ZELENÁ INFRASTRUKTURA PRO MĚSTA

EUROPEAN UNION
European Regional Development Fund

UIA URBAN INNOVATIVE ACTIONS

ISBN 978-80-88399-02-5 (online: pdf)
ISBN 978-80-88399-01-8 (brožováno)

European Union
European Regional Development Fund

UIA URBAN INNOVATIVE ACTIONS

CLAIRO INOVATIVNÍ VÝSADBA STROMŮ V OSTRAVĚ

OSTRAVA!!!

Autorský kolektiv: Doc. Ing. Miloš Zapletal, Dr., Mgr. Vít Kašpar, Ing. Pavel Samec, Ph.D., Mgr. Jiří Bílek, Ph.D., Mgr. Karel Doležal, Dr., DSc., Bc. Pavlína Víchová, Ing. Tomáš Balcar, Mgr. Gabriela Kalužová, Ing. Stanislav Juráň, Ph.D., RNDr. Jan Hladík, Ph.D.

Grafická úprava a ilustrace: MgA. Anna Janovská, MgA. Aleš Zapletal, Ph.D.

Vydalo: Statutární město Ostrava / Odbor strategického rozvoje, 2021

Řešitelé projektu Clairo - Clean Air and Climate Adaptation in Ostrava and Other cities: Statutární město Ostrava, Moravskoslezský kraj, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Slezská univerzita v Opavě, Univerzita Palackého v Olomouci, Regionální sdružení územní spolupráce Těšínské Slezsko, SOBIC Smart & Open Base for innovations in European Cities.

Tento projekt je spolufinancován z Evropského fondu pro regionální rozvoj prostřednictvím iniciativy Urban Innovative Actions.

OBSAH

Shrnutí **8**

1. Úvod **10**
Město jako místo k životu 11
Zelená infrastruktura v mětském prostředí 14
Služby poskytované zelenou infrastrukturou 16
Kvalita městského ovzduší a vliv na lidské zdraví 17
Význam zelené infrastruktury v ochraně lidského zdraví 21

2. Principy výsadby zelené infrastruktury **24**
Monitoring záchytu škodlivin 25
Druhové složení 27
Struktura a kompozice 29
Hnojení a ošetření 31

3. Případová studie **33**
Situace v Moravskoslezském kraji 34
Lokality Bartovice a Radvanice 36
Měření imisní zátěže a informační systém 39
Výsadba zeleně v navržené struktuře 42
Posílení odolnosti rostlin 47
Modelování záchytu znečištění 48
Přenos know-how a veřejné průzkumy 57

Závěr **59**
Literatura 60
Obrazový materiál 66

SHRNUTÍ

1) Zelená infrastruktura přispívá v městském prostředí ke zlepšení stavu ovzduší odstraňováním suspendovaných částic a jiných polutantů záