant jsou uvedeny v tabulce na začátku této podkapitoly. (BV – bod vadnutí; LB – lentokapilární bod; BSD – bod snížené dostupnosti; VVK – využitelná vodní kapacita).

Graf ukazuje tři hydrolimity (bod vadnutí BV, lentokapilární bod LB, bod snížené dostupnosti BSD) a využitelnou vodní kapacitu (VVK v mm) pro 13 testovaných materiálů. Pro funkci povrchu stromové mísy je klíčové, aby voda co nejrychleji otekla z půdního povrchu, a ne aby byla trvale vázána v horní vrstvě – proto zde nehledáme maximální hydrolimity, ale naopak co nejnižší hodnoty.

Písek má jednoznačně nejnižší hydrolimity ze všech materiálů (BV 0,6 %, LB 4,4 %, BSD 6,4 %, skupina "f"/"g") – voda v něm prakticky není vázána, prochází makropóry gravitačně téměř okamžitě. To potvrzuje jeho roli kontroly s maximální propustností, ale současně minimální schopností cokoliv zadržet u kořenů.

Porfyr 0/16 se chová obdobně, jen s mírně vyššími hodnotami (BV 5,9 %, BSD 11,1 %) – stále výrazně blíže písku než organickým materiálům.

Kompost a biouhel jsou opačným pólem: kompost dosahuje nejvyššího BSD (32,9 %, skupina "a") i LB (25,9 %), biouhel (Dr. Uhlí) je hned za ním (BSD 25,3 %). Tyto materiály vodu silně vážou a zpomalují její průsak – jako samostatná složka by byly pro povrch stromové mísy nevhodné, protože by bránily rychlé infiltraci; ve směsi ale plní žádoucí doplňkovou funkci (viz Graf 1).

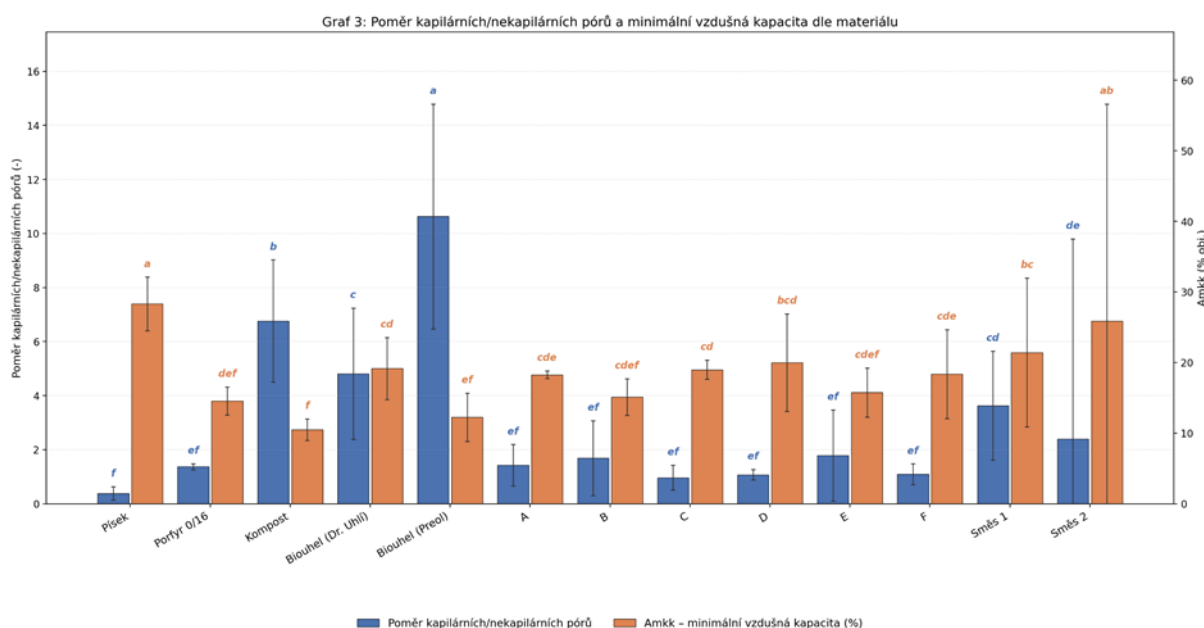
Směsi A–F se pohybují v nízkém, vzájemně málo odlišeném pásmu (BSD 9–11 %), bez jasného vlivu 30% složky (vápenec/porfyr/čedič) ani zdroje biouhlu – to je pozitivní zjištění, protože žádná z testovaných receptur výrazně nezhoršuje propustnost oproti ostatním.

Směs 1 vybočuje vyšším BSD (15 %) i BV (8,5 %) a ukazuje na potenciálně

horší propustnost této starší receptury oproti aktuálním variantám A–F.

VVK (mm) kopíruje stejný vzorec – nejvyšší u kompostu a biouhlu, u směsí A–F výrazně nižší a blízké písku, což odpovídá požadované rychlé propustnosti krycí vrstvy.

Shrnutí o půdních hydrolimitech: Ideální krycí vrstva stromové mísy potřebuje obojí zároveň – vysoký objem gravitačních pórů (PG) pro rychlý odtok vody ke kořenům a zároveň dostatečnou využitelnou vodní kapacitu (VVK) jako zásobu pro strom mezi srážkami. Čistý písek má nejlepší PG, ale nejnižší využitelnou zásobu vody. Kompost a biouhel jsou opačným extrémem – vysoká VVK, ale PG blízko nule, tedy riziko zamokření a špatné provzdušnění. Nejlépe oba požadavky spojují směsi A a B (vysoký PG i nadprůměrné VVK), zatímco C–F mají dobrý odtok, ale nižší zásobu vody. Kombinace minerální kostry s menším podílem organiky se tak jeví jako funkčně nejvyváženější řešení



Obr. 16: Vzdušné poměry a porozita jednotlivých materiálů – surovin a jejich směsí. Vysvětlivky jednotlivých variant jsou uvedeny v tabulce na začátku této podkapitoly.

Graf ukazuje poměr kapilárních/nekapilárních pórů a minimální vzdušnou kapacitu (Amkk). Pro povrch stromové mísy je žádoucí nižší poměr (více nekapilárních, tedy makropórů umožňujících rychlý odtok) a zároveň vysoké Amkk, tedy trvale zachovaný podíl vzduchem vyplněných pórů i po nasycení.

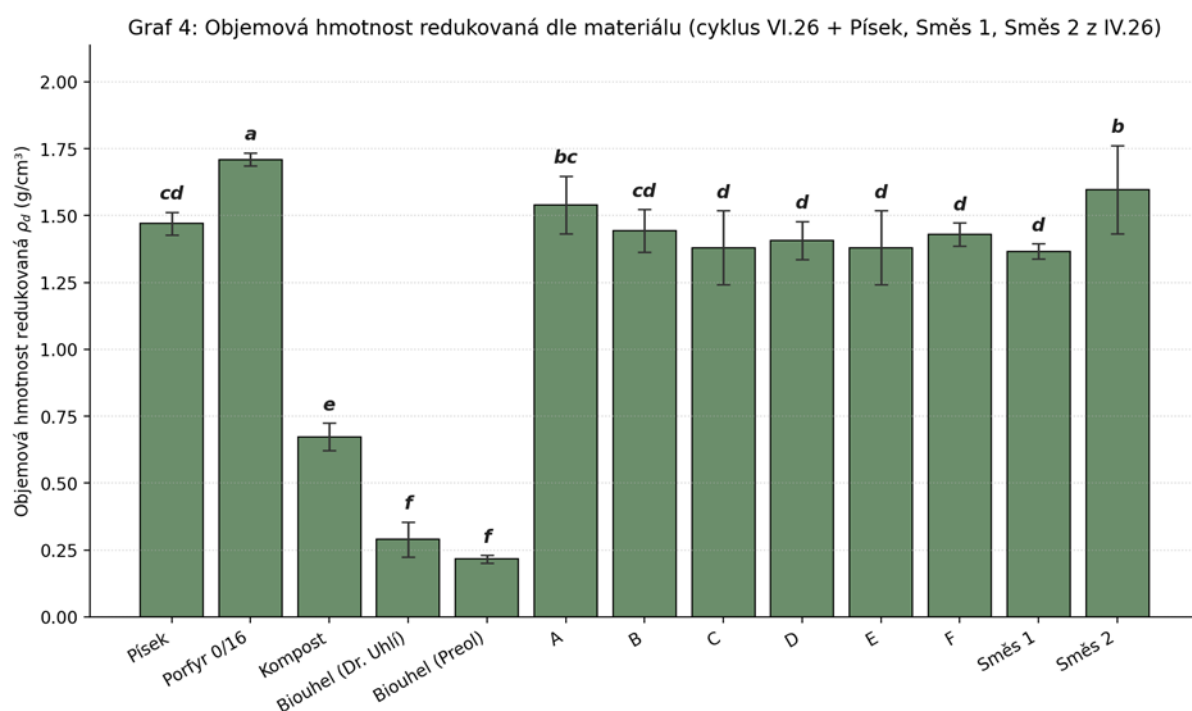
Písek má nejnižší poměr (0,38, skupina "f") i nejvyšší Amkk (28,3 %, skupina "a") – ideální kombinace z hlediska provzdušnění a odtoku, potvrzuje roli kontroly.

Kompost a oba biouhly mají naopak vysoký poměr (4,8–10,6) – převažují u nich

kapilární póry, které vodu drží, na úkor makropórů. Zvláště nápadný je Preol biouhel s nejvyšším poměrem ze všech materiálů (10,6, skupina "a"), tedy nejméně makroporézní strukturou, přestože má současně solidní Amkk (12,3 %).

Směsi A–F mají velmi příznivý, nízký poměr (1,0–1,8), srovnatelný s porfyrem, a zároveň relativně vysoké Amkk (15–20 %) – to potvrzuje, že přidání 30 % nekapi-lárního minerálního materiálu (vápenec/porfyr/čedič) k porfyrové kostře účinně kompenzuje kapilární charakter kompostu a biouhlu v receptuře.

Směs 1 a Směs 2 mají o něco vyšší poměr než A–F, ale nejvyšší Amkk ze všech směsí (21–26 %) – tedy dobré provzdušnění navzdory vyššímu podílu kapi-lárních pórů.



Obr. 17: Hodnoty objemové hmotnosti redukované jednotlivých materiálů – surovin a jejich směsí. Vysvětlivky jednotlivých variant jsou uvedeny v tabulce na začátku této podkapitoly.

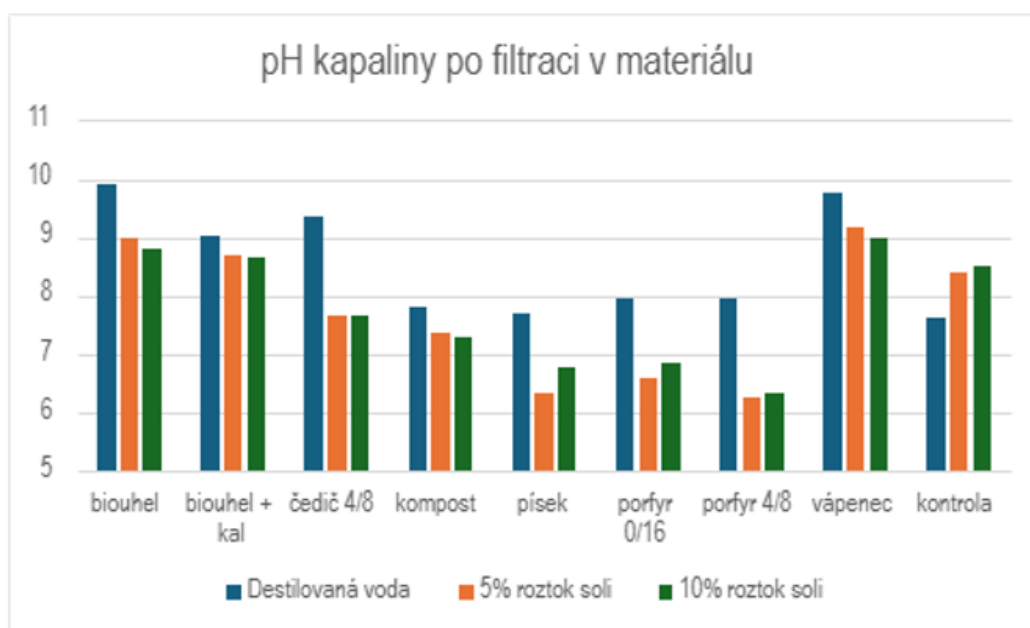
Objemová hmotnost redukovaná potvrzuje mechanickou funkci jednotlivých složek. Porfyr 0/16 má nejvyšší hodnotu (1,71 g/cm³) – tvoří nosnou kostru odolnou zhuštění. Biouhel (obě varianty, 0,22–0,29 g/cm³) je naopak extrémně lehký a sám o sobě by nezajistil únosnost povrchu. Směsi A–F i Směs 1/2 se pohybují v úzkém, vyváženém pásmu 1,4–1,6 g/cm³ – potvrzuje to, že minerální kostra v recepturách dostatečně kompenzuje nízkou hmotnost organických složek.

Čtyři uvedené grafické sety společně popisují kompromis mezi třemi funkcemi krycí vrstvy stromové mísy: propustností, vodní zásobou a mechanickou únosností. Samotné složky reprezentují krajní póly – písek a porfyr propouštějí vodu rychle, ale nic nezadrží a mají vysokou objemovou hmotnost; kompost a biouhel vodu drží,

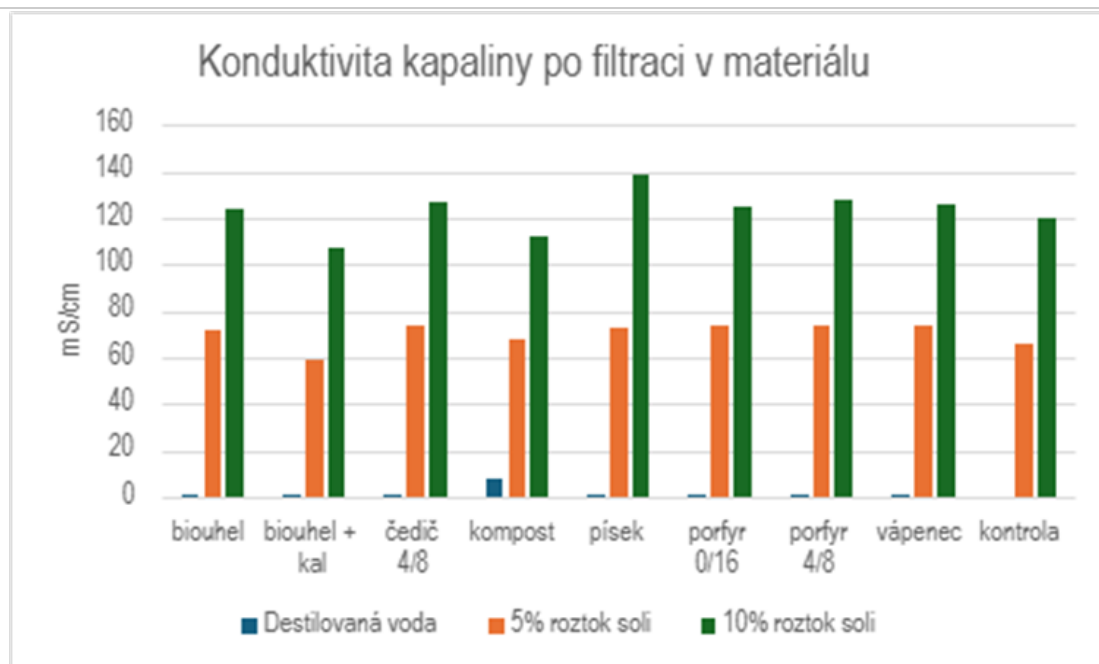
provzdušnění i propustnost ale zhoršují a mechanicky jsou nestabilní (nízká rd). Směsi A–F tento rozpor řeší: díky 50% podílu porfyru si zachovávají nízký poměr kapilárních/nekapilárních pórů, vysoké Amkk i vhodnou objemovou hmotnost (1,4–1,6 g/cm³), zatímco 20% podíl kompostu a biouhlu jim dodává potřebnou vodní zásobu (VVK). Typ 30% minerální složky (vápenec/porfyr/čedič) ani zdroj biouhlu (Dr. Uhlí/Preol) přitom nemá zásadní vliv na výsledné vlastnosti směsi – lze je tedy volit podle jiných kritérií (cena, barva, dostupnost). Směs 1 a 2 ze staršího cyklu vykazují mírně horší parametry než aktuální varianty A–F.

Výsledky filtračních testů

Filtrace jednotlivých komponent



Obr. 18: Vliv složení směsi na výsledné pH



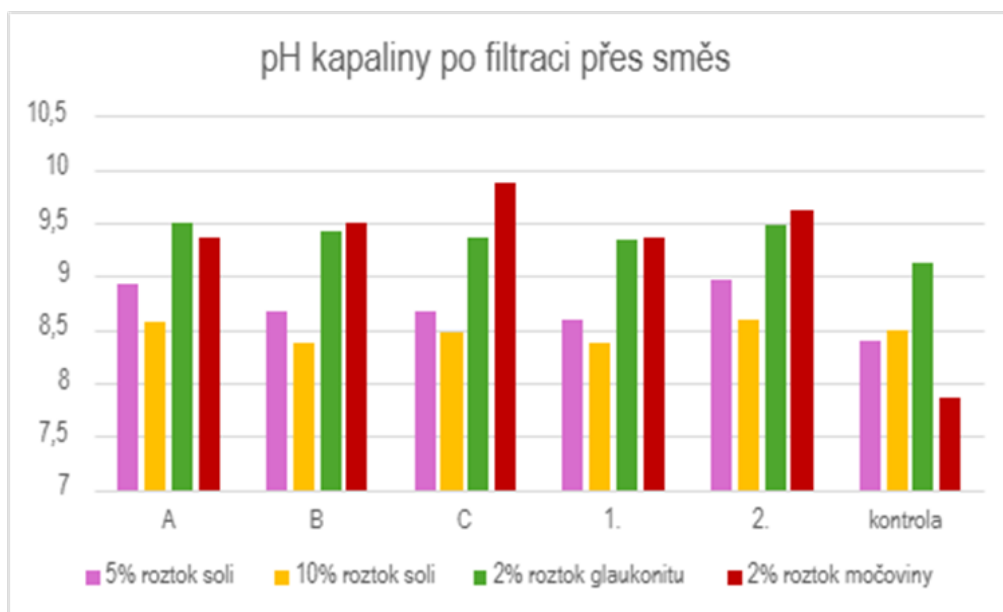
Obr. 19: Vliv složení směsi na vodivost

Biouhel a vápenec zvyšují pH filtrátu nejvýrazněji (téměř 10) – riziko alkalizace půdy pod krycí vrstvou. Porfyr a čedič drží pH nejbližší neutrálu, tedy chemicky nejstabilnější. Kontrola i písek mají pH mírně nad neutrálem. Zvyšující se salinita (5→10 %) pH téměř neovlivňuje, materiál tedy pufruje spíše vlastní alkalitou než reaguje na sůl.

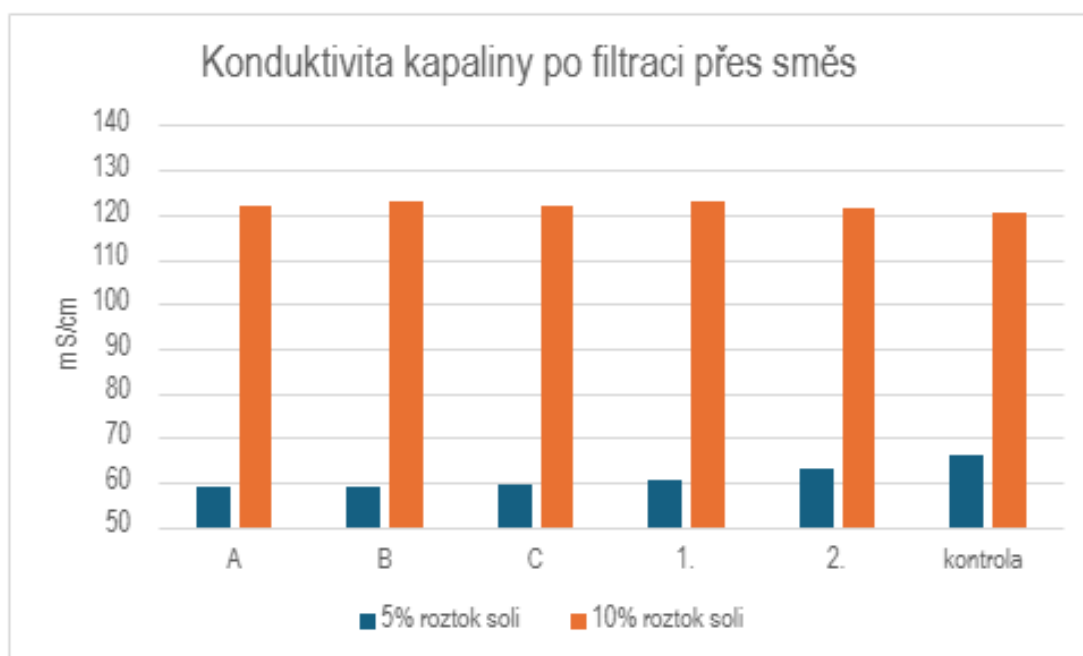
Konduktivita filtrátu roste s koncentrací roztoku soli u všech materiálů srovnatelně – žádný materiál sůl významně nezachytává ani neuvolňuje, prochází prakticky beze změny. Výjimkou je kompost, který u destilované vody vykazuje mírně zvýšenou konduktivitu vlastním vyluhováním živin/solí z organické hmoty. Filtrace tedy neovlivňuje salinitu, jen mechanické a chemické (pH) vlastnosti vody. Z hlediska kontrolní filtrace destilovanou vodou nejvíce chemismus roztoku ovlivňuje kompost – jasně vyčnívá nad ostatní materiály, kde je u destilované vody konduktivita prakticky nulová. Kompost tedy sám o sobě výrazně uvolňuje rozpustné látky (živiny, soli) do filtrátu i bez přítomnosti soli ve vstupním roztoku – čistá voda si z něj "vyluhuje" minerální zátěž. U roztoků soli je tento efekt kompostu překryt vysokou vstupní konduktivitou samotné soli, proto tam už není nijak nápadný.

Filtrace směsí povrchů

Všechny směsi (A, B, C, 1, 2) vykazují alkalické pH filtrátu (8,3–9,9), nejvíce u glaukonitu a močoviny – tedy směsi mají poměrně silnou pufrací kapacitu k neutralizaci kyslejších/dusíkatých vstupů. Kontrola má nejnižší pH napříč roztoky, zejména u močoviny (7,9). Rozdíly mezi A, B, C, 1, 2 jsou malé – typ 30% složky výsledné pH filtrátu výrazně neovlivňuje.



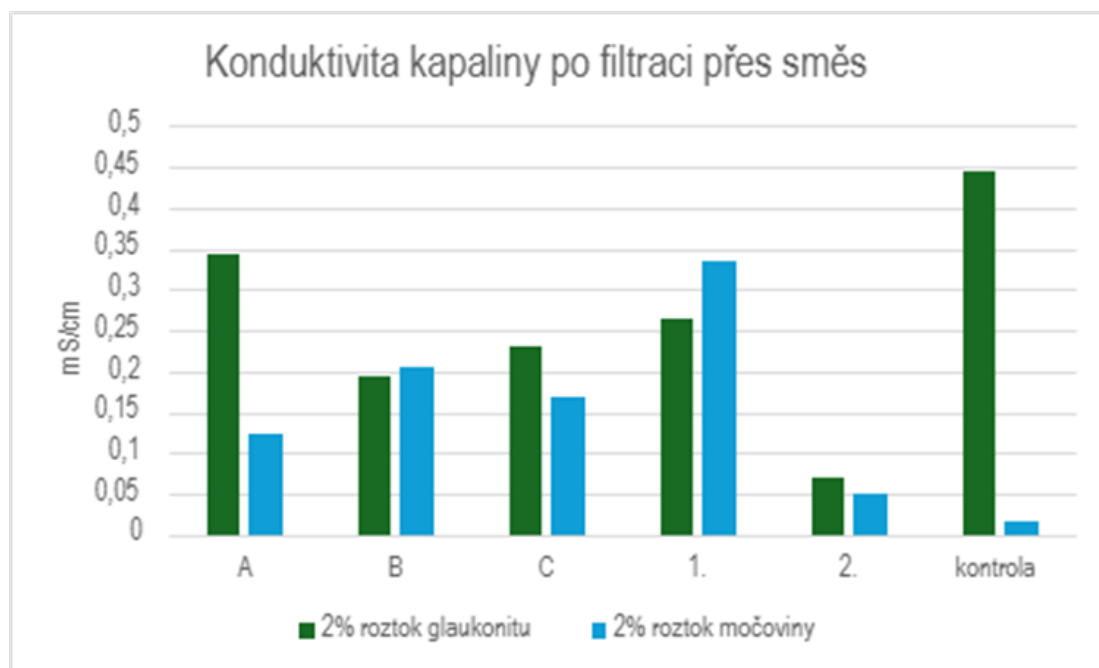
Obr. 20: Vliv složení povrchů na pH



Obr. 21: Vliv složení povrchů na konduktivitu (roztok soli)

Konduktivita filtrátu je napříč všemi směsmi (A, B, C, 1, 2) i kontrolou prakticky totožná – roste úměrně jen s koncentrací vstupního roztoku (5 vs. 10 %), materiál na ni nemá žádný vliv. Potvrzuje to dřívější zjištění: filtrace mění chemickou reakci (pH),

ale množství rozpuštěných solí prochází beze změny.



Obr. 22: Vliv složení povrchů na konduktivitu (glaukonit a močovina)

Konduktivita je zde o dva řády nižší než u NaCl (desetiny mS/cm), rozdíly mezi materiály proto vyniknou víc. Kontrola (písek) má u glaukonitu nejvyšší konduktivitu – propouští ho beze změny, nic nezachytává. Směs 2 vykazuje nejnižší hodnoty u obou roztoků, tedy nejlepší schopnost vázat/zachytit rozpuštěné látky z glaukonitu i močoviny.

Testované roztoky (5% a 10% NaCl, 2% glaukonitová suspenze, 2% roztok močoviny) prošly kolonou s pěti mm materiálu při době zdržení v řádu jednotek minut. Přesto se mezi materiály projevily zřetelné rozdíly v pH filtrátu. Vápenec a biouhel zvyšovaly pH nejvýrazněji (k hodnotám blízkým 9,5–10), zatímco porfyr a čedič zůstávaly blíže neutrálu. Tento efekt nelze vysvětlit klasickou rozpouštěcí rovnováhou objemového kameniva, protože ta by v tak krátkém čase nestihla proběhnout – reálným mechanismem je rychlá povrchová reakce jemných částic ulpělých na kamenivu z drcení a prosívání, jejichž disoluce (u karbonátu) probíhá prakticky okamžitě, zatímco u silikátů (porfyr, čedič) je o řády pomalejší. U směsí A, B, C, 1 a 2 byl efekt na pH patrný u všech testovaných roztoků, nejvýrazněji u glaukonitu a močoviny, přičemž mezi jednotlivými recepturami (volba 30% minerální složky) nebyly rozdíly velké. Zásadní zjištění přinesla kontrola (čistý křemitý písek): jako chemicky inertní materiál ukázala přibližně vstupní pH testovaných roztoků samotných, nikoli nulovou hodnotu. To umožnilo korigovat interpretaci – u NaCl roztoků (pH cca 8,4–8,5 samotného roztoku) i u glaukonitu (pH cca 9,1) jde o vlastnost vstupního roztoku, zatímco u směsí dochází k dalšímu navýšení pH nad tento základ vlivem reaktivních složek materiálu. Konduktivita filtrátu naopak mezi materiály nerozlišovala – rostla úměrně koncentraci vstupního roztoku soli nezávisle na materiálu, s jedinou výjimkou kompostu, který zvyšoval konduktivitu i destilované vody vlastním vyluhováním roz-

pustných látek. Filtrace tedy neovlivňuje množství rozpuštěných solí, ale výrazně ovlivňuje výslednou chemickou reakci (pH) filtrátu.

Pozorovaná alkalizace filtrátu při průchodu roztoku NaCl materiálem s výměnnou kapacitou (kompost, biouhel, ale i vápenec) má dobře popsáný mechanismus ze sodicity půd. Chlorid sodný sám o sobě je chemicky neutrální sůl silné kyseliny a silné zásady – jeho vodný roztok by měl mít pH blízké 7. Alkalizaci proto nezpůsobuje NaCl přímo, ale jeho interakce s výměnným sorpčním komplexem materiálu. Sodné ionty ve vysoké koncentraci (5–10% roztok) vytěsňují z výměnných míst (obecně jílové minerály, humusové látky, z nichž dílčí složky v nastavených filtračních kolonách působí diferencovaně dle konkrétního složení - zejména humusové látky a zcela minimálně jílové minerály) dvojmocné kationty Ca^{2+} a Mg^{2+} – tento krok je řízen hromadným působením (mass action), nikoli vazebnou afinitou, protože Na^+ má oproti $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ slabší vazbu, ale vysokou převahu v koncentraci. Vzniklá sodná forma komplexu je chemicky nestabilní a hydrolyzuje, čímž uvolňuje OH^- ionty do roztoku. Klíčovou roli zde hraje common ion effect: rozpustnost/disociace uhličitanu ($\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$) je za normálních okolností potlačena přítomností Ca^{2+} jako společného iontu, což omezuje pH karbonátem pufovaných systémů na cca 7,6–8,4. Jakmile se ale Ca^{2+} z roztoku odčerpá (vazbou jinam, vysrážením), potlačující efekt common ionu na karbonát se oslabí a uvolněný uhličitan se přednostně váže na přebytečný Na^+ – přičemž Na_2CO_3 je řádově rozpustnější a silněji hydrolyzující než CaCO_3 . Tím se vysvětluje, proč materiály s vysokou výměnnou kapacitou (kompost, biouhel) reagují na NaCl mnohem silněji než minerálně chudý porfyr/čedič s minimální výměnnou kapacitou, u kterých k tomuto řetězci reakcí prakticky nedochází.

Aplikační aspekt získaných poznatků:

Otázka, do jaké míry je mírné navýšení pH vlivem materiálu z hlediska stromu relevantní, nemá jednoduchou odpověď, protože strom v městském prostředí nehyne na jeden izolovaný faktor, ale na kumulaci více souběžně působících zátěží (*multiple stress impact*). Tento koncept dobře popisuje Manionův model "decline spiral" (1981), který rozlišuje predisponující faktory (dlouhodobé – omezený prokořenitelný prostor, zhutnění, chronicky nevhodné chemické prostředí), vyvolávající/akutní faktory (sucho, mráz, mechanické poškození, chemický šok ze zimní údržby) a přispívající/sekundární faktory (patogeny a škůdci, kteří využijí oslabeného jedince). Mírná alkalizace rhizosféry vlivem materiálu spadá spíše do první kategorie – sama o sobě strom neusmrtí, ale může dlouhodobě omezovat dostupnost živin (Fe, Mn, Zn, P), čímž snižuje fyziologickou rezervu vůči ostatním, akutnějším zátěžím. Zásadní je, že práh, za kterým se kumulace zátěží projeví jako nevratný pokles vitality, není u konkrétního stromu a v konkrétní vývojové fázi (věku) předem znám – závisí na druhu, kondici, mikroklimatu stanoviště a je z principu nelineární. Strom může vypadat vitálně dlouhou dobu a poté relativně rychle selhat. Z toho plyne principiálně opatrný (precautionary) přístup k návrhu receptury: i když je příspěvek jednotlivého

snadno odstranitelného faktoru (např. volba minerální složky na základě jejího chemismu) v absolutním vyjádření malý a nemusí se v terénu dát od jiných vlivů (např. atmosférického spadu vápenatého prachu) spolehlivě oddělit, jeho eliminace je racionální krok, protože nikdy nelze dopředu vědět, zda právě on je tím článkem řetězu, který by za jinak nepříznivých podmínek rozhodl o překročení kritického prahu.

Volba 30% minerální složky v recepturách A–F není jen otázkou estetiky a dostupnosti, ale má i odlišný nutriční a rizikový profil. Vápenec (CaCO_3) je karbonát s rychlou disociační kinetikou – v kombinaci se zimní solí (NaCl) se aktivně zapojuje do popsaneho mechanismu common ion effect a kationtové výměny, čímž vytváří latentní riziko silnější a rychlejší alkalizace právě v období zimní údržby. Porfyr, jako felsická hornina bohatá na draselné živce (ortoklas), má naopak zvětrávací kinetiku o řády pomalejší – uvolňování K^+ je pozvolné a dlouhodobé, přičemž v reálné rhizosféře (na rozdíl od laboratorního testu s čistou vodou) je toto uvolňování pravděpodobně urychlováno organickými kyselinami z kořenových exsudátů a mikrobiální/mykorhizní aktivitou. Draslík je přitom fyziologicky strategická živina – podílí se na osmotické regulaci, řízení průduchů, a tedy na odolnosti vůči suchu, i na mrazuvzdornosti a obecné stresové toleranci, tedy cílí přímo na typické městské stresory. Čedič zaujímá mezipolohu: jako bazická/mafická hornina zvětrává rychleji než porfyr (rychlejší uvolnění Ca , Mg i K), nabízí tak širší spektrum živin, ale za cenu rychlejšího uvolňování bazických kationtů, což se svým charakterem částečně přibližuje (v mírnější míře) riziku popsaneému u vápence. Nahrazení vápence porfyrem (varianty B, E) se tak jeví jako obzvlášť vhodná volba – nejen proto, že eliminuje riziko akutní alkalizace, ale i proto, že aktivně přispívá k výživě dusíkatými stresory oslabeného stromu draslíkem, zatímco čedič (varianty C, F) představuje kompromisní alternativu s vyváženějším, ale méně jednoznačně příznivým profilem.

Související výsledky projektu:

Navazující užitný vzor PUV 2026-43888 představuje kompletní recepturu včetně akumulací vrstvy.

Užitný vzor definuje krycí vrstvu stromové mísy s explicitním požadavkem, že materiál "by neměl obsahovat vápenaté resp. karbonátové složky ani rozpustné soli" – náš experimentální program tento požadavek přímo potvrzuje a vysvětluje jeho mechanismus: ukázali jsme, že karbonát (vápenec) v kombinaci se zimní solí (NaCl) aktivuje kationtovou výměnu a common ion effect, který vede k silnější a rychlejší alkalizaci filtrátu než u minerálně chudých hornin. Naše data tak dodávají kvantitativní a mechanistické zdůvodnění požadavku, který je v užitném vzoru zatím formulován jen jako obecná podmínka.

Oficiální receptura krycí vrstvy uvedená v užitném vzoru (50 % porfyr 0/16, 30 % porfyr 4/8, 10 % kompost, 10 % biouhel netříděný) odpovídá naší testované **variantě B** – tedy verzi s porfyrem jako 30% složkou a biouhlem Dr. Uhlí. Naše měření

tak zpětně potvrzují, že již zvolená a patentovaná receptura patří k chemicky nejstabilnějším a fyziologicky nejpříznivějším variantám (nízké pH, nízký poměr kapilárních/nekapilárních pórů, dobré Amkk) ze všech testovaných kombinací.

Dva parametry lze porovnat i kvantitativně. Cílová makropórovitost/poměr nekapilárních:kapilárních pórů "cca 2:1" odpovídá v naší terminologii nízkému poměru kapilárních/nekapilárních pórů – naměřená hodnota u varianty B (cca 1,7) se tomuto cíli blíží, i když ne zcela přesně. Cílová objemová hmotnost redukovaná krycí vrstvy ($1,55\text{--}1,75\text{ g/cm}^3$) je oproti tomu mírně vyšší než naměřená hodnota u varianty B (cca $1,44\text{ g/cm}^3$), což může být dáno mineralogickým složením, přesností dodržení směsných poměrů apod. Nelze však předpokládat narušení funkčnosti povrchu vlivem tohoto rozdílu.

Odchytky od plánu:

Od předpokládaného přenosu zatížení s využitím tlakové fólie Prescile bylo po konzultaci limitů této technologie měření tlaku s výrobcem upuštěno, oproti původním předpokladům byla nebyla tato cenově příznivá technologie vyhodnocena jako dostatečně funkční a průkazná. Alternativní měření přenosu tlaku s využitím sestavy tenzometrických snímačů se nachází mimo finanční rámec rozpočtu tohoto projektu a po skončení projektu budou hledány zdroje pro jeho realizaci. Vlastní měření přenosu tlaku přes navrhovaný povrch stromových mís byl doprovodným údajem a nemá vliv na uplatnitelnost inovace specifikované v užitém vzoru.

Lokality instalace:

V rámci terénních zkoušek byly ve spolupráci s TSK Praha, Magistrátem hl. m. Praha a městem Louny navrhované povrchy odzkoušeny na následujících lokalitách:

ul. Dukelských hrdinů, Praha

ul. Perneroва, Praha

ul. Vítkova, Praha

Maltézské náměstí, Praha

ul. Baranova, Praha

ul. Anny Letenské, Praha

Letenské sady, Praha

Mírové náměstí, Louny

4.2 WP2: TECHNOLOGIE ZLEPŠOVÁNÍ STANOVIŠTNÍCH PODMÍNEK U STÁVAJÍCÍCH STROMŮ A NOVÝCH VÝSADEB

Odborný garant: David Hora

Cíl: Navrhnout standardizované technologické postupy zlepšení stanovištních podmínek stromů v prostoru městských ulic – jak pro stávající stromy (přístupnost vo-

dy; kořenové cesty, plošná výměna zeminy, provzdušňovací rýhy, hloubková injektáž atd.), tak pro přípravu stanoviště nové výsadby (hloubkové nakypření a homogenizace prokořenitelného prostoru v podmíněně vhodných podmínkách; a využití strukturálního substrátu v nevhodných podmínkách). Vývoj a ověření receptury strukturálního substrátu pro pěstování stromů v prostoru městské ulice (funkční vzorek) a vytvoření veřejně přístupné databáze Root Space GIS (publikované na www.cmzi.cz), obsahující detailní parametry (skladba substrátu, objem, povodí) u více než 50 referenčních ploch v ČR. Experiment se zálivkou v PN Brno potvrdil, že cílená dotace vody signifikantně snižuje MDS, čímž předchází nelineárnímu propadu vitality v rámci Manionova modelu stresové spirály (*multiple stress impact*).

Průběh řešení (2024–2026)

V roce 2024 byl založen experiment na prokázání pozitivního vlivu zálivky vzrostlých stromů (jasan ztepilý, *Fraxinus excelsior*) v areálu Psychiatrické nemocnice v Brně – 15 jedinců rozdělených do 3 skupin (kontrola, závlaha volným vylitím, závlaha pomocí vaků), osazených bodovými dendrometry TOMST a doplněných profilovými půdními vlhkostními sondami. Dále byl proveden výběr 17 lokalit v Praze pro monitoring realizovaných opatření (kořenové cesty, podzemní rýhy, kypření a homogenizace, revitalizace stromové mísy), tyto lokality daly základ databáze Root Space GIS. Dále byl proveden a laboratorně vyhodnocen odběr půdních vzorků pro stanovení obecných charakteristik stanoviště vegetačních pásů z 11 lokalit (ul. Benešovská, Evropská, Jateční, Jugoslávských partyzánů, Koleční, Patočkova, Pod kašany, Rohanské nábřeží, Rožmberská, U Uranie, Varšavská).

V roce 2025 byla na základě rešerší a výsledků z roku 2024 zpracována metodika a následně v prostředí Esri vytvořena veřejně dostupná databáze výsadeb se zlepšením stanovištních podmínek Root Space GIS (ve spolupráci s V. Másílkem a I. Kunštárem; sběr referenčních podkladů z celé ČR ve spolupráci s K. Šimkovou), dostupná na www.cmzi.cz, v databázi je nyní uveřejněno 50 referenčních ploch z Prahy ale i dalších měst (Jihlava, Rokycany, Kralupy nad Vltavou, Liberec, Litomyšl a další). Dle prvotních zjištění při prezentaci na workshopu Root Space při konferenci Modrozelená 2026 je databáze odbornou veřejností přijímána velmi pozitivně. Ve spolupráci s firmami Arboristika Svárovský, s.r.o. a Garpen, s.r.o. byly v 11 pražských ulicích a v Jihlavě (výsadba z r. 2020) provedeny průzkumy prokořenění metodou AirSpade, které spolu s laboratorními rozbory umožnily zpracovat katalogové listy a metodiku použití technologií zlepšení stanovištních podmínek. Tyto podklady se podařilo promítnout do aktualizace normy ČSN 83 9061 Ochrana stromů a vegetačních ploch a do Městských standardů stromořadí verze 2.0 (využívaných v Praze, Brně a Mostu)– výsledky WP2 tak byly velmi rychle přeneseny do praxe. Pro terénní analýzy byl pořízen mini infiltrometr.

Na výzkumné ploše v Tismicích (dodavatel Plantastyl, s.r.o.) byl založen pokus s kořenovými cestami porovnávající vliv čtyř typů růstového média (drcené kamenivo s biouhlem a kompostem; štěrk s vyšším podílem kompostu a biouhlu; čistý štěrk; na-

kypřená ornice) na rychlost rozvoje kořenů lípy srdčité, v šesti opakováních. Po roce od založení bylo provedeno předběžné vyhodnocení růstu kořenů v jednotlivých cestách nedestruktivní technologií supersonického rýče. Pro jasnou interpretaci výsledků pokusu je nutné realizovat opakované vyhodnocení po 3 letech od založení pokusu, monitoring bude pokračovat. Souběžně byla instalací lyzimetrů a fyziologickými měřeními (vodní potenciál, fotosyntéza, průduchová vodivost, spektrální reflektance) vyhodnocena účinnost pěti variant povrchové směsi stromové mísy a dvou typů strukturálních růstových médií (na bázi čistírenských kalů – SSGM; kompostu s biocharem – CBGM) v různých objemových podílech. Média na bázi čistírenských kalů a biocharu vykazovala výrazně vyšší retenční kapacitu než kontrolní půda; chemická analýza lyzimetrických vod ukázala jako ekologicky nejstabilnější variantu s recyklovaným betonem a směsí kompostu s biocharem (CBGM15-RC), zatímco varianta s vyšším podílem kalové směsi (SSGM15) vykazovala kyselější, více mineralizovaný výluh s rizikem eutrofizace.

U experimentu se zálivkou v Psychiatrické nemocnici Brno byly zpracovány podrobné pedologické popisy 5 sondovaných lokalit a sledována objemová půdní vlhkost v profilu (srpen 2024 – březen 2025); vrchních cca 30 cm profilu obecně vyhovuje kritériím pro vegetační vrstvy městských půd, hlubší vrstvy jsou fyzikálně limitující (nízká provzdušněnost, riziko přemokření). Vyhodnocení radiálního přírůstu (dendrometry) a maximálního denního smrštění kmene (MDS) u 15 jedinců jasanu ukázalo, že vzhledem k nadprůměrným srážkám v první polovině vegetační sezóny 2024 nebyl mezi variantami zálivky prokázán statisticky významný rozdíl v celkovém přírůstu, ačkoliv zálivka snižovala hodnoty MDS (indikátor vodního stresu) zejména v období vrcholícího stresu na přelomu srpna a září. Experiment dále pokračuje a jednoznačnější závěr lze očekávat v sušším roce.

V roce 2026 byl v rámci naplňování databáze Root Space GIS provedena dokumentace opatření realizovaných přímo v uličních stromořadích ve spolupráci s TSK Praha; ve spolupráci s Magistrátem hl. m. Prahy byl zaveden monitoring 6 ks výsadeb ve třech situacích zlepšení stanovištních podmínek na Letenské pláni - instalace dendrometrů a systému čidel (dodavatel Environmental Measuring Systems s.r.o.).

Standardizované technologické postupy zlepšení stanovištních podmínek

Standardizované technologické postupy zlepšení stanovištních podmínek stromů, primárně v prostoru městských ulic byly vytvořeny v rámci technologických listů které byly integrovány do obecně používaných oborových dokumentů, jež je přístupnější pro projektanty, správce zeleně a realizátory. Jmenovitě se jedná o dokumenty:

1. Aktualizace normy **ČSN 83 9061** Ochrana stromů a vegetačních ploch vydané v květnu 2026
2. **Městských standardů stromořadí 2.0**, které jsou již přijaty nebo připraveny k

implementaci ve městech **Praha, Brno a Most – aktualizace 2025**

Strukturální substrát pro pěstování stromů v prostoru městské ulice (funkční vzorek)

Funkční vzorek představuje strukturální substrát určený k úpravě prokořitelného prostoru stromů rostoucích v půdních podmínkách nevhodných pro výsadbu stromů, primárně ve zpevněných plochách městských ulic, náměstí a parkovišť. Strukturální substrát tvoří prokořitelný prostor nacházející se ve spodní části výsadbové jámy stromu a pod okolními konstrukcemi zpevněných ploch. Substrát řeší současně dva vzájemně protichůdné požadavky: (1) mechanickou únosnost dostatečnou pro instalaci zpevněných povrchů komunikací nad prokořitelným prostorem a (2) zachování vhodných edafických podmínek (živiny, voda, vzduch) pro dlouhodobý rozvoj kořenového systému stromu pod krytem zpevněného povrchu.

Podstatou řešení je dvousložková směs tvořená (a) drceným kamenivem jednodruhové frakce, které vytváří mechanicky stabilní, bodově se dotýkající skelet nesoucí zatížení, a (b) růstovým médiem vyplňujícím mezerový prostor mezi zrny kameniva, které zajišťuje živinovou a vodní funkci substrátu. Drcené kamenivo je tvořeno amfibolitem frakce 32/64 mm, tedy místně dostupnou, chemicky neutrální horninou bez alkalizujícího účinku. Podíl kameniva ve směsi činí 85 % obj.

Růstové médium tvoří zbývajících 15 % obj. substrátu a je složeno z kompostu a biouhlu v objemovém poměru 1 : 1. Kompost zajišťuje dostupnost živin (N, P, K, Ca, Mg) a podporu mikrobiální aktivity, biouhel naopak přispívá vysokou sorpční kapacitou pro vodu i živiny, dlouhodobou strukturní stabilitou a pomalým uvolňováním minerálních látek. Kombinace obou složek v poměru 1 : 1 byla zvolena záměrně jako kompromis mezi retenční funkcí (kterou lépe plní biouhel) a nutriční funkcí a podporou mikrobiální aktivity (kterou lépe plní kompost), při zachování dostatečné makropórovitosti pro odvod přebytečné vody a výměnu plynů v kořenové zóně.

Volba 15% podílu růstového média (namísto vyššího, např. 30% podílu) vychází z klíčového zjištění, že vyšší podíl organické složky sice zvyšuje vodní kapacitu substrátu, ale současně snižuje jeho makropórovitost a provzdušněnost v důsledku zhutnění jemných organických částic mezi zrny kameniva. V ověřovacím pokusu vedl 15% podíl růstového média k prokazatelně výraznějšímu nárůstu obvodu kmene testovaných stromů oproti kontrolní variantě (původní zemina – šedozem modální dle TKSP Němeček 2011). Ukazuje se tedy, že dostatečné provzdušnění kořenové zóny je pro vitalitu a růst stromu přinejmenším stejně důležité jako maximalizace zadržené vody.



Obr. 23: Vývoj kořenů ve strukturálním substrátu

Díky jednoduché receptuře založené na dvou dobře specifikovatelných komponentech růstového média a nosného kameniva vytváří funkční princip (organo-minerální růstové médium v mezerovém prostoru minerální kostry) s možností využití běžně dostupných, recyklovaných surovin (kompost, biouhel).

Novost a hospodářsky významná vlastnost funkčního vzorku spočívá v ověřeném a kvantifikovaném poměru komponent (kompost : biouhel 1 : 1; růstové médium : kamenivo 15 : 85), který byl v rámci projektu experimentálně porovnán s alternativními recepturami (vyšší podíl organiky, varianta růstových médií na bázi kalů stabilizovaných kompostovacím procesem) a vyhodnocen jako výhodnější kompromis mezi mechanickou únosností, vodní kapacitou, provzdušněností a reálně naměřeným efektem na růst stromu v terénních podmínkách.

Míchání substrátu probíhá obvykle smísením jemné složky růstového média s nosným kamenivem jež je dostatečně vlhké tak, aby na něm jemné komponenty ulpěli a vytvořili homogenní nerozpadající se směs. Celková spotřeba vody na 1 m³ míchaného substrátu se pohybuje mezi 20-30 l vody v závislosti na vlhkosti vstupních surovin. Směs musí být instalována vlhká. Při oschnutí nebo delším převozu musí být opět navlhčena a přemíchána.



Obr. 24: Homogenně namíchaná směs strukturálního substrátu vyžaduje dostatečné namočení nosného kameniva.

TECHNICKÝ/KONSTRUKČNÍ POPIS

Materiálové složení a základní parametry

Strukturální substrát je tvořen dvěma základními složkami v poměru 85 : 15 obj.:

- **Minerální kostra (85 % obj.)** – drcený amfibolit, frakce 32/63 mm, tedy hrubé drcené kamenivo (HDK) s bodovým vzájemným dotykem zrn, které po zhutnění vytváří makropórézní, staticky nosnou konstrukci schopnou přenášet zatížení bez ztráty pórového prostoru pro kořeny.
- **Růstové médium (15 % obj.)** – směs kompostu a biouhlu v poměru 1 : 1 obj., vyplňující mezerový prostor mezi zrny kameniva.

Zrnitostní rozdíl mezi hrubým kamenivem (32/63 mm) a jemnozrnným růstovým médiem zajišťuje, že load-bearing funkci přebírá výhradně minerální kostra (zrno na zrnu), zatímco růstové médium zůstává v mezerách bez účasti na přenosu zatížení – to je konstrukční princip, který substrátu umožňuje zachovat vysokou pórovitost i po zhutnění na požadovanou únosnost.

Cílové fyzikální parametry strukturálního substrátu

- objemová vlhkost při plné saturaci (Θ_S) cca 40 % obj.
- maximální kapilární kapacita (Θ_{MCC}) cca 18 % obj.
- retenční vodní kapacita (Θ_{RWC}) cca 15 % obj.
- bod vadnutí (Θ_{PWP}) cca 7 % obj.
- využitelná vodní kapacita (AWC) cca 55 mm na 0,6 m mocnosti profilu

- poměr nekapilárních : kapilárních pórů (PNC : PC) cca 2,4 : 1 – tedy substrát je záměrně navržen s převahou makropórů nad kapilárními, což upřednostňuje provzdušnění a rychlou drenáž před maximální retencí (v souladu s odůvodněním volby 15% podílu růstového média popsáním v bodě 3).
- cílová únosnost po zhutnění: $Ev2 \geq 45 \text{ MN/m}^2$ (ověřeno lehkým deflektometrem).

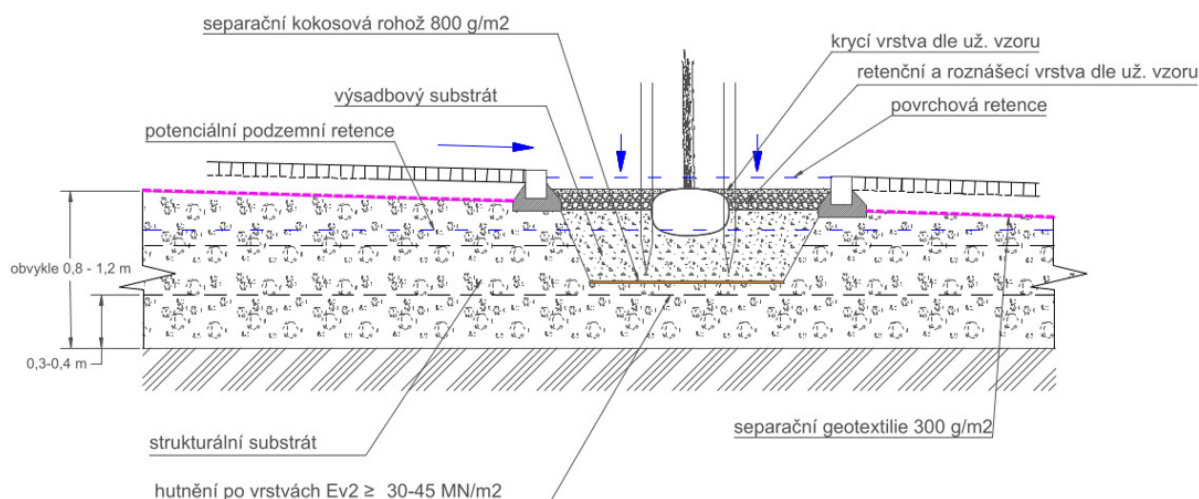
Technologický postup instalace

Substrát se aplikuje do prostoru podzemní rýhy připraveného prokořitelného prostoru, v mocnosti odpovídající požadované fyziologické hloubce (řádově mezi 0,8 – 1,2 m hloubky, v objemu požadované přípravy prokořitelného prostoru (výpočet je možné realizovat s nástrojem Root Space 1.0).

Podzemní rýha připravovaného prokořitelného se vyplňuje homogenně promíchaným strukturálním substrátem s definovanou vlhkostí po vrstvách o mocnosti cca 30 cm. Každá vrstva se průběžně hutní vibrační deskou (orientačně 100 kg, 20 Hz). Svrchní vrstva navazující na konstrukční plán komunikace musí být hutněna až do dosažení cílové požadované únosnosti $Ev2 \geq 30 - 45 \text{ MN/m}^2$ (v závislosti na typu budovaného povrchu). Kvalita zhutnění se ověřuje lehkým deflektometrem.

Vlastní výsadba stromu v prostoru vymezeným obvykle stromovou mísou probíhá do výsadbového substrátu. Jemnozrný výsadbový substrát je od vlastního strukturálního substrátu oddělen separační vrstvou omezující sufozi jemných částic. Separační vrstva nesmí omezovat vlastní prokoření (obvykle je využita mezivrstva štěrku 4/8 mm nebo kokosové rouno 800 g/m²). Na stromovou mísu lze ukončit konstrukční skladbou povrchu stromové mísy se specifickou krycí vrstvou dle užitého vzoru č. 39376.

U existujícího stromu lze strukturální substrát pro zvětšení prokořitelného prostoru využít vybudováním tzv. kořenových cest. Stávající zemina ve vybraných částech kořenové zóny odstraňuje nedestruktivní výkopovou metodou supersonického rýče (syn. Air Spade) tak, aby nedošlo k mechanickému poškození kořenů. Při vyloučení přítomnosti kořenů lze zeminu odstranit strojně. Takto vybudované kořenové cesty se vyplňují strukturálním substrátem s požadovaným hutněním. V místě kontaktu se stávajícími kořeny je pro jejich ochranu použit jemný výsadbový substrát ve vrstvě min 100 mm okolo kořenů.



Obr. 25: Obvyklý princip použití strukturálního substrátu v ulici.



Obr. 26: Průběžné hutnění strukturálního substrátu ukládaného do rýhy.

DOKLAD O TESTOVÁNÍ / OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ

Hydrofyzikální vlastnosti

Hydrofyzikální vlastnosti byly ověřeny jak pro samotné složky růstového média, tak pro finální strukturální substrát s amfibolitovým kamenivem (fr. 32/63), tedy přímo pro recepturu odpovídající funkčnímu vzorku.

Samotné růstové médium (kompost, biouhel, jejich směs 1:1):

- Plná vodní kapacita (Θ_S): kompost ~58 % obj., biouhel ~83 % obj., směs kompost+biouhel ~67 % obj.
- Maximální kapilární kapacita (Θ_{MCC}): kompost ~49 %, biouhel ~71 %, směs

~51 %

- Retenční vodní kapacita (Θ_{RWC}): kompost ~40 %, biouhel ~60 %, směs ~44 %
- Bod vadnutí (Θ_{PWP}): u všech tří velmi nízký (2–5 % obj.), tedy naprostá většina zadržené vody zůstává rostlině dostupná
- Využitelná vodní kapacita (AWC, 0,6 m profilu): kompost ~205 mm, biouhel ~345 mm, směs ~240 mm; plná vodní kapacita (FWC): směs ~675 l/m³

Veličina	Hodnota
Měrná hmotnost (ρ_s)	1,44 g/cm ³
Obsah sušiny (S)	88,81 %
Objemová hmotnost (ρ_w)	0,73 g/cm ³
Objemová hmotnost redukováná (ρ_d)	0,29 g/cm ³
Pórovitost (P)	80,08 %
Provzdušněnost (A)	35,97 %
Minimální vzdušná kapacita (AMKK)	16,43 %
Relativní kapilární vlhkost (R_v)	69,44 %
Nasycenost pórů (RNP)	55,08 %
Bod vadnutí (BV)	17,26 %
Lentokapilární bod (LB)	28,71 %
Bod snížené dostupnosti (BSD)	34,60 %
Využitelná vodní kapacita (VVK)	69,53 mm

Tabulka 3: Přehled hydrofyzikálních vlastností růstového média

Finální strukturální substrát (15 % růstové médium + 85 % amfibolit 32/64):

- Θ_S ~40 % obj., Θ_{MCC} ~18 % obj., Θ_{RWC} ~15 % obj., Θ_{PWP} ~7 % obj.
- AWC (0,6 m) ~55 mm, FWC ~400 l/m³
- Pórovitost: nekapilární póry (PNC) ~20,5 % obj., semikapilární póry (PSC) ~6,5 % obj., minimální vzdušná kapacita (AMCC) ~22,5 % obj.
- Poměr nekapilárních : kapilárních pórů výrazně vyšší než u srovnávané varianty s 30 % podílem růstového média, což potvrzuje zachování dostatečné provzdušněnosti při zvolené 15% koncentraci

Terénní ověření (18měsíční sledování, dendrometrie) potvrdilo, že tato varianta (15 % kompost+biouhel, amfibolit) vedla k výraznému nárůstu obvodu kmene testovaných stromů, výrazně převyšujícímu kontrolu (nedotčená půda), a to i přes

nižší absolutní vodní kapacitu oproti variantě s 30% podílem růstového média.

Rizikové látky

V rámci vývoje receptury byla provedena analýza obsahu rizikových prvků (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V, Zn) a dalších sledovaných látek (PAU, PCB, AOX, C10–C40) u širšího souboru testovaných organických vstupních surovin zvažovaných pro growing médium (mj. kompostovatelné materiály typu listí, jehličí, kůry, rašeliny a jejich směsí). Naměřené hodnoty rizikových prvků se u naprosté většiny testovaných materiálů pohybovaly pod nejvyšším přípustným množstvím dle Vyhlášky č. 153/2016 Sb. Jedinou výjimkou byl materiál typu BRKO (biologicky rozložitelný komunální odpad), který byl při srovnávacích testech rovněž analyzován, a u kterého byly zjištěny zvýšené hodnoty (zejména Cd) a který byl na základě tohoto zjištění z finální receptury vyloučen. Materiály odpovídající charakterem kompostu použitému ve finální receptuře limity bez výhrad splňovaly.

As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
5,12	0,13	0,33	<2,50	15	9,72	0,07–0,09	4,97	<2,50	120

Tabulka 4: Obsah rizikových prvků v růstovém médiu, mg/kg sušiny.

Toxicita

Toxicita byla ověřena biologickými testy klíčivosti a růstu na dvou indikátorových druzích – salátu setém (*Lactuca sativa*) a hořčici bílé (test inhibice hypokotylu). V sérii tří na sobě navazujících pokusů byly porovnávány jednotlivé organické suroviny a jejich směsi z hlediska počtu vzešlých rostlin, jejich vitality a míry inhibice/stimulace růstu hypokotylu oproti kontrole.

Výsledky ukázaly, že naprostá většina testovaných materiálů (včetně kompostu a materiálů jemu blízkých – rašelina, jehličí, listí) nevykazovala toxické účinky bránící klíčení a růstu; u některých byla dokonce zaznamenána stimulace růstu oproti kontrole. Výrazně nejhorších výsledků ve všech opakováních dosahoval materiál BRKO – biologicky rozložitelný komunální odpad testovaný jako alternativní treatment vůči cílovému růstovému médiu (nejnižší počet vzešlých rostlin, nejvýraznější inhibice hypokotylu, v jednom z opakování nulové vzejití) – to potvrzuje závěr z bodu 5.2 a odůvodňuje jeho vyloučení z finální receptury. Kompost použitý ve finální receptuře (1:1 s biouhlem) patří mezi materiály, u kterých nebyla toxicita prokázána a jsou bez omezení využitelné pro přípravu růstového média.

Ředění	Hypokotyl (mm)	Inhibice (%)
1:2	9,01	5,4
1:4	8,73	8,3

1:8	9,41	1,2
1:16	8,70	8,6

Tabulka 5: Test inhibice hypokotylu hořčice bílé při různém ředění roztoků (kontrola = 9,52 mm).

Živinové poměry

U testovaných organických surovin byl analyzován obsah základních makroživin (Ca, Mg, K, P, N) i celkový obsah organického uhlíku, spalitelných látek a sušiny. Materiály typu kompost dosahovaly vyváženého poměru živin s dostatečným obsahem draslíku a fosforu i přiměřenou hodnotou pH (blízkou neutrálu až mírně kyselou), na rozdíl od kalových premixů, u kterých bylo naopak nutné hodnotit i obsah amoniakálního a dusičnanového dusíku ve vztahu k limitům pro kompostování.

Doplňkově byl u vybraných premixů proveden i rozbor biomasy listů salátu vypěstovaného na těchto substrátech (obsah N, P, K, Ca, Mg, S, chloridů) – tato analýza potvrdila, že substráty na bázi organických materiálů (bez kalu) poskytují rostlinám vyváženou výživu bez příznaků nadměrné akumulace solí či živinové nerovnováhy.

Biouhel jako druhá složka růstového média byl v rámci podkladů charakterizován především svým vysokým obsahem popelovin (minerálních živin s postupným uvolňováním) a nízkým obsahem dusíku, což v kombinaci s kompostem (rychle dostupné živiny) vytváří komplementární zdroj výživy s dlouhodobým i krátkodobým účinkem.

Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	K (g/kg)	P (g/kg)	Sušina (%)	pH (H ₂ O)	Vodivost 1:2,5 (mS/cm)
10,3	2,03	4,31	1,27	39,51	4,7	0,28

Tabulka 6: Obsah živin a kyselost kompostu jako komponenty růstového média.

N-NH ₄ (mg/kg)	N-NO ₃ (mg/kg)	N celk. (%)	Spalitelné látky (%)	12 PAU suma (mg/kg)	AOX (mg/kg)	C10-C40 (mg/kg)
204	30,6	0,69	81,7	6,96	103	240

Tabulka 7: Dusíkaté formy a organická hmota.

TESTOVÁNÍ STRUKTURÁLNÍCH SUBSTRÁTŮ NA VÝZKUMNÉ PLOŠE CENTRA MZI: VLIV NA FYZIOLOGII STROMU

Vodní potenciál

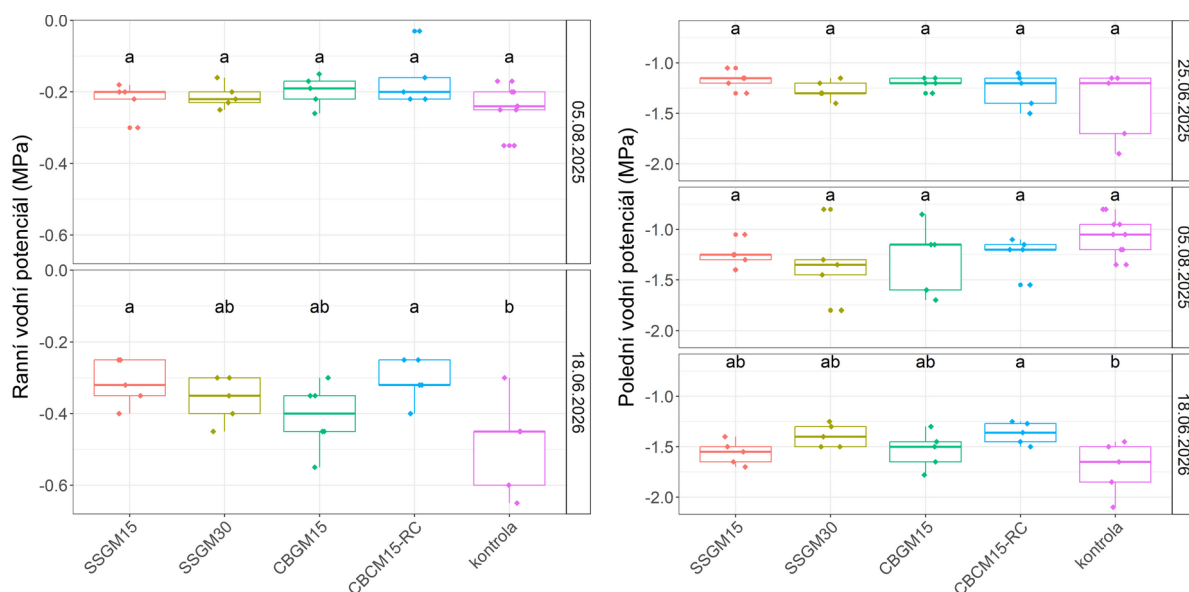
Měření vodního potenciálu listů provedená Scholanderovou tlakovou komorou na experimentální ploše v Tismicích ukázala rozdíly ve vodním

statusu stromů pěstovaných v různých typech strukturálních substrátů. Hodnoceny byly varianty založené na růstových médiích s podílem čistiřenských kalů (SSGM15, SSGM30) a na médiích tvořených kompostem a biouhlem (CBGM15, CBGM15-RC) ve srovnání s kontrolou představovanou běžnou půdou. Použité substráty byly navrženy s cílem zvýšit retenční kapacitu a zlepšit dostupnost vody pro kořenový systém, přičemž předchozí laboratorní analýzy potvrdily vyšší vodní kapacitu směsí obsahujících organickou složku a biouhel oproti kontrolní půdě.

Rozdíly mezi jednotlivými substrátovými variantami byly závislé na termínu měření i denní době. U ranního vodního potenciálu nebyly dne 5. 8. 2025 zjištěny statisticky významné rozdíly mezi variantami, což naznačuje srovnatelnou schopnost nočního doplnění vodních zásob ve všech sledovaných substrátech za optimálních podmínek dostatku vláhy. Naopak při měření dne 18. 6. 2026, za mírného vodního stresu, již byly rozdíly mezi variantami patrné. Kontrola dosahovala statisticky významně negativnějších hodnot ranního vodního potenciálu než varianta CBGM15-RC, zatímco varianty SSGM30 a CBGM15 vykazovaly intermediární hodnoty a statisticky se nelišily ani od kontroly, ani od nejlépe hodnocené varianty. Tento výsledek naznačuje horší noční rehydrataci stromů rostoucích v kontrolní půdě oproti substrátu CBGM15-RC.

Ještě výraznější rozdíly byly pozorovány u poledního vodního potenciálu, který lépe odráží okamžitou intenzitu vodního stresu během období maximální transpirace. V termínech 25. 6. 2025 a 5. 8. 2025 nebyly mezi variantami statisticky průkazné rozdíly, přestože kontrola vykazovala vyšší variabilitu a tendenci k negativnějším hodnotám. Při měření dne 18. 6. 2026 však byly rozdíly statisticky významné. Varianta CBGM15-RC dosáhla nejméně negativních hodnot poledního vodního potenciálu a statisticky se odlišila od kontroly, která vykazovala nejnižší hodnoty ze všech sledovaných variant. Ostatní substrátové varianty (SSGM15, SSGM30 a CBGM15) zaujímaly přechodnou pozici a nebyly statisticky odlišitelné ani od kontroly, ani od CBGM15-RC. Tyto výsledky odpovídají kombinaci dostupné vláhy v okolí kořenů a hydraulické vodivosti půdy, která byla nejnižší v kontrolní půdě a vyšší v substrátech.

Celkově výsledky ukazují, že kontrolní půda měla ve většině termínů tendenci k negativnějším hodnotám vodního potenciálu než strukturální substráty. Nejprůznivější vodní režim vykazovala varianta CBGM15-RC, která dosahovala nejvyšších (nejméně negativních) hodnot ranního i poledního vodního potenciálu a v obou případech se významně odlišovala od kontroly. Tyto výsledky odpovídají předpokladu, že kombinace kompostu, biouhlu a recyklovaného betonu zvyšuje dostupnost vody v kořenovém prostoru a umožňuje stromům efektivněji minimalizovat vodní stres v období vysoké transpirace.



Obr. 27: Ranní a polední vodní potenciál listů stromů pěstovaných v různých variantách strukturálních substrátů a v kontrolní půdě během tří termínů měření v letech 2025–2026. Boxploty zobrazují medián, interkvartilové rozpětí a rozsah naměřených hodnot; jednotlivé body představují jednotlivá měření. Písmena nad boxploty označují statisticky významné rozdíly mezi variantami v rámci daného termínu měření ($p < 0,05$). Negativnější hodnoty vodního potenciálu indikují vyšší míru vodního stresu stromů.

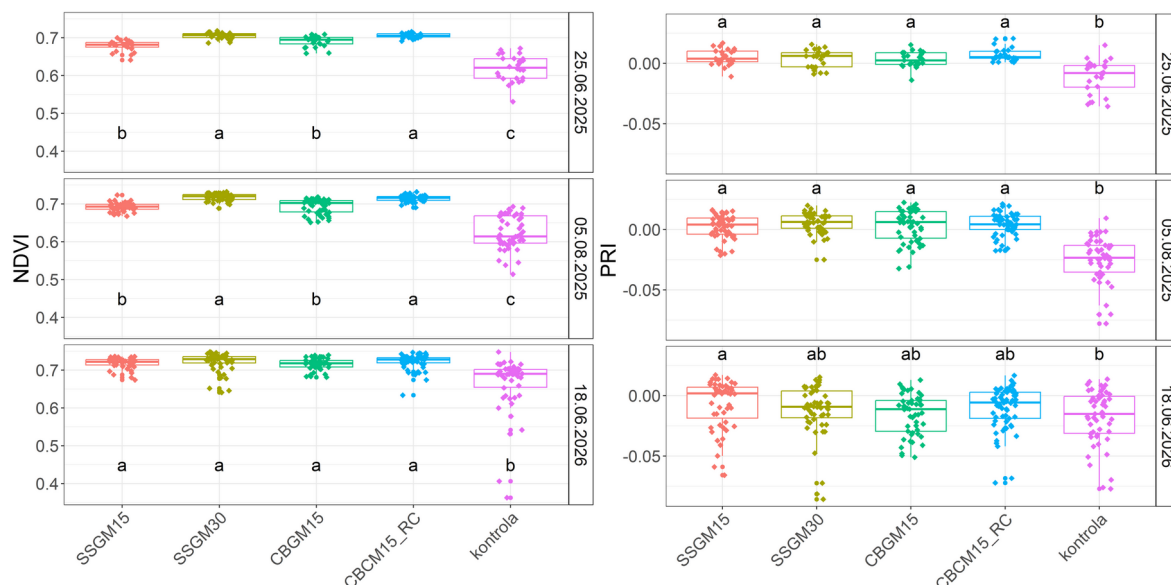
Spektrální reflektance

Analýza spektrálních indexů NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) a PRI (Photochemical Reflectance Index) potvrdila významný vliv typu substrátu na fyziologický stav stromů. U indexu NDVI byly ve všech termínech měření zjištěny statisticky významné rozdíly mezi kontrolní variantou a většinou strukturálních substrátů. V červnu i srpnu 2025 dosahovaly nejvyšších hodnot varianty SSGM30 a CBGM15-RC, které tvořily homogenní skupinu s nejvyšší vitalitou listového aparátu. Varianty SSGM15 a CBGM15 vykazovaly mírně nižší, avšak stále vysoké hodnoty NDVI, zatímco kontrola dosahovala průkazně nejnižších hodnot. V červnu 2026 se rozdíly mezi substrátovými variantami dále zmenšily a všechny čtyři experimentální substráty vytvořily statisticky shodnou skupinu, která se významně odlišovala od kontroly.

Nižší hodnoty NDVI v kontrolní variantě naznačují menší schopnost asimilačního aparátu absorbovat fotosynteticky aktivní záření. Výsledky jsou konzistentní s měřením vodního potenciálu, které u kontroly prokázalo vyšší míru vodního stresu. Strukturální substráty naopak pomáhaly udržovat vyšší vitalitu asimilačního aparátu a zajišťovaly stabilnější fyziologický stav stromů během celé vegetační sezóny. Nejvýraznější rozdíl byl patrný zejména v roce 2025, kdy kontrolní varianta vykazovala nejen nižší hodnoty NDVI, ale také podstatně vyšší variabilitu mezi jednotlivými stromy.

Podobný trend byl pozorován také u indexu PRI, který odráží okamžitou efektivitu využití světelné energie při fotosyntéze a citlivě reaguje na stresové podmínky. V červnu a srpnu 2025 dosahovala kontrolní varianta statisticky významně nižších hodnot PRI než všechny substrátové varianty, které tvořily jednotnou homogenní skupinu. Stromy rostoucí v kontrolní půdě tedy vykazovaly nižší fotosyntetickou efektivitu a vyšší aktivaci fotoprotektivních mechanismů souvisejících s disipací přebytečné energie. V červnu 2026 byly rozdíly méně výrazné; kontrola si však zachovala nejnižší hodnoty indexu a statisticky se odlišovala od varianty SSGM15, zatímco ostatní substrátové varianty zaujímaly přechodnou pozici.

Výsledky obou spektrálních indexů poskytují velmi konzistentní obraz fyziologického stavu sledovaných stromů. Kontrolní půda opakovaně vykazovala nižší hodnoty NDVI i PRI, což odpovídá vyššímu vodnímu stresu doloženému měřením vodního potenciálu. Naopak strukturální substráty podporovaly zachování vyšší vitality listového aparátu, vyšší fotosyntetické výkonnosti a efektivnější využití dopadajícího záření. Nejstabilnějších výsledků dosahovaly především varianty SSGM30 a CBGM15-RC, které opakovaně patřily mezi fyziologicky nejvýkonnější varianty.



Obr. 28: Hodnoty vegetačního indexu NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) a PRI (Photochemical Reflectance Index) u stromů pěstovaných v jednotlivých variantách strukturálních substrátů a v kontrolní půdě během tří termínů měření v letech 2025–2026. Boxploty zobrazují medián, interkvartilové rozpětí a rozsah naměřených hodnot, body představují jednotlivá měření. Písmena označují statisticky významné rozdíly mezi variantami v rámci jednotlivých termínů měření ($p < 0,05$).

Fotosyntéza a transpirace

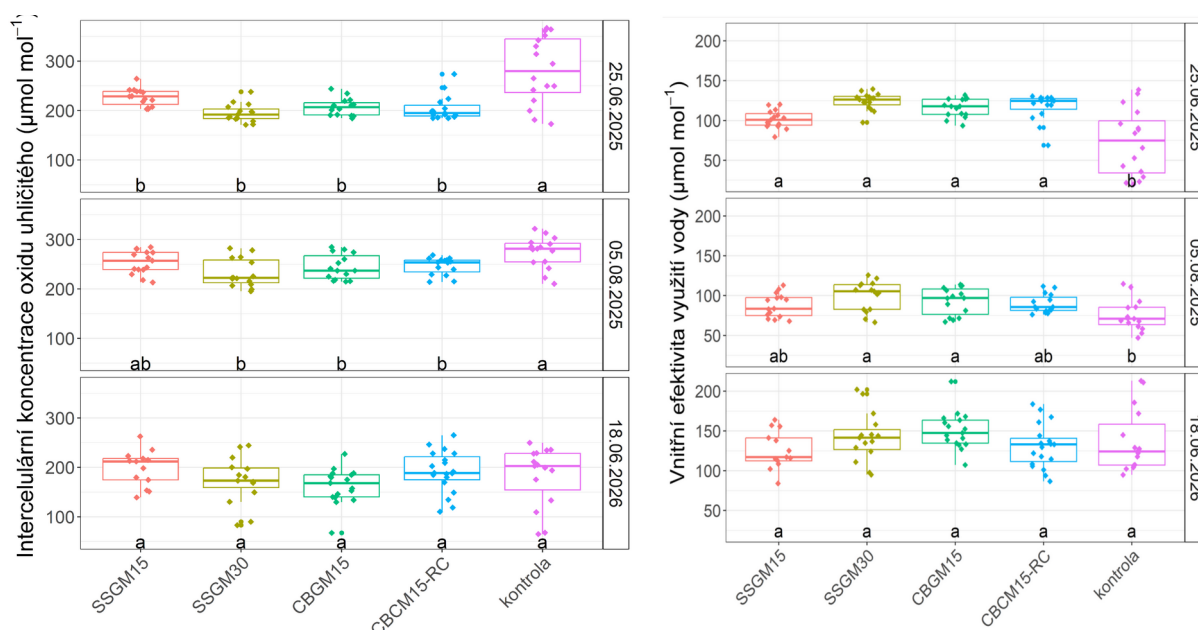
Měření výměny plynů pomocí systému LiCor LI-6800 potvrdilo, že strukturální substráty významně zvýšily fyziologickou aktivitu stromů. V

červnu 2025 byla nejvyšší rychlost fotosyntézy zaznamenána u varianty SSGM15 ($9,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), zatímco kontrolní stromy dosahovaly pouze $2,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Kontrola se statisticky významně odlišovala od všech substrátových variant a vykazovala současně nejnížší průduchovou vodivost ($0,03 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), což ukazuje na výrazné omezení přísunu CO_2 do listů vlivem částečného uzavření průduchů. V srpnu 2025 byly rozdíly mezi variantami méně výrazné. Nejvyšší fotosyntetické aktivity dosahovala varianta CBGM15-RC ($12,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Kontrola již nedosahovala výrazně nižších hodnot než ostatní substráty ($8,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Nejvyšší průduchovou vodivost vykazovala opět varianta CBGM15-RC ($0,141 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), což potvrzuje velmi dobrou dostupnost vody a schopnost stromů udržovat otevřené průduchy i během vysokých evapotranspiračních požadavků. V červnu 2026 dosáhla varianta SSGM15 nejvyšší rychlosti fotosyntézy ($12,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), zatímco varianta CBGM15 vykazovala významně nižší hodnoty ($8,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Kontrola dosahovala obdobné úrovně jako CBGM15 ($8,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a statisticky se od nejlepší varianty významně odlišovala. Obdobný trend byl patrný i u průduchové vodivosti, kde nejvyšší hodnoty vykazovala varianta SSGM15 ($0,10 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), zatímco nejnížší byly zaznamenány u CBGM15 ($0,057 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Měření intercelulární koncentrace oxidu uhličitého poskytlo doplňující informace o funkci fotosyntetického aparátu. V roce 2025 vykazovala kontrola opakovaně nejvyšší koncentrace CO_2 v mezibuněčných prostorách listu (282 a $274 \mu\text{mol mol}^{-1}$), přestože rychlost fotosyntézy byla nízká. Tento jev naznačuje omezení schopnosti asimilovat přijatý oxid uhličitý a odpovídá snížené aktivitě fotosyntetického aparátu. Naopak substrátové varianty vykazovaly nižší koncentrace intercelulárního CO_2 při současně vyšší rychlosti fotosyntézy, což svědčí o efektivnějším využití dostupného uhlíku.

S intracelulární koncentrací oxidu uhličitého korelovala vnitřní efektivita využití vody, která byla u kontrolních stromů výrazně nižší než u stromů pěstovaných v strukturálních substrátech. V červnu 2025 dosahovala kontrola nejnížších hodnot ($72 \mu\text{mol mol}^{-1}$), zatímco strukturální substráty se pohybovaly mezi 101 a $124 \mu\text{mol mol}^{-1}$. V srpnu 2025 byly nejvyšší hodnoty zaznamenány u varianty CBGM15-RC ($89,8 \mu\text{mol mol}^{-1}$) a nejnížší opět u kontroly ($75,1 \mu\text{mol mol}^{-1}$). V roce 2026 se rozdíly mezi variantami již statisticky neprojevovaly a všechny varianty se pohybovaly přibližně mezi 126 a $150 \mu\text{mol mol}^{-1}$.

Celkově výsledky potvrzují, že strukturální substráty zlepšovaly vodní režim stromů, umožňovaly vyšší otevření průduchů a podporovaly vyšší intenzitu fotosyntézy ve srovnání s kontrolní půdou. Nejstabilnější a opakovaně nadprůměrné výsledky vykazovaly varianty SSGM15 stanovištních



Obr. 29: Rychlost fotosyntézy, průduchová vodivost, intercelulární koncentrace oxidu uhlíkového a vnitřní efektivita využití vody u stromů pěstovaných v jednotlivých variantách strukturálních substrátů a v kontrolní půdě během tří termínů měření v letech 2025–2026. Boxploty zobrazují medián, interkvartilové rozpětí a rozsah naměřených hodnot; jednotlivé body představují jednotlivá měření. Písmena označují statisticky významné rozdíly mezi variantami v rámci jednotlivých termínů měření ($p < 0,05$).

Lokality instalace strukturálních substrátů

V rámci terénních zkoušek byl ve spolupráci s TSK Praha, Magistrátem hl. m. Praha navrhovaný strukturální substrát instalován na následujících lokalitách:

- ul. Dukelských hrdinů, Praha
- ul. Baranova, Praha
- ul. Anny Letenské, Praha
- Letenské sady, Praha

Zalévání dospělých stromů vaky

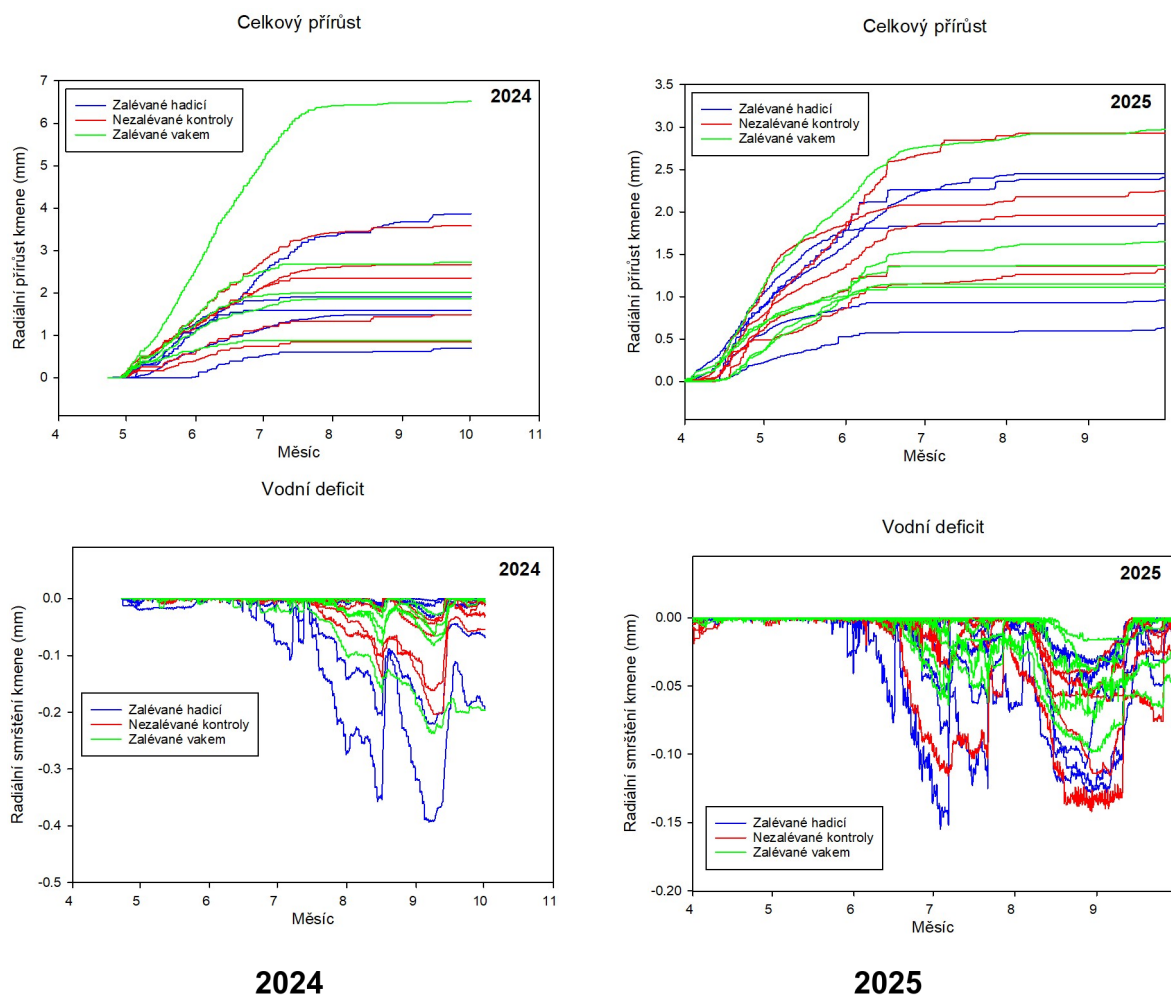
V letech 2024 a 2025 byl v areálu Psychiatrické nemocnice Brno sledován vliv doplňkové závlahy na růst a vodní režim dospělých jedinců jasanu ztepilého (*Fraxinus excelsior*). Celkem 15 stromů bylo rozděleno do tří variant: stromy zavlažované závlahovými vaky, stromy zavlažované přímou aplikací vody hadicí a nezavlažovaná kontrola. Na stromech byly instalovány bodové dendrometry TOMST umožňující kontinuální sledování radiálního přírůstu kmene a změn jeho obvodu souvisejících s vodním režimem.

Vyhodnocení radiálního přírůstu kmene neprokázalo v žádném ze sledovaných let jednoznačný vliv závlahy na celkový růst stromů. V roce 2024 dosahovaly některé zavlažované stromy vyšších přírůstů než kontrolní jedinci, avšak variabilita uvnitř

jednotlivých skupin byla značná a hodnoty se výrazně překrývaly. Obdobný obraz byl pozorován také v roce 2025, kdy se konečné přírůsty jednotlivých stromů pohybovaly v rozmezí 0,5–3,0 mm bez zřetelného oddělení jednotlivých variant. Výsledky tak naznačují, že za podmínek sledovaných vegetačních sezón nebyl celkový radiální růst dospělých stromů primárně limitován dostupností vody, neboť rychlý radiální přírůst byl ukončen do první poloviny července, dříve než se objevilo sucho.

Odlišná situace byla pozorována při hodnocení radiálního smrštění kmene (TWD, Tree Water Deficit), které představuje citlivý indikátor vodního stresu. V roce 2024 nebyly mezi variantami patrné konzistentní rozdíly a průběh smrštění kmene vykazoval vysokou časovou proměnlivost. Naproti tomu během vegetační sezóny 2025 se již projevila zřetelná vliv závlahy. Nejvyšší hodnoty vodního deficitu byly opakovaně zaznamenány u nezavlažovaných kontrol, zatímco stromy zavlažované vaky vykazovaly nejnižší amplitudu smrštění kmene. Varianta zavlažovaná hadicí zaujímal zpravidla přechodnou pozici mezi oběma skupinami.

Výsledky ukazují, že doplňková závlaha nemusí mít u vzrostlých stromů bezprostřední vliv na růst kmene, může však významně ovlivňovat jejich aktuální vodní režim. Nižší hodnoty vodního deficitu u zavlažovaných stromů proto naznačují lepší hydrataci pletiv a nižší fyziologickou zátěž během období zvýšeného sucha. Tyto výsledky potvrzují vhodnost využití dendrometrických měření TWD jako citlivého nástroje pro hodnocení účinnosti závlahových opatření u dospělých městských stromů.



Obr. 30: Průběh radiálního smrštění kmene (Tree Water Deficit, TWD) a radiálního přírůstu kmene jasanu ztepilého (*Fraxinus excelsior*) v letech 2024 a 2025 u stromů zavlažovaných závlahovými vaky, zavlažovaných hadicí a nezavlažovaných kontrol.

Databáze Root Space GIS

V rámci části projektu WP3 byly vyvinut nástroj zabývající se nástroj zabývající se výpočtem minimálního doporučeného prokořenitelného objemu pro výsadbu stromů formou webové kalkulačky Root Space 1.0. Pro potvrzení principů výpočtu a propagaci významu přípravy prokořenitelného prostoru pro nově realizované výsadby byla vytvořena veřejně dostupná databáze Root Space GIS, která uživatelům poskytuje základní informace o výsadbách s připraveným prokořenitelným prostorem. Databáze umožňuje všem uživatelům reálně sledovat benefity přípravy prokořenitelného prostoru a jeho propojení s nátokem srážkové vody vytvořením objektu modrozelené infrastruktury (MZI). Aplikace je přístupná přes stránky www.cmzi.cz na adrese <https://experience.arcgis.com/experience/c7dc5d251de2498bbdda4b64f956a262>

Datová struktura databáze Root Space GIS obsahuje 20 sledovaných atributů, které se zaměřují na tři oblasti daného projektu:

- Identifikační údaje
- Zajištění prokořenitelného prostoru a přístupnost vody

c) Vodohospodářské parametry objektu MZI

Část c je vyplněna pouze u výsadeb jež zároveň vytvářejí objekt MZI s vodohospodářskými funkcemi. Členění databáze umožňuje rychlé třídění informací pro další práci s daty.

Do databáze jsou zahrnuty takové projekty, kde dochází k přípravě prokořenitelného prostoru dosahující objemu min. 30% dle doporučení nástroje Root Space 1.0.

a) Základní a identifikační údaje

1 Město *textové pole*

Označení města realizovaného projektu.

2 Název lokality / projektu *textové pole*

Identifikace projektu, obvykle místním názvem lokality.

3 Název segmentu *textové pole*

Segmentem se vylišuje sledovaný objekt / specifická skupina stromů v daném projektu. Rozdělení na segmenty je dáno odlišnou technologií přípravy prokořenitelného prostoru, výrazně odlišným objemem prokořenitelného prostoru / strom nebo odlišným způsobem přístupu srážkové vody. Pokud je rozdíl jen v mírných nuancích není samostatný segment zpravidla vymezen.

4 Správce objektu *textové pole*

Identifikuje aktuálního správce objektu / výsadby stromů pro možnost získání dalších doplňujících informací.

5 Autor projektu *textové pole*

Uvádí autory architektonického návrhu řešení a autory zájmové technologie výsadby / MZI.

6 Charakteristika projektu *textové pole*

Uvádí stručný popis projektu v kontextu významu této databáze.

7 Základní typ opatření *číselník*

Uvádí základní rozdělení segmentů z hlediska způsobu zapojení srážkové vody, tj. zda se jedná o objekt MZI (s definovanou vodohospodářskou funkcí), nebo jen zlepšení stanovištních podmínek. Pokud se nejedná o objekt s vodohospodářskou funkcí část c není dále vyplňována.

- objekt MZI
- zlepšení stanovištních podmínek

8 Použitý taxon *textové pole*

Uvádí hlavní druhy (resp. taxony) stromů vysázených v daném segmentu.

9 Rok realizace výsadby *číslo*

Uvádí rok dokončení realizace výsadby v daném segmentu.

b) Zajištění prokořenitelného prostoru a přístupnost vody**10 Typ stanovištních podmínek** *číselník*

Uvádí typ stanovištních podmínek z hlediska vhodnosti pro výsadbu stromů dle členění Standardu uličních stromořadí.

- vhodné
- podmíněně vhodné
- nevhodné

11 Technologie přípravy prokořenitelného prostoru *číselník*

Popisuje technologii přípravy prokořenitelného prostoru. Pokud jsou známy doplňující významné informace k technologii přípravy jsou uvedeny v poznámce.

- plošné kypření a homogenizace
- výměna půdy
- strukturální substrát
- půdní buňky

12 Hloubka opatření (m) *číslo*

Uvádí v metrech převažující hloubku připraveného prokořenitelného prostoru, uvádí se hloubka připraveného opatření, nikoli reálná hloubka dna připraveného prokořenitelného prostoru od nivelety terénu. Údaj je spolu se zákresem využit pro výpočet prokořenitelného prostoru na jeden strom.

13 Počet stromů v segmentu *číslo*

Uvádí počet stromů využívajících připravený prokořenitelný prostor, údaj slouží pro výpočet prokořenitelného prostoru na jeden strom.

14 Připravený prokořenitelný prostor / strom *číslo*

Uvádí objem připraveného prokořenitelného prostoru na vysazený strom. Relevantnost připraveného prokořenitelného prostoru lze ověřit výpočtem s využitím kalkulačky Root Space 1.0.

15 Přístup vody *číselník*

Uvádí hlavní způsob jak je srážková voda transportována do prokořenitelného prostoru ať už vsakem při srážkách nebo nátokem z připojených povodí.

- plošný vsak
- stromová mísa
- vegetační pás
- vsakovací průleh
- nátok do podzemní rýhy
- automatická závlaha

16 Poznámka *textové pole*

Uvádí další doplňující údaje k technologiím či projektu.

c) Vodohospodářské parametry objektu MZI**17 Objem povrchové retence objektu (m³)** *číslo*

Objem potenciální retence nadzemní části objektu (např. průlehu).

18 Objem podzemní retence (m³) *číslo*

Objem potenciální retence podzemní části objektu (např. podzemní rýhy).

19 Regulovaný odtok objektu *ano/ne*

Informace zda je objekt vybaven regulovaným odtokem (a zpravidla i bezpečnostním přelivem).

20 Připojené povodí (m²) *číslo*

Plocha připojeného povodí zpevněné plochy k objektu / segmentu. Jedná se o neredukované povodí s nutností započtení součinitele odtoku typu povrchu pro další výpočty.

Sledované lokality u kterých byly zajištěny podkladní materiály (projekty) uvedené v databázi Root Space GIS uvádí následující tabulka. U lokalit je průběžně doplňována aktuální fotodokumentace. Další rozšiřování databáze bude probíhat ve spolupráci s dalšími projektanty.

č	Město	Název projektu	Název segmentu
1	Praha	I.P. Pavlova	I.P. Pavlova jih
2	Praha	Dělostřelecká	Spojená x Špálova
3	Praha	Národní muzeum	skupiny jerlínů
4	Praha	Národní muzeum	platan u památníku
5	Praha	Smetanovo nábřeží	východní strana
6	Praha	Betlémské náměstí	Betlémské náměstí
7	Praha	Argentinská	Argentinská I. etapa
8	Praha	Strossmayerovo náměstí	Strossmayerovo náměstí
9	Praha	Janovského	Strossmayerovo náměstí. x Pplk. Sochora
10	Kralupy nad Vltavou	Husova	středový parter
11	Kralupy nad Vltavou	Mostní	I. etapa
12	Jihlava	Masarykovo náměstí	první skupina
13	Litomyšl	Parkoviště Albert	dělicí pásy
14	Český Brod	Masarykova	východ I. etapa

15	Praha	Letná	Letná travnatá plocha, I. etapa
16	Praha	Ovocný trh	sever
17	Rokycany	Jiráskova	celá ulice
18	Praha	I.P. Pavlova	I.P. Pavlova sever
19	Praha	Letná	Letná písková plocha, II. etapa
20	Praha	Jiřího z Poděbrad	javorové boskety
21	Praha	Jiřího z Poděbrad	centrální stromořadí
22	Praha	Jiřího z Poděbrad	ul. Milešovská
23	Praha	Jiřího z Poděbrad	lipové stromořadí sever
24	Rokycany	Svazu bojovníků za svobodu	Josefa Knihy x Dukelská
25	Praha	Anny Letenské	Římská x Vinohradská - západ
26	Praha	Krkonošská	Krkonošská etapa I.
27	Praha	Čerchovská	Čerchovská západ
28	Praha	U Pergamenky	uliční průlehy
29	Praha	U Pergamenky	stromové mísy
30	Praha	Dukelských hrdinů	Strojnická x Strossmayerovo náměstí
31	Praha	U Výstaviště	Strojnická x Bubenská
32	Praha	Václavské náměstí	dolní část (I. etapa)
33	Liberec	Vítězná	Mozartova x Lázeňská
34	Liberec	Štefánikovo náměstí	Vítězná x Durychova
35	Jilemnice	Masarykovo náměstí	soliterní jilm
36	Praha	Jateční	Komunardů x Na Maninách
37	Roztoky u Prahy	Masarykova	Lidická x Nerudova
38	Brno	Orlí	Masarykova x Minoritská
39	Brno	Moravské náměstí	stromořadí podél Koliště
40	Brno	Mendelovo náměstí	Mendelovo náměstí západ
41	Praha	Vršovická	Bělocerkevská x Litevská
42	Praha	Jilmová	Jilmová I. etapa
43	Praha	Za Žižkovskou vozovnou	parkovací stání

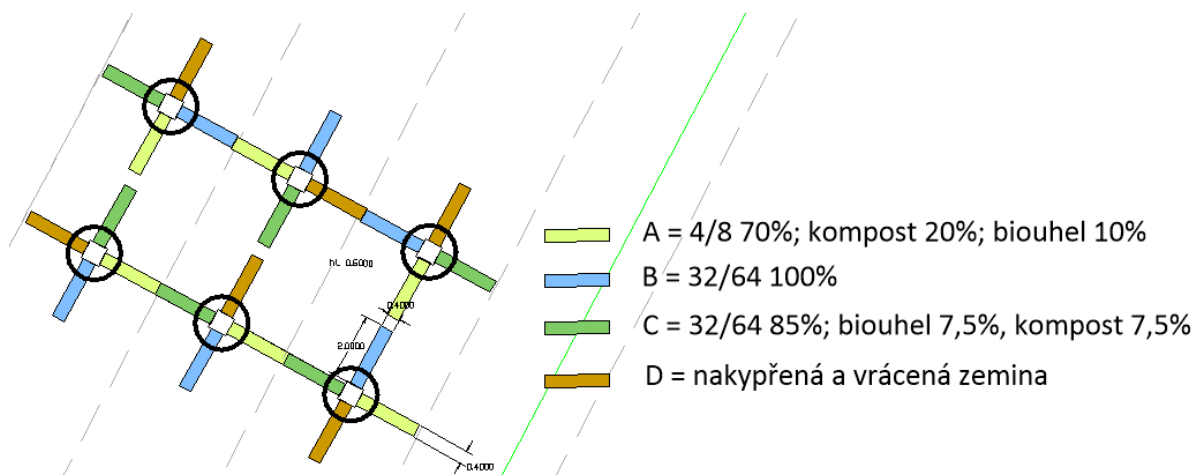
44	Praha	Za Žižkovskou vozovnou	vegetační pásy
45	Praha	Kostelní	středový pás před NTM
46	Praha	Schnirchova	Šternberkova x Řezáčovo náměstí
47	Žďár nad Sázavou	Nádražní	Husova x nám. Republiky
48	Praha	Na Vápence	Jeseniova x Jilmová
49	Praha	Jiřího z Poděbrad	stromořadí za kostelem
50	Praha	Jiřího z Poděbrad	sloupovité duby

Tabulka 8: Seznam datových záznamů

Růstové médium kořenových cest

Zkoumá vliv výplňového materiálu kořenových cest. Kořenové cesty (4 ks/výsadba) o rozměru 0,4x0,6x2 m byly vyplněny různým médiem (strukturální substrát (HDK 32/64 85%, biouhel 7,5%, kompost 7,5%) , štěrkový výsadbový substrát (štěrk 4/8 70%, kompost 20%, biouhel 10%) , štěrk (HDK 32/64 100%) a nakypřená stávající zemina). Celkem replikováno v 6 provedeních s výsadbou lípy malolisté (*Tilia cordata*).

V červnu 2026 provedeno předběžné vyhodnocení rozvoje kořenů u dvou jedinců. Růstové médium bylo odstraněno nedestruktivní výkopovou technologií (Air Spade), byl zdokumentován délkový přírůst kořenů do růstových médií. Vzhledem k jednomu roku trvání pokusu nelze výsledky spolehlivě interpretovat, pokus bude dále vyhodnocován.



Obr. 31: Schéma založení experimentální plochy



Obr. 32: Detail růstových cest

4.3 WP3: VLIV PŘIPOJENÉHO POVODÍ A PROKOŘENITELNÉHO OBJEMU NA KVALITU PLNĚNÍ EKOSYSTÉMOVÝCH SLUŽEB

Odborný garant: Alena Klimešová

Cíl: Ověřit vliv velikosti připojeného povodí a velikosti prokořenitelného objemu (vyplněného strukturálním substrátem) na kvalitu plnění ekosystémových služeb stromů. Sledování probíhá primárně na výzkumné ploše Centra MZI v Tismicích (Český Brod), zjištěná data jsou porovnávána s výstupy monitoringu WP2. Zjištěná data o korelaci mezi infiltrací z připojeného povodí a růstovou dynamikou byla integrována do online kalkulačky Root Space 1.0.

Průběh řešení (2024–2026)

V roce 2024 bylo dokončeno založení první etapy pokusu – výsadba 28 stromů v 8 variantách, instalace dendrometrů a systému čidel (dodavatel Environmental Measuring Systems s.r.o.). Vzhledem k nevhodným klimatickým podmínkám na jaře byla výsadba přesunuta na podzim 2024, monitoring byl zahájen od předjaří 2025.

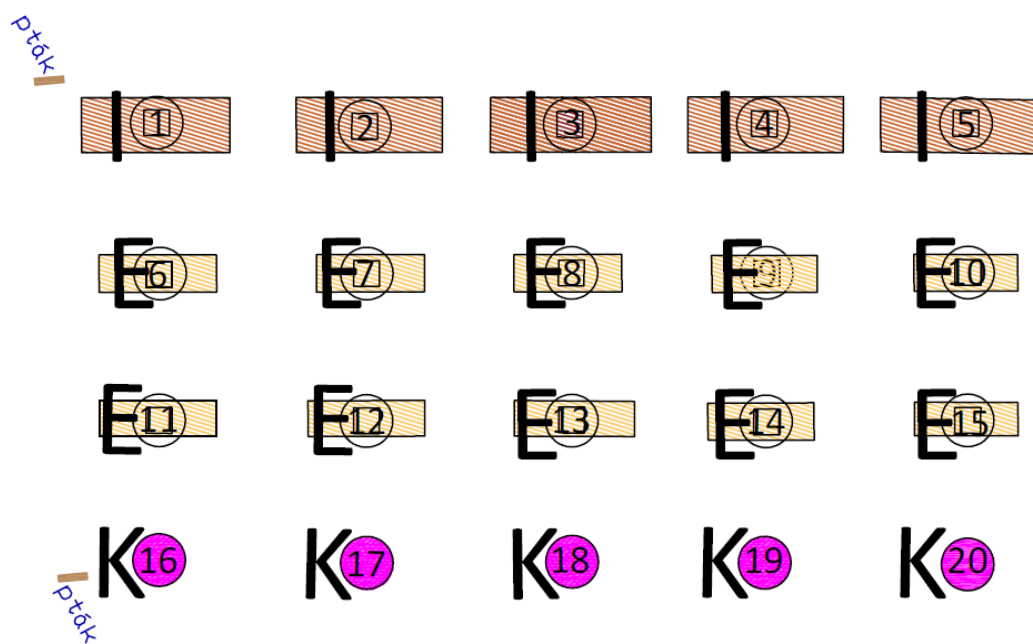
V roce 2025 byla dokončena druhá etapa – připojení definovaných typů povodí, zpevnění ploch dlažbou pro simulaci městských povrchů, instalace čerpadla se solárním napájením pro simulaci srážek a doplnění bodových dendrometrů (Tomst) na všechny jedince ve všech variantách.

V roce 2026 bylo prováděno pokračování fyziologického a růstového monito-

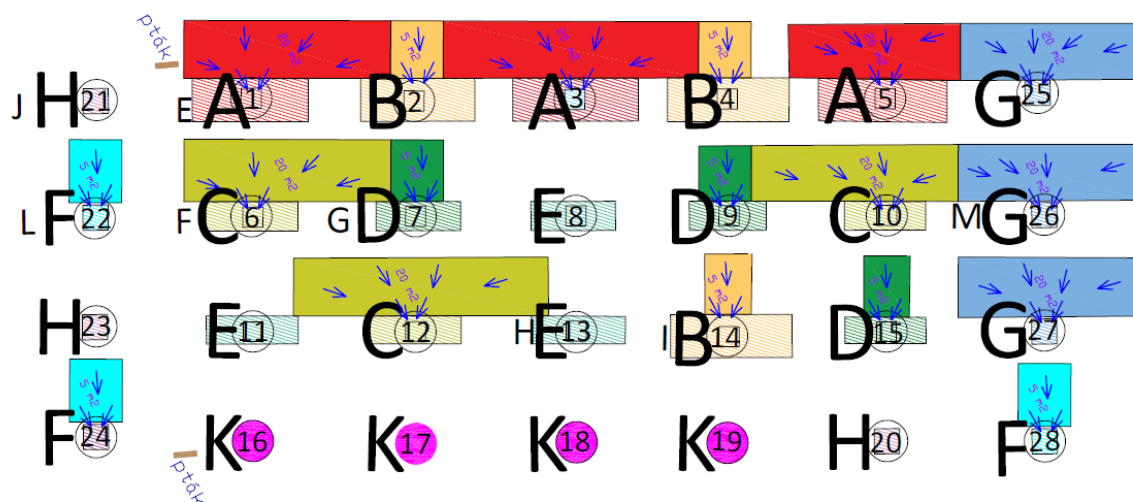
ringu po založení povodí.

Varianta	Taxon	Velikost prokořenitelného objemu	Velikost připojeného povodí
A	Tilia cordata	8 m ³	20 m ²
B	Tilia cordata	8 m ³	5 m ²
C	Tilia cordata	3,5 m ³	20 m ²
D	Tilia cordata	3,5 m ³	5 m ²
E	Tilia cordata	3,5 m ³	0 m ²
G	Tilia cordata	1 m ³	20 m ²
F	Tilia cordata	1 m ³	5 m ²
H	Tilia cordata	1 m ³	0 m ²
I	Tilia cordata	8 m ³	0 m ²

Tabulka 9: Varianty různých objemů prokořenitelného prostoru, vyplněného strukturálním substrátem, a různých velikostí připojeného povodí u pokusu na ploše CMZI v Tismicích.



Obr. 33: Schéma rozložení variant u pokusu na ploše CMZI v Tismicích do roku 2024.



Obr. 34: Schéma rozložení variant u pokusu na ploše CMZI v Tismicích od roku 2025.

Objem	Povodí			
	20m ²	5m ²	BEZ	
8 m ³	A  	B  		
3,5 m ³	C  	D  	E 	
1 m ³	G  	F  	H 	

Obr. 35: Přehledová tabulka s grafickým znázorněním rozložení variant u pokusu na ploše CMZI v Tismicích (od roku 2025).



Obr. 36: Snímek připojeného povodí o ploše 20 m² za deště u pokusu na ploše CMZI v Tis-micích.

Monitoring vlivu připojeného povodí a velikosti prokořitelného prostoru

V letech 2022-2024 byla na dříve vysazených stromech měřena biometrie (obvody ve 130 cm a délkové přírůsty letorostů) a vodní potenciál listů pomocí Scholanderovy tlakové komory (PMS 1000, PMS Instrument Company, Albany, OR, USA). V roce 2025 a 2026 bylo spektrum provedených fyziologických měření rozšířeno. Na listech sazenic jsme měřili světlem saturevanou fotosyntézu (při intenzitě fotosynteticky aktivní radiace 1500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), průduchovou vodivost a spektrální reflektanci. Použili jsme přístroje LiCor LI-6800; LiCor, Lincoln, Nebraska, USA) a Polypen (Polypen RP 410 UVIS, PSI, Drásov, Česká republika).

Vodní potenciál

Už v prvním roce po výsadbě (2022) byl patrný efekt použití strukturního substrátu, kontrolní sazenice měly nižší ranní vodní potenciál, tj. byly v době měření více stresované suchem, než sazenice rostoucí ve

strukturálním substrátu. Ve druhém roce měření byl trend obdobný, ale už ve třetím roce se od sebe lišily všechny tři varianty: nejvíce stresovaná suchem byla kontrola, významně méně stresovaná byla varianta se 3,5 m³ strukturálního substrátu (varianta E) a nejlepší dostupnost vody měla varianta s 8 m³ strukturálního substrátu (varianta I).

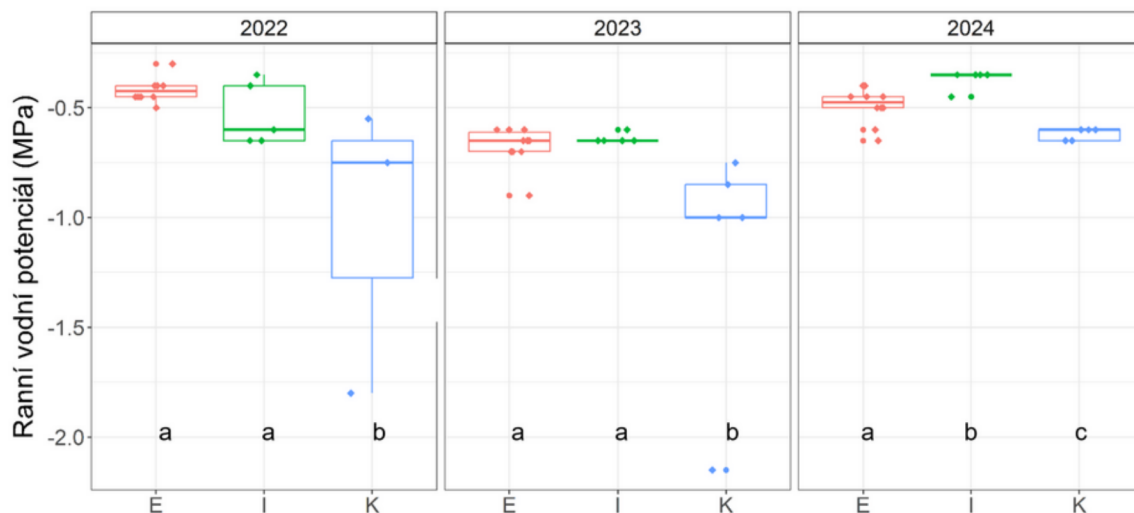
Měření vodního potenciálu listů v letech 2025 a 2026 ukázala, že vliv velikosti připojeného povodí na vodní režim stromů byl závislý na dostupnosti půdní vlhkosti. V termínu 5. 8. 2025 nebyly mezi variantami zjištěny statisticky významné rozdíly ani u ranního, ani u poledního vodního potenciálu. Všechny varianty vykazovaly relativně příznivý vodní status, přičemž ranní vodní potenciál se pohyboval přibližně od $-0,19$ do $-0,26$ MPa a polední vodní potenciál od $-0,80$ do $-1,12$ MPa. Tyto výsledky naznačují, že v podmínkách dostatečné dostupnosti vláhy nebyl efekt velikosti povodí ani objemu strukturálního substrátu na vodní stav stromů výrazně patrný. Kontrolní varianta sice dosahovala nejnižšího ranního vodního potenciálu ($-0,26$ MPa), rozdíly však nebyly statisticky průkazné.

Dne 18. 6. 2026 se projevil výraznější vodní stres a mezi variantami se objevily statisticky významné rozdíly. Nejprůznivější ranní vodní potenciál vykazovala varianta A (8 m³ substrátu, 20 m² povodí), jejíž medián dosahoval přibližně $-0,20$ MPa. Naopak nejnižší hodnoty byly zaznamenány u varianty H (1 m³ substrátu bez připojeného povodí), kde ranní vodní potenciál dosáhl v průměru $-0,80$ MPa a vykazoval zároveň vysokou variabilitu mezi jedinci. Kontrolní varianta dosahovala hodnot $-0,45$ MPa a významně se nelišila od ostatních variant. Při omezeném objemu prokořitelného prostoru má připojení povodí zásadní význam pro noční doplnění vodních zásob stromu. Například varianta G, která měla stejně malý objem substrátu jako H (1 m³), ale disponovala povodím o ploše 20 m², vykazovala výrazně vyšší ranní vodní potenciál ($-0,31$ vs. $-0,80$ MPa).

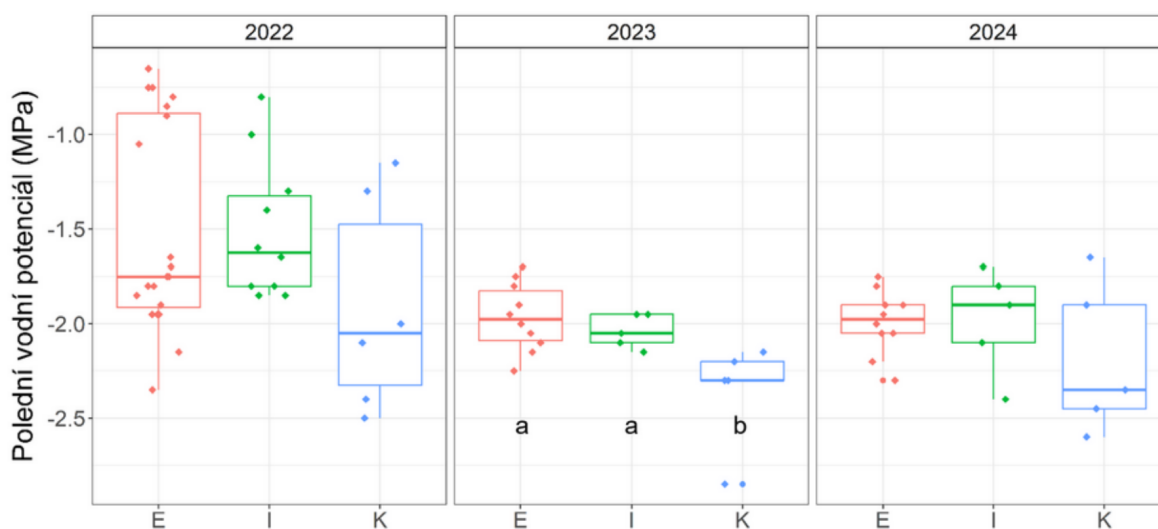
Ještě výrazněji se vliv jednotlivých variant projevil u poledního vodního potenciálu, který charakterizuje okamžitou intenzitu vodního stresu během období maximální transpirace. Nejvyšších hodnot dosáhla opět varianta A s průměrným poledním vodním potenciálem $-1,29$ MPa, následovaná variantou D (3,5 m³ substrátu a 5 m² povodí; $-1,12$ MPa). Naopak nejnižší hodnoty byly zaznamenány u variant F a H, kde polední vodní potenciál dosahoval $-1,95$ až $-2,00$ MPa. Tyto hodnoty se již blíží rozmezí, při kterém dochází k výraznému omezení průduchové vodivosti a fotosyntetické aktivity. Kontrolní varianta vykazovala průměrný polední vodní potenciál $-1,61$ MPa a byla významně stresovanější než varianty s větším objemem substrátu a současně napojením na přítok srážkové vody.

Celkově výsledky potvrzují, že samotné zvětšování objemu strukturálního substrátu zlepšuje vodní režim stromů, avšak významným faktorem je rovněž velikost připojeného povodí. Zejména u variant s malým prokořitelným objemem vedlo napojení na větší povodí k výraznému

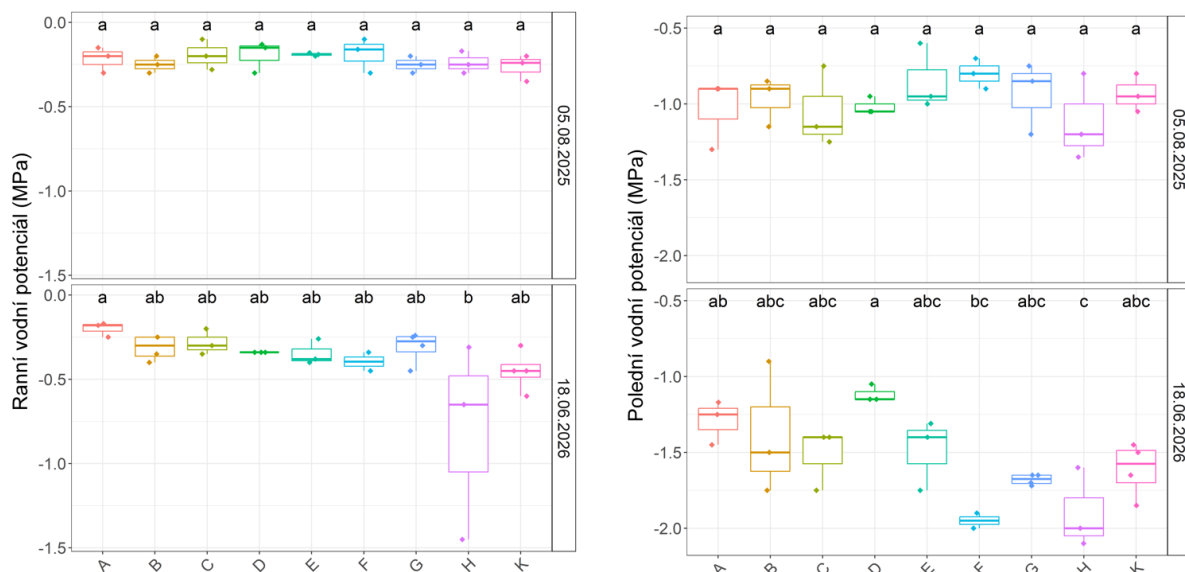
zmírnění vodního stresu. Získané výsledky tak podporují předpoklad, že přívod srážkové vody z okolních zpevněných ploch může alespoň částečně kompenzovat omezený objem kořenového prostoru a přispívat k dlouhodobému zlepšení fyziologického stavu stromů.



Obr. 37: Ranní vodní potenciál v letech 2022-2024 měřený na lipách vysazených v různém objemu strukturálního substrátu na výzkumné ploše v Tismicích.



Obr. 38: Polední vodní potenciál v letech 2022-2024 měřený na lipách vysazených v různém objemu strukturálního substrátu na výzkumné ploše v Tismicích.



Obr. 39: Ranní a polední vodní potenciál listů lípy rostoucí v různých kombinacích prokořenitelného objemu a velikosti připojeného povodí v experimentu Tismice. Boxploty zobrazují medián, interkvartilové rozpětí a rozsah naměřených hodnot, body představují jednotlivá měření. Písmena označují statisticky významné rozdíly mezi variantami v rámci jednotlivých termínů měření ($p < 0,05$). Negativnější hodnoty vodního potenciálu indikují vyšší míru vodního stresu stromů.

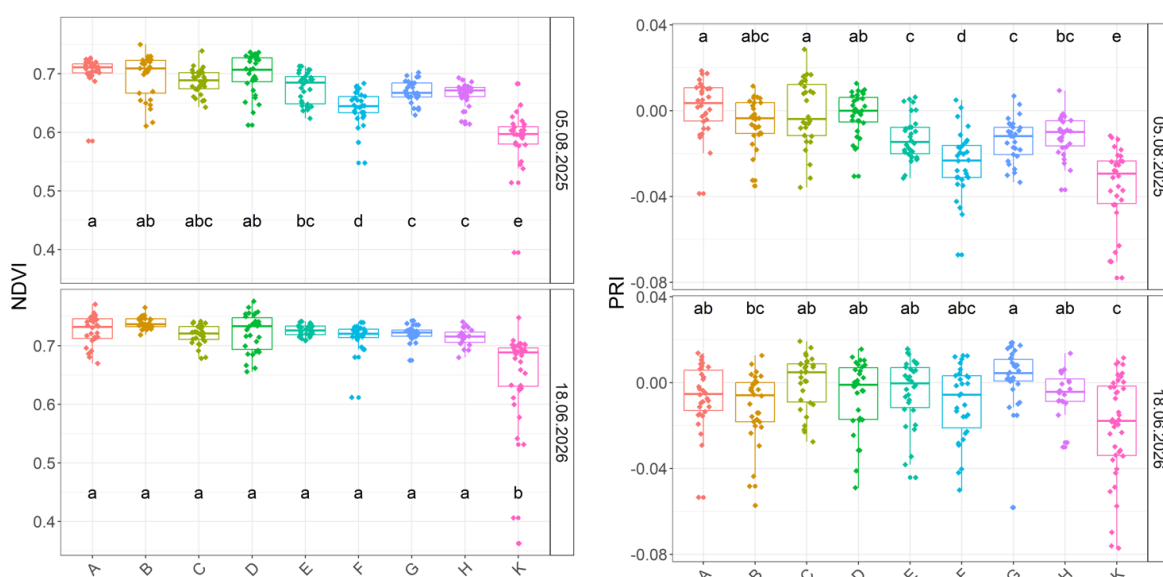
Spektrální reflektance

Měření spektrální reflektance listů a jejich interpretace pomocí indexů NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) a PRI (Photochemical Reflectance Index) potvrdilo, že velikost prokořenitelného prostoru i připojeného povodí významně ovlivňují fyziologický stav stromů. V obou sledovaných termínech dosahovala kontrolní varianta K nejnižších hodnot NDVI, které byly současně spojeny s vysokou variabilitou mezi jedinci. V srpnu 2025 činila průměrná hodnota NDVI u kontroly pouze 0,59, zatímco u většiny variant se strukturálním substrátem se pohybovala mezi 0,67 a 0,71. V červnu 2026 se hodnoty NDVI zvýšily u všech variant, avšak kontrola si zachovala výrazně nižší průměr (0,65) než experimentální varianty, jejichž hodnoty dosahovaly převážně 0,71–0,74. V roce 2025 existovaly rozdíly nejen mezi kontrolou a ostatními variantami, ale také mezi jednotlivými kombinacemi objemu substrátu a velikosti povodí. V roce 2026 již všechny varianty se strukturálním substrátem tvořily homogenní skupinu a významně se odlišovaly pouze od kontroly.

Strukturální substrát zajišťoval dlouhodobě vyšší vitalitu listového aparátu bez ohledu na konkrétní velikost povodí. Současně však přítomnost většího povodí dokázala částečně kompenzovat menší objem substrátu. Příkladem je varianta G (1 m³ substrátu, 20 m² povodí), která dosahovala velmi podobných hodnot NDVI jako varianty s několikanásobně větším objemem prokořenitelného prostoru. Tento výsledek je v souladu s měřením vodního potenciálu a naznačuje, že zvýšený přísun srážkové vo-

dy může do určité míry nahradit deficit způsobený omezeným prostorem pro kořenový systém.

Podobný trend byl zjištěn také u indexu PRI, který odráží okamžitou efektivitu využití světelné energie při fotosyntéze a její disipaci díky pigmentům xantofylového cyklu. V srpnu 2025 měla kontrola nejnižší hodnoty PRI ($-0,035$), zatímco varianty se strukturálním substrátem dosahovaly hodnot od $-0,014$ do $+0,002$. Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány u variant A a C, zatímco nejnižší hodnoty mezi experimentálními variantami vykazovaly varianty F a G. V červnu 2026 byly rozdíly mezi variantami menší, avšak kontrola opět dosahovala nejnižší průměrné hodnoty PRI ($-0,021$), zatímco většina experimentálních variant se pohybovala v blízkosti nuly.



Obr. 40: Hodnoty vegetačního indexu NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) a PRI (Photochemical reflectance index) u stromů rostoucích v různých kombinacích prokořenitelného objemu a velikosti připojeného povodí. Varianty A-H představují různé kombinace objemu strukturálního substrátu a velikosti povodí, varianta K představuje kontrolu bez strukturálního substrátu a bez připojeného povodí. Boxploty zobrazují medián, interkvartilové rozpětí a rozsah naměřených hodnot, body představují jednotlivá měření. Písmena označují statisticky významné rozdíly mezi variantami ($p < 0,05$).

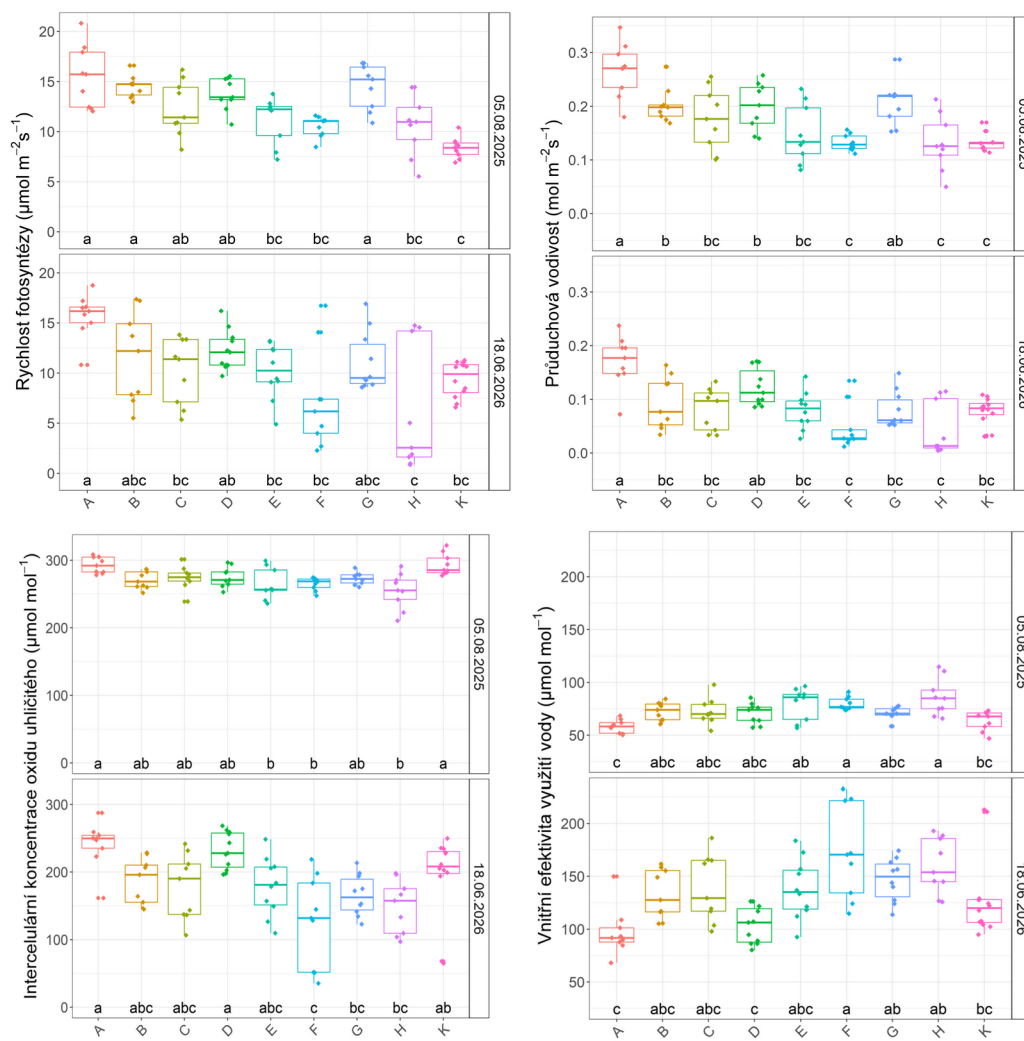
Fotosyntéza a transpirace

Velikost prokořenitelného prostoru a připojeného povodí ovlivňovala fotosyntézu stromů. V srpnu 2025 dosahovaly nejvyšší rychlosti fotosyntézy varianty A a G, tedy stromy s velkým povodím. Podobný trend byl patrný také u průduchové vodivosti, kde varianta A vykazovala nejvyšší hodnoty a kontrola společně s variantami bez povodí patřily k nejnižším. V červnu 2026 byly rozdíly mezi variantami méně výrazné, přesto si varianta A udržovala nejvyšší fotosyntetickou aktivitu i nejvyšší průduchovou vodivost. Naopak varianta F (1 m^3 substrátu a 5 m^2 povodí) vykazovala nejnižší hodnoty obou parametrů. Výsledky tedy ukazují, že kombinace dostatečně velkého prokoření-

telného prostoru a přístupu vody podporuje vyšší otevření průduchů a vyšší intenzitu asimilace.

Intercelulární koncentrace oxidu uhličitého se mezi variantami lišila méně než fotosyntéza. V roce 2025 dosahovala kontrola jedněch z nejvyšších hodnot C_i , přestože její fotosyntéza byla nízká. Naproti tomu varianty s lepšími stanovištními podmínkami vykazovaly nižší koncentraci CO_2 v mezibuněčných prostorech při současně vyšší rychlosti fotosyntézy, což odpovídá efektivnějšímu fungování fotosyntetického aparátu.

Významné rozdíly byly patrné rovněž u vnitřní efektivity využití vody (WUE_i). V roce 2025 vykazovaly nejvyšší hodnoty varianty F a H, tedy varianty s malým prokořenitelným objemem a malým nebo žádným povodím. V červnu 2026 dosahovala nejvyšší efektivity využití vody varianta F a následně H, zatímco nejnižší hodnoty byly zaznamenány u varianty A. Tento výsledek naznačuje, že stromy v příznivějších podmínkách využívaly dostupnou vodu méně úsporně, protože nebyly nuceny omezovat transpiraci. Naopak stromy v omezenějších podmínkách dosahovaly vyšší efektivity využití vody za cenu nižší průduchové vodivosti a často i nižší fotosyntetické aktivity.



Obr. 41: Rychlost fotosyntézy, průduchová vodivost, intercelulární koncentrace oxidu uhličitého a vnitřní efektivita využití vody u lip srdčitých (*Tilia cordata*) pěstovaných v různých kombinacích prokořenitelného prostoru a velikosti připojeného povodí na experimentální ploše v Tismicích. Boxploty zobrazují medián, interkvartilové rozpětí a rozsah naměřených hodnot, body představují jednotlivá měření. Různá písmena označují statisticky významné rozdíly mezi variantami v rámci jednotlivých termínů měření ($p < 0,05$).

Tloušťkový a délkový přírůst

Výsledky z let před instalací povodí jednoznačně ukazují, že čím více bylo použito strukturálního substrátu, tím lépe sazenice přirůstají, a to jak do délky, tak i do šířky. Sazenice s 8 m³ strukturálního substrátu přirostly za rok více než 4 cm v obvodu, zatímco kontrolní sazenice přirostly sotva půl centimetru. Délkový přírůst se postupně časem snižuje u všech variant z důvodu většího rozvětvení a tedy menší investice energie do délkového přírůstu. První sezonu po instalaci povodí přirostly do tloušťky nejvíce varianty A a B, průměrně 2 cm, varianty B, C a D zhruba 1,5 cm a kontrola pouze 3 mm. Délkový přírůst byl největší ve variantě D, ale od A, B, C a E

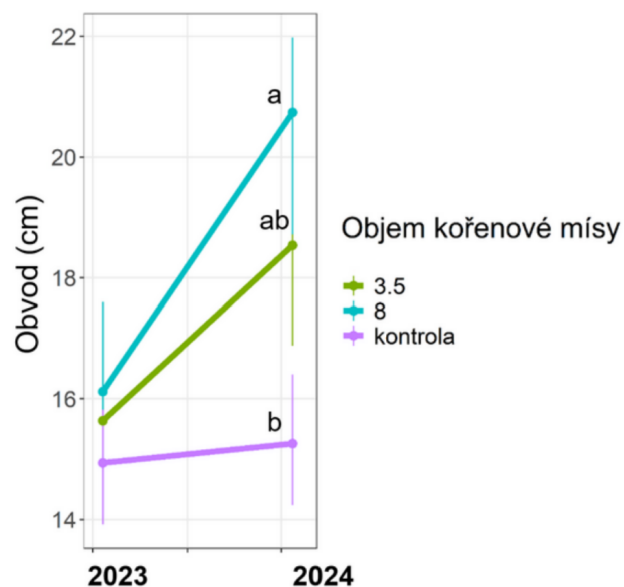
se neliší významně, zatímco od variant s nejmenším množstvím strukturálního substrátu s jakkoli velkým povodím a od kontroly se dříve zmíněné varianty významně liší.

Biometrická měření provedená v roce 2025 ukázala, že velikost prokořenitelného prostoru a připojeného povodí významně ovlivňovala růst mladých lip. Největší rozdíly byly patrné u délkového přírůstu letorostů, kde se jednotlivé varianty statisticky významně odlišovaly. Nejvyšších délkových přírůstů, 45–50 cm, dosahovala varianta D (3,5 m³ strukturálního substrátu a 5 m² povodí). Vysoké přírůsty vykazovaly také varianty A a B s objemem 8 m³ strukturálního substrátu, jejichž mediány se pohybovaly mezi 30–35 cm. Naopak nejnižší přírůsty byly zaznamenány u variant s nejmenším prokořenitelným objemem (F, G a H), kde délkový přírůst zpravidla nepřesahoval 10 cm. Kontrolní varianta K dosahovala obdobně nízkých hodnot jako varianty s objemem 1 m³ substrátu. Výsledky naznačují, že omezený prokořenitelný prostor představuje významný limit růstu, který nelze kompenzovat ani zvětšením připojeného povodí.

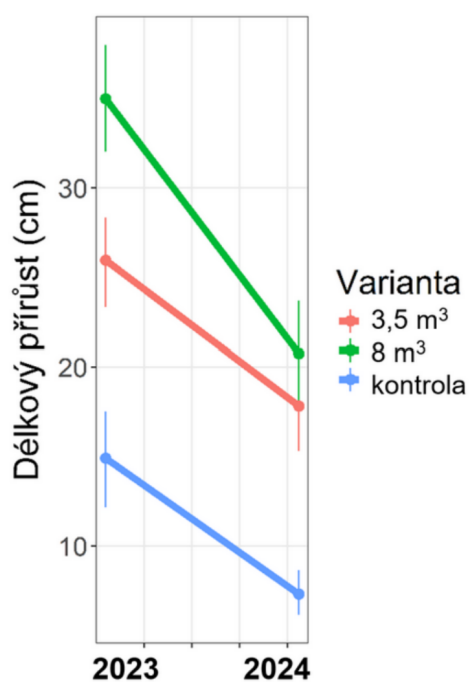
Tloušťkový přírůst kmene měl obdobný trend jako délkový růst, avšak rozdíly mezi variantami byly méně výrazné. Stromy rostoucí ve strukturálním substrátu přirůstaly několikanásobně rychleji než kontrolní jedinci rostoucí v běžné půdě. Nejvyšší přírůstky byly zaznamenány u variant A a B (2,0–2,1 cm za vegetační sezónu), následovaných variantou D. Varianty C a E dosahovaly středních hodnot 1,5–1,7 cm, zatímco kontrolní varianta vykázala pouze minimální přírůst obvodu kmene kolem 0,2–0,3 cm.



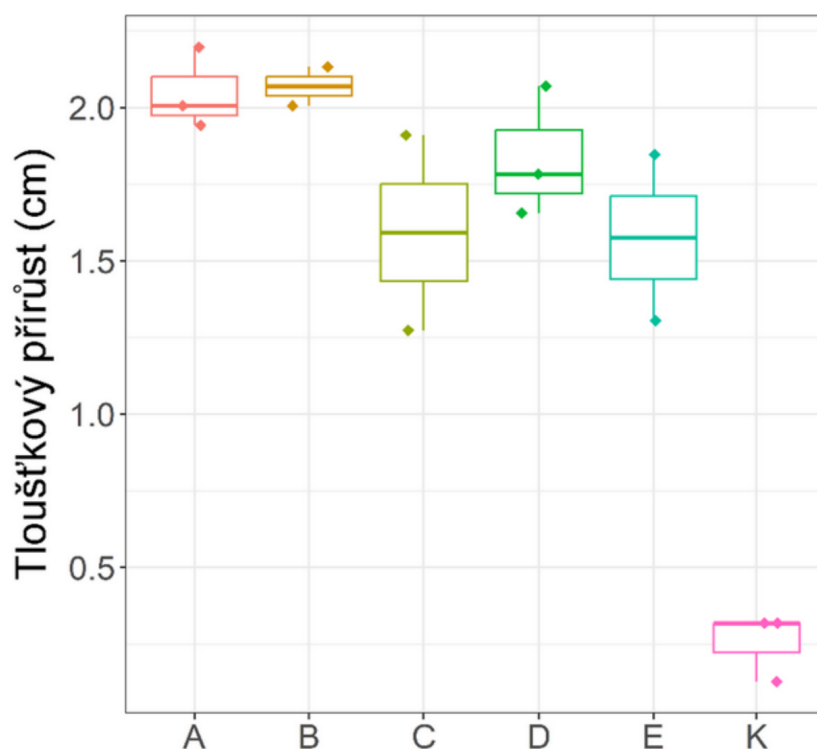
Obr. 42: Měření fotosyntézy infračerveným analyzátelem plynů LiCor LI-6800 na listech lip v Tismicích.



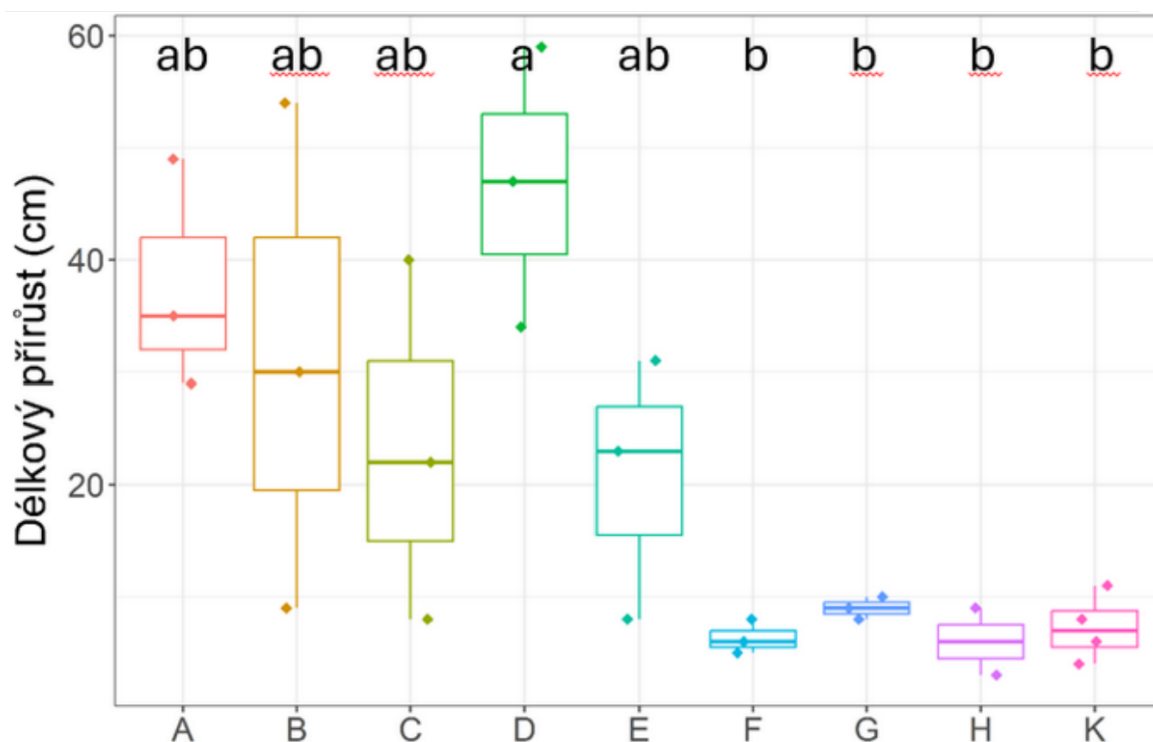
Obr. 43: Tloušťkový přírůst v letech 2023-2024 měřený na lipách vysazených v různém objemu strukturálního substrátu s různými variantami povodí na výzkumné ploše v Tismicích.



Obr. 44: Délkový přírůst v letech 2023-2024 měřený na lipách vysazených v různém objemu strukturálního substrátu s různými variantami povodí na výzkumné ploše v Tismicích.



Obr. 45: Tloušťkový přírůst v roce 2025 měřený na lipách vysazených v různém objemu strukturálního substrátu s různými variantami povodí na výzkumné ploše v Tismicích.



Obr. 46: Délkový přírůst v roce 2025 měřený na lipách vysazených v různém objemu strukturálního substrátu s různými variantami povodí na výzkumné ploše v Tismicích.



Obr. 47: Vizuálně patrný rozdíl ve vývoji vitality u stromu s připojeným povodím - st. explorace (vlevo) a bez povodí - st. degenerace (vpravo)

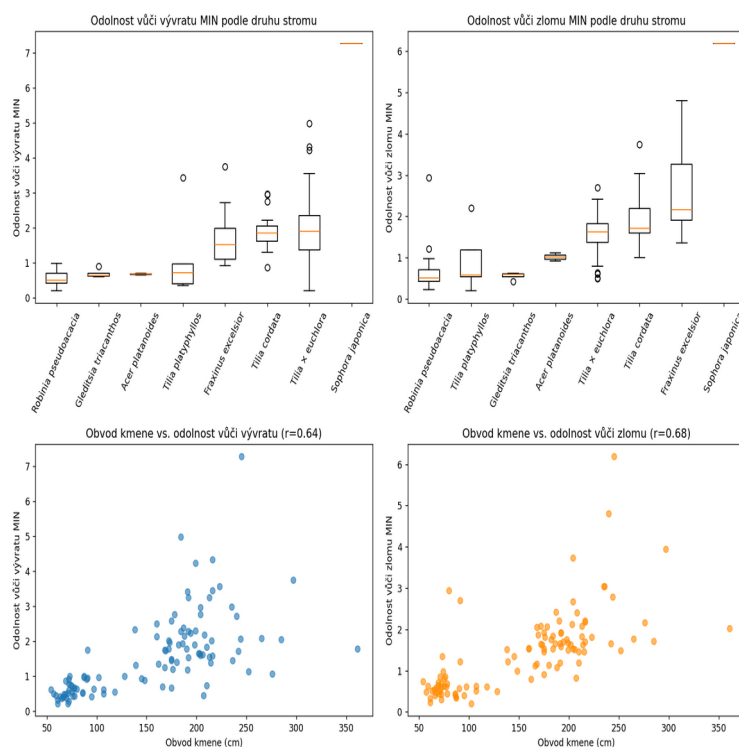
Kalkulačka Root Space

Na základě výsledků měření vlivu připojeného povodí byl upřesněn algoritmus výpočtu minimální velikosti připraveného prokořenitelného prostoru uveřejněný ve Standardu stromořadí. Pro možnost plynulého využití průběžných výsledků pokusu v praxi byla vytvořena ve spolupráci s Vladimírem Másílkem internetová výpočtová kalkulačka Root Space 1.0., veřejně dostupná na www.cmzi.cz.

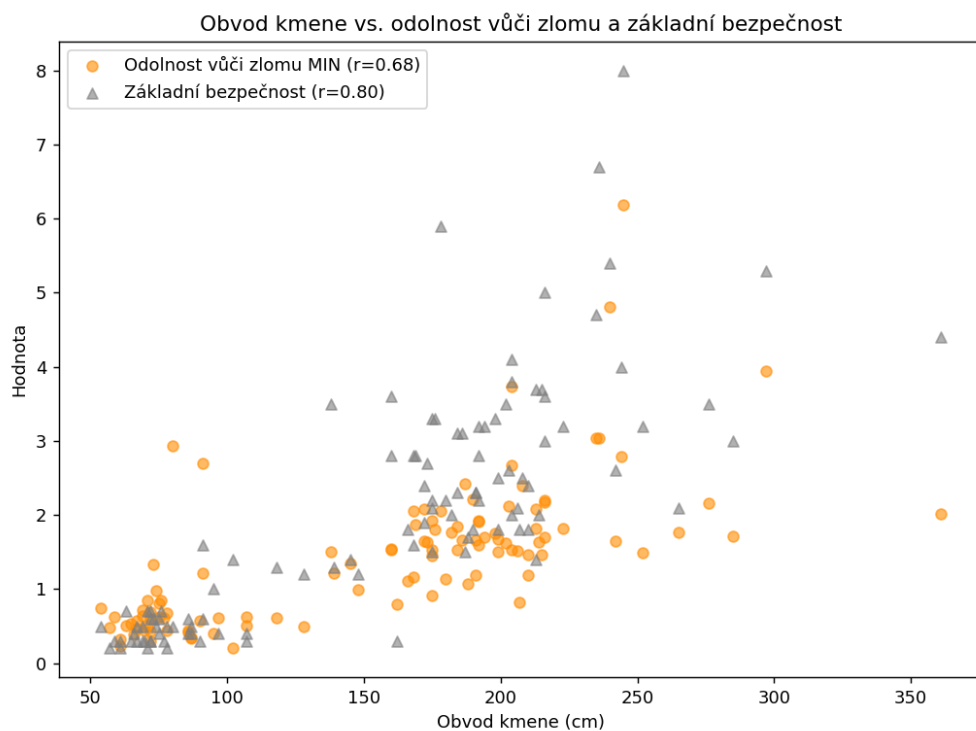
kovací stání v ul. Jagellonská), pro potřeby projektu je soubor dat dostačující. Data byla dále doplněna o měření z ulice Masarykovy v Liberci a další dostupná měření v uličních stromořadích. Tato data zahrnují spíše větší stromy, než původní.

Je zřejmé, že stromy v uličních stromořadích mají zhoršenou stabilitu. Omezení prostoru pro tvorbu kořenového systému vede k omezení pevnosti a tuhosti ukotvení a zvýšení nebezpečí vývratu. K tomu dále přispívá přeštíhlení stromů, způsobené preferencí výškového růstu v relativně temném prostředí ulic s vysokou zástavbou; to nutí stromy preferovat fototropní růst, růst do výšky, oproti tloušťnutí a stabilizaci.

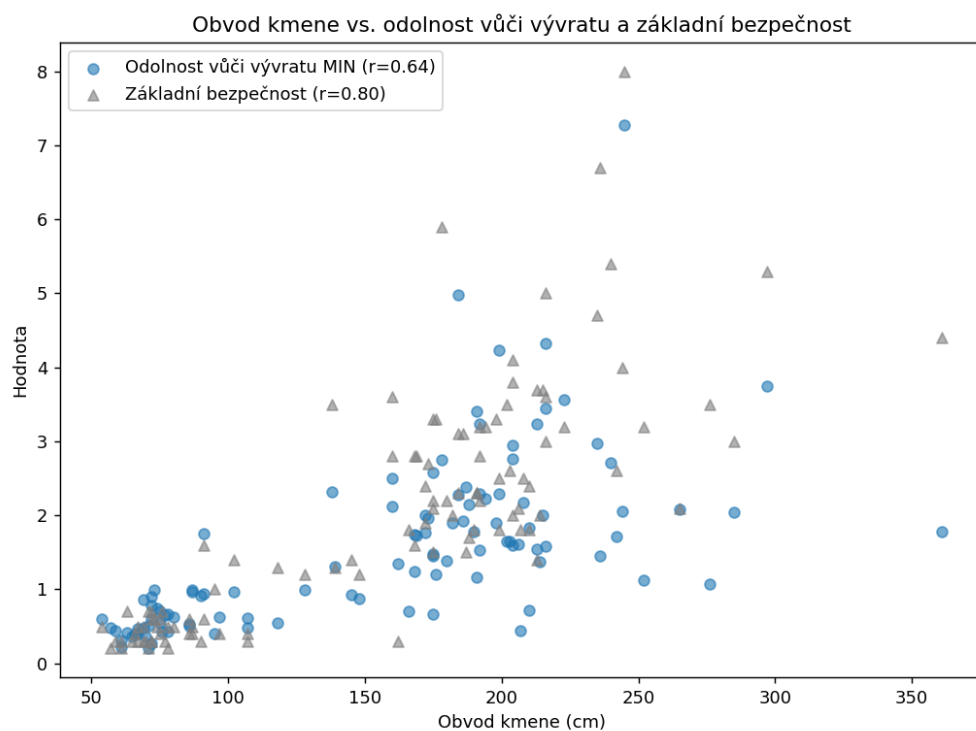
Vliv omezení prokořenitelného prostoru je patrný na všech naměřených vzorcích. V databázi jsou dvě základní skupiny stromů, mladší výsadby v Praze, druhů *Robinia pseudoacacia*, *Gleditsia triacanthos* a *Acer platanoides* (skupina A), a dále velký vzorek *Tilia cordata* a *Tilia × euchlora* v Liberci, a malý vzorek stromů v uličních stromořadích v Olomouci, na ulici Vinohradské v Praze a v Kamenici, druhu *Fraxinus excelsior* a *Tilia × euchlora* (skupina B). Je zajímavé, že u obou skupin výška samotná statisticky významně neovlivňuje možnost vývratu, další dendrometrické parametry pak ano, zejména obvod kmene, nejvyšší průkaznost vykazuje u obou skupin štíhlostní koeficient 0,62 a 0,33). Dále měl statisticky průkazný vliv druh stromu. Zde se domníváme, že jde spíše o artefakt, neboť skupiny druhů stromů jsou silně provázané s velikostí stromů.



Obr. 49: Vztah mezi pravděpodobností vývratu a zlomu a obvodem kmene



Obr. 50: Porovnání reálných bezpečnostních faktorů (oranžové tečky) a základní hodnoty bezpečnosti (šedé trojúhelníky)



Obr. 51: Porovnání reálných bezpečnostních faktorů (modré tečky) a základní hodnoty bezpečnosti (šedé trojúhelníky)

Pro zpřesnění výpovědi je dobré data o bezpečnostních faktorech porovnat s parametrem Základní hodnota stability. Ten představuje teoretickou hodnotu nenarušeného stromu a je vodítkem pro odhad narušení stromů (viz Obr. 51 a 50).

Jak je vidět na grafech, vliv na zlom kmene není u průměru příliš velký, ale u možnosti vývratu ano a měřené stromy dosahují horších výsledků než vyjadřuje potenciální Základní hodnota stability. Omezený prokořenitelný prostor má tedy průkazný negativní vliv na stabilitu stromů.

Co se týče porovnání naměřených hodnot stability s teoretickou Základní hodnotou stability, pak lze konstatovat, že základní bezpečnost úzce koreluje s oběma odolnostmi ($r = 0,75$ s vývratem, $r = 0,80$ se zlomem), ale není s nimi totožná. Je statisticky významně a systematicky vyšší než obě odolnosti — nejvýrazněji vůči Odolnosti vůči zlomu (průměrný rozdíl $+0,56$, efekt střední až velké velikosti). Rozdíl s rostoucí hodnotou narůstá (proporční, nikoli konstantní posun), a u vyšších hodnot odolnosti je rozdíl oproti Základní bezpečnosti větší.

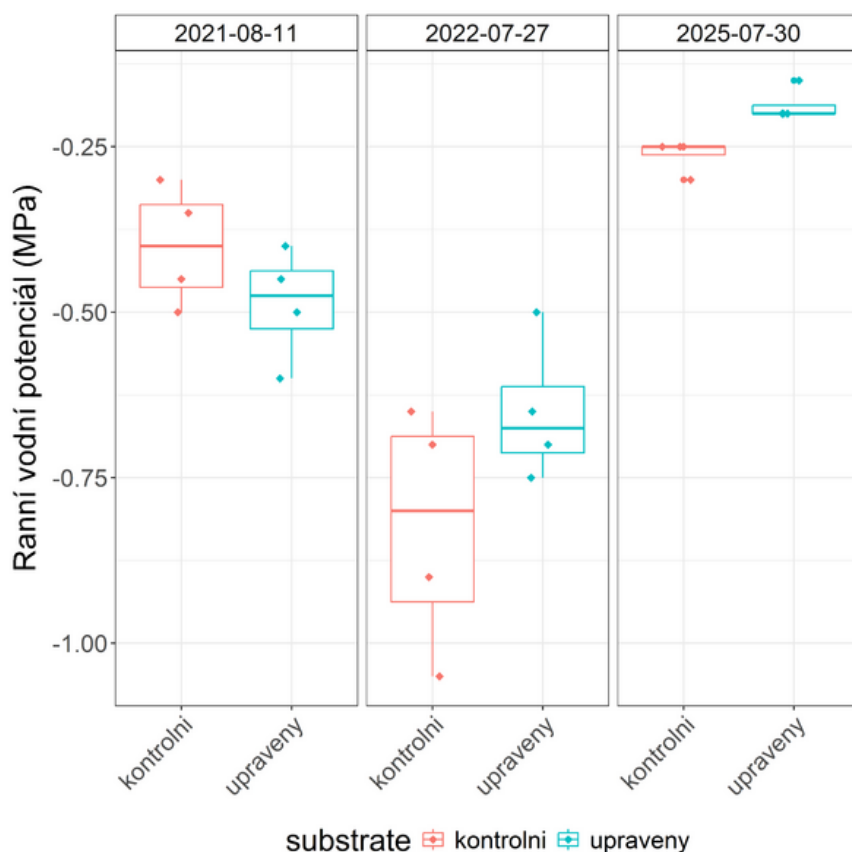
Průběh řešení - fyziologická měření

Souběžně proběhlo pilotní fyziologické měření na stromech (břestovec, ul. Lužická) se zlepšeným prokořenitelným prostorem oproti kontrolním jedincům v původní zhutněné půdě. Měřili jsme efekt úpravy stanoviště na klíčové fyziologické parametry břestovců: vodní potenciál listů, který jsme měřili pomocí Scholanderovy tlakové komory (PMS 1000, PMS Instrument Company, Albany, OR, USA), na rychlost fotosyntézy a průduchové vodivosti aj. na listech světlem saturovaných (při intenzitě fotosynteticky aktivní radiace $1500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) přístrojem LiCor LI-6800 (LiCor, Lincoln, Nebraska, USA) a spektrální reflektanci Polypenem (Polypen RP 410 UVIS, PSI, Drásov, Česká republika). Zároveň bylo obnoveno měření přírůstu bodovými dendrometry.

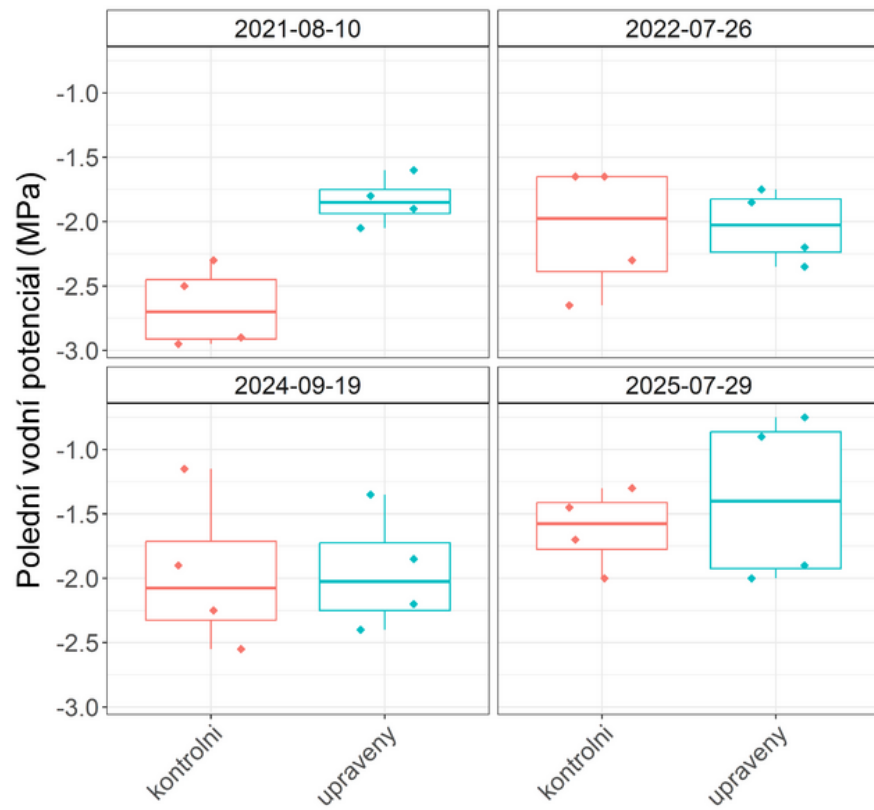
Stromy rostoucí v modifikovaném prokořenitelném prostoru dosahovaly o 50 % vyšší rychlosti fotosyntézy a výrazně vyšší průduchové vodivosti ve srovnání s kontrolními jedinci v původní, zhutněné půdě. Vysoká míra otevřenosti průduchů u těchto stromů indikuje stabilnější vodní status a vyšší retenční kapacitu nového substrátu, který dřevinám umožňuje udržet transpiraci a fotosyntézu i v období deficitu srážek. Podobné hodnoty vodního potenciálu kolem -2 MPa naznačují, že tato hodnota bude kritickou hranicí pro uzavírání průduchů. Pokles pod -2 MPa v prvním roce po úpravě prokořenitelného prostoru ukazuje, že právě v kritických obdobích letního sucha, může transpirace rychle vyčerpat dostupnou vodu z kořenové zóny stromů s malým prokořenitelným prostorem vyplněným zhutněnou půdou. V tuto chvíli se úprava prokořenitelného prostoru ukázala jako významné opatření proti poškození stromů vodním stresem. Důležitým zjištěním je, že efektivita využití vody (WUE – Water Use Efficiency) zůstala u obou variant relativně vysoká a nezměněná. To naznačuje, že zvýšený výpar vody (transpirace) u prosperujících stromů je proporcionálně vyvážen fixací uhlíku. Z pohledu ekosystémových služeb tak tyto stromy plní dvě funkce současně: efektivně ochlazují okolí (latentní teplo výparu) a zároveň

maximalizují sekvestraci uhlíku. Vyšší průduchová vodivost však v městském prostředí představuje i potenciální riziko v podobě zvýšeného příjmu fytotoxického přízemního ozónu, což vyžaduje dlouhodobý monitoring zdravotního stavu.

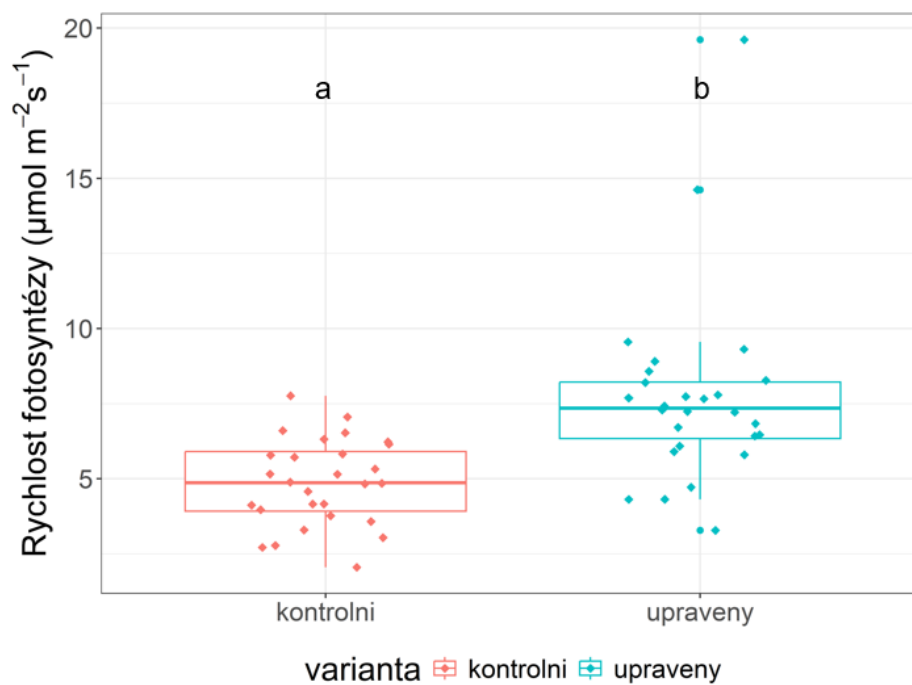
Naměřená data ukazují, že vyšší výkon fotosyntézy není dán pouze dostupností vody. Rozdíly mezi variantami byly patrné již v primárních (světelných) procesech fotosyntézy, tedy nezávisle na koncentraci oxidu uhličitého v intercelulárních listu. Vyšší rychlost transportu elektronů ve světelné fázi přímo souvisí s lepší minerální výživou, kterou poskytuje upravený substrát. Dostatek živin (zejména dusíku a hořčíku) umožnil stromům v upraveném prostoru investovat do výstavby robustnějšího palisádového parenchymu a efektivnějších světlosběrných komplexů. Tato strukturní adaptace je podpořena výsledky spektrální reflektance. Index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dosahující hodnot nad 0,66 u obou variant sice naznačuje jen mírné poškození listového aparátu, avšak podobnost indexu PRI (Photochemical Reflectance Index) u obou skupin přináší zásadní informaci o povaze stresu. Shodný PRI naznačuje, že snížená efektivita fotosyntézy u kontrolních stromů není důsledkem akutního stresu řešeného aktivací xantofylového cyklu, ale jde o dlouhodobý, chronický stav, kterému se listy strukturně přizpůsobily snížením celkové metabolické kapacity.



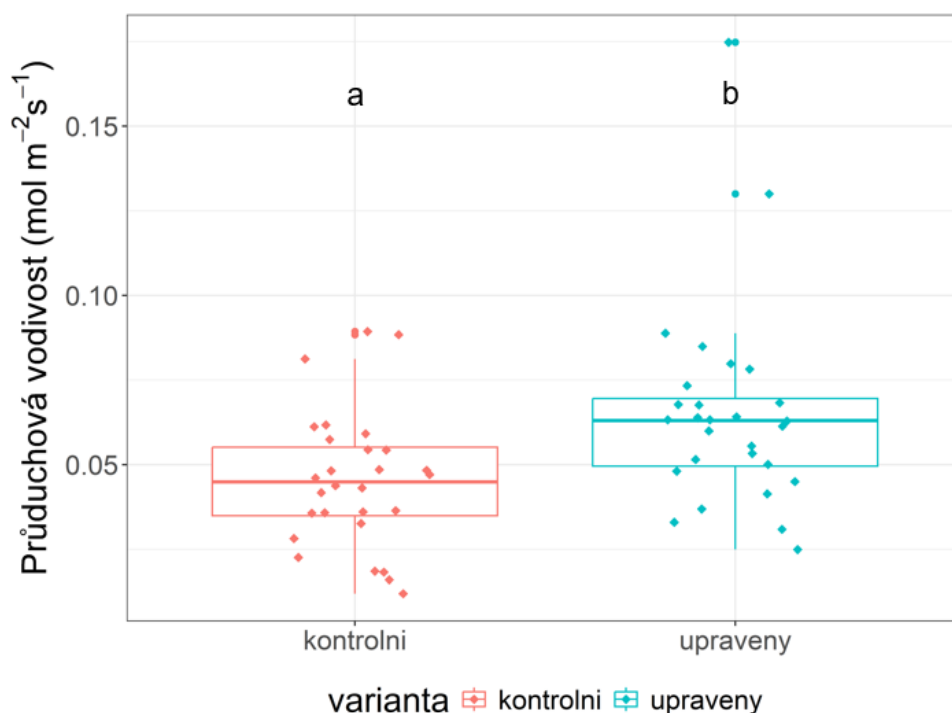
Obr. 52: Lužická, ranní vodní potenciál



Obr. 53: Lužická, polední vodní potenciál.



Obr. 54: Lužická, rychlost fotosyntézy



Obr. 55: Lužická, průduchová vodivost

5 PŘEHLED DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ PROJEKTU V1-V4

ID / druh	Název výsledku	Termín	Stav
V1 Vsouhrn -	Závěrečná zpráva projektu	06/2026	Zpracována a odevzdána
V2 Gfunk -	Strukturální substrát pro pěstování stromů v prostoru městské ulice	05/2026	Receptura stanovena, proběhlo polní testování a instalace v podmínkách města, výsledky prezentovány na workshopu Modrozelená (leden 2026).
V3 - S (data-báze)	Databáze výsadeb s využitím strukturálních substrátů	04/2026	Metodika a datový model hotové, GIS databáze v Esri spuštěna ve veřejně dostupné verzi Root Space GIS
V4 - Fuzit	Technologie vrstev pro infiltraci a akumulaci srážkové vody v prostoru stromové mísy	06/2026	Užitný vzor č. 39376 Konstrukční skladba povrchu stromové mísy zajišťující infiltraci a retenci vody a ochranu před zhuštění udělen 05/2026. Proběhlo testování v podmínkách města.

Dále byl v lednu 2026 realizován workshop „Root Space CZ“ jako součást konference Modrozelená (partneři SZKT, CzWA, MHMP) s prezentací předběžných výsledků všech čtyř WP – v šabloně veden jako Další výstup projektu.

6 PERSONÁLNÍ A NÁKLADOVÉ POZNÁMKY (SPOLEČNÉ PRO OBĚ SLEDOVANÁ OBDOBÍ)

Řešitelský tým

V řešitelském týmu nedošlo za sledované období 2024–2026 k žádným změnám. Pozice techniků, původně plánované pro pracovníky mimo LDF MENDELU, nebyly na počátku projektu obsazeny z důvodu jejich nedostupnosti; od ledna 2025 je zastávají zkušení pracovníci Ústavu nauky o dřevě a dřevařských technologiích LDF MENDELU. Do projektu byli dále zapojeni doktorandi LDF MENDELU formou stipendií, zejména na fyziologická měření.

Dvojitý financování a střet zájmů

U žádného účastníka projektu nedochází v žádném ze sledovaných let k dvojímu financování ani ke střetu zájmů.

Vybrané položky nákladů

2024: pořízení vah pro polní a laboratorní vážení substrátů, sady měřicích zařízení půdních a klimatických parametrů (instalace posunuta na 1. čtvrtletí 2025 z důvodu dodacích lhůt), založení pokusů WP 3, lyzimetrů (dodání se zpožděním, instalace přesunuta na rok 2025), žlábkového vrtáku, čtecího a záznamového zařízení a bodových dendrometrů TOMST (25 ks).

2025: náklady na workshop „Root Space CZ“ v rámci konference Modrozelená, dendrometry TOMST pro plochu Tismice a ul. Lužická, materiál pro čidla transpiračního proudu, použití technologie Air Spade pro odkryvy kořenů, stromolezecké práce při tahových zkouškách, doplnění pokusu WP3 o připojená povodí, založení pokusu kořenových cest WP2, laboratorní rozborů půd a substrátů (laboratoř Morava) a opravy/seřízení měřicích přístrojů (TreeQinetic, Resistograph IML FS-400).

2026: pořízení sestavy čidel (EMS) pro monitoring růstu stromů na ploše Praha-Letná, pořízení dvouválcového infiltrometru

7 DISEMINACE A PUBLICITA

Hlavním výstupem diseminace byl odborný workshop **Root Space CZ** (leden 2026), konaný v rámci konference Modrozelená. Celkem se konference zúčastnilo 176 posluchačů. Výsledky byly prezentovány klíčovými aktéry: TSK Praha, municipalitním správám (Praha, Brno, Most, Jihlava) a projekčním kancelářím.

odborná konference
MODROZELENÁ

15. - 16. 1. 2026
Praha, SOS Jarov

Centrum modrozeleňé infrastruktury (CMZI) vás zve na odbornou konferenci Modrozeleňá. Spojení modré a zelené do modrozeleňé infrastruktury je jednodušší proklamat než skutečně realizovat. Cesta k funkční oborové spolupráci je systematická a dlouhodobá činnost kterou se Centrum modrozeleňé infrastruktury zabývá již pět let. Na konferenci Modrozeleňá vám chceme představit dílo výsledky práce našeho mezzoborového týmu a prezentovat metodické i praktické výstupy, které můžete sami využít.

T A Projekt SS07020299 Nástroje pro podporu plnění ekosystémových služeb stromů a zvyšování odolnosti stávajících výsadeb je spolufinancován se státní podporou
Č R Technologické agentury ČR v rámci Programu Prostředí pro život.

Přednášky 1. den

Význam modrozeleňé infrastruktury pro adaptaci měst na klimatickou změnu
Mgr. Tereza Libová

Centrum MZI - platforma která propojuje odborníky
David Hora, DiS.

Městský standard stromořadí a jeho systémová implementace
Ing. Josef Souček

Plnění očekávaných ekosystémových služeb stromů
Ing. Josef Souček, David Hora, DiS.

Půdní podmínky vegetačních pásů a způsoby jejich zlepšení
Ing. Aleš Kučera, Ph.D.

Partneři konference

STRATEGIE ADAPTACE
Hradská univerzita v Brně
SZKT
CZWA

Velikost prokořenitelného prostoru a vztah k ploše připojeného povodí
Mgr. Alena Klimešová, Ing. Marie Matoušková, Ph.D.

Modrozeleňá infrastruktura v širších souvislostech
Ing. Jiří Víttek

Význam stromových mís pro povrchovou retenci srážkové vody
doc. Ing. David Stránský, Ph.D.

Jaký má být povrch stromových mís?
Ing. Petr Skřivánek

Klimatické stromy pro Prahu – unikátní projekt pro rozšíření druhové diversity
Mgr. Jan Richter, Ing. Josef Souček

Jak používat aktualizovanou ČSN 03 9061 Ochrana stromů a vegetačních ploch?
Ing. Alexandra Koutná

Přednášky 2. den

Povýšovací stres u sazenic stromů standardních velikostí
David Hora, DiS.

Kontrola kvality školkařských výpěstků – zkušenosti s aplikací manuálu
Ing. Kristýna Hujerová

Květináčový efekt stromů v uličních stromořadích – vliv prokořenitelného prostoru na stabilitu stromů
Ing. Luděk Praus, Ph.D.

Obrubníkové propustky a stromové míře pro MZI „na míru“
Mgr. Laura Kopecká, Lenka Stávková

Pěstební cíle uličních stromořadí – systémový nástroj pro GIS prostředí
Bc. Vladimír Mášlko, David Hora, DiS.

Testování strukturálních substrátů
Ing. Aleš Kučera, Ph.D.

Součástí konference je:

- Společenský večer s rautovým občerstvením
- Root Space CZ - prezentace výsledků projektu "Nástroje pro podporu plnění ekosystémových služeb stromů a zvyšování odolnosti stávajících výsadeb".

Pořádá Centrum modrozeleňé infrastruktury. Registrace na www.cmzi.cz. Výtěžek ze vstupného bude použit na další výzkumné projekty Centra MZI.

Partneři konference

STRATEGIE ADAPTACE
Hradská univerzita v Brně
SZKT
CZWA

Obr. 56: Upoutávka na konferenci Modrozeleňá s workshopem Root Space CZ

Odbornými partnery konference byly: Město Praha, Společnost pro zahradní a krajinářskou tvorbu a Česká asociace pro vodu. Díky těmto odborným partnerům se podařilo velmi rychle rozšířit výsledky projektu Treesilience mezi odbornou veřejnost.

Projekt byl dále propagován při dílčích prezentacích k tvorbě ČSN 83 9061, tvorbě městských standardů uličních stromořadí, při specializovaných přednáškách členů autorského týmu (např. Substráty a půdní podmínky v urbanizovaném prostředí, D.Hora, Příbram 30.10.2025) a prostřednictvím odborných článků v periodikách zaměřených na zahradní a krajinovou tvorbu.

8 NAPLNĚNÍ PROGRAMU PROSTŘEDÍ PRO ŽIVOT

Projekt se zaměřuje na jednu ze základních složek modro-zelené infrastruktury, tj. stromy v městském prostředí, které zajišťují významné ekosystémové služby a napomáhají s mitigací klimatických změn. Problematika městských stromů je v ČR specifická s ohledem na stárnoucí populaci stávajících stromů s dlouhou periodou bez systematické údržby a s rozsáhlými zásahy v kořenovém prostoru. Cílem projektu bylo navrhnout standardizované technologické postupy pro úpravu prokořenitelného prostoru s přístupem srážkové vody pro stávající i nově vysazované dřeviny tak, aby se zvýšila jejich odolnost v měnícím se klimatu měst. Projekt naplňuje prioritní výzkumné cíle 3.4 (omezení negativních dopadů extrémních teplot, větru a srážek) a dále 2.1, 2.2 a 2.4 využíváním odpadů při tvorbě substrátů.

Projekt TREESILIENCE naplnil cíle ve všech čtyřech pracovních balíčcích a přinesl řadu poznatků, které obstojí i mimo akademický kontext. Za nejvýznamnější

zjištění lze označit potvrzení rizika, že stromy rostoucí v omezeném prokořenitelném prostoru městských ulic vykazují průkazně horší mechanickou stabilitu i fyziologický stav než jedinci s dostatečným kořenovým prostorem – tahové zkoušky i fyziologická měření (např. V ulici Lužická o 50 % vyšší fotosyntéza u stromů se zlepšeným prostorem) tento vztah doložily konzistentně napříč lokalitami. Stejně tak se podařilo prokázat, že velikost připojeného povodí dokáže alespoň částečně kompenzovat menší objem prokořenitelného prostoru – poznatek s přímým dopadem na to, jak se budou nově vysazované stromy v ulicích navrhovat. Tyto závěry navíc rychle prošly z roviny výzkumu do praxe: promítly se do aktualizace normy ČSN 83 9061 i do Městského standardu stromořadí 2.0 a receptura krycí vrstvy stromové mísy dospěla až k udělenému užitému vzoru.

Za zmínku stojí i to, že se rozsah experimentální práce oproti původnímu plánu rozšířil – díky aktivitě týmu a navázané spolupráci s Magistrátem hl. m. Prahy přibyla v roce 2026 nová testovací plocha na Letenské pláni, kde bylo poprvé možné ověřit kombinaci strukturálního substrátu a užitého vzoru povrchu v reálném provozu najednou, což původní návrh projektu nepředpokládal. Samotná závěrečná zpráva se do tohoto výčtu nepočítá jako další „výsledek“ – jejím smyslem je nashromážděné poznatky přehledně shrnout a zpřístupnit tak, aby posloužily správcům zeleně, projektantům i navazujícímu výzkumu jako spolehlivý a dobře podložený zdroj informací.

Projekt TREESILIENCE zásadně ovlivnil normotvorný proces v ČR:

- **ČSN 83 9061:** Implementace dat o ochraně kořenových zón a vlivu zhutnění konstrukčních vrstev.
- **Městský standard pro stromořadí 2.0:** Přímé využití receptur WP1 a výpočtů WP3 v závazných technologických předpisech měst (Praha, Brno, Most).

Výsledky projektu poskytují exaktní nástroje pro zvýšení odolnosti městské vegetace, hospodaření s dešťovou vodou (HDV) a mitigaci efektu městského tepelného ostrova prostřednictvím vitálních a stabilních stromů

9 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Projekt TREESILIENCE prokázal, že stávající praxe správy městské zeleně vyžaduje zásadní revizi.

Revize limitů standardů: Analýza pražských vegetačních pásů (2024) ukázala, že **ani jeden odebraný vzorek nesplnil všechna kritéria aktuálních optimálních norem** (vysoká alkalizace pH > 8, deficit organické hmoty). Doporučujeme přechod od definice "optimálních" k "přípustným" limitům, které reflektují realitu antropogenních půd. Revize limitů byla provedena v příloze ČSN 83

9061.

Povinnost připojeného povodí: Vzhledem k prokázané schopnosti 20 m² povodí kompenzovat deficit prokořenitelného prostoru musí být integrace srážkového odtoku prioritou při rekonstrukcích ulic s hustou sítí inženýrských sítí.

Materiálová selekce: Striktně doporučujeme eliminaci vápencových složek v krycích směsích a jejich nahrazení chemicky stabilním porfyrem nebo čedičem v kombinaci s dřevním biouhlem pro eliminaci sekundární alkalizace rhizosféry. Standard 2.0 adoptovaný v Praze, Brně a Mostu představuje klíčový nástroj pro dosažení těchto cílů.

Podpora rozvoje používání strukturálních substrátů: Publikace funkčního vzorku strukturálního substrátu s jasně definovanými vlastnostmi a jeho dlouhodobý monitoring z hlediska schopnosti vázat vodu a podporovat růst stromů rozptyluje řadu subjektivních obav z jeho používání na přič odbornou praxí.

Nutnost revize SPPK AOPK ČR (Standard A02 007): Aktualizace metodiky úpravy stanovištních poměrů s využitím poznatků o disociační kinetice hornin a sorpci biouhlu. Zapracovat nové poznatky k technologiím zlepšení stanovištních podmínek.

Text závěrečné zprávy je licencován pod veřejnou licencí Creative Commons Attribution 4.0 International License, CC-BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

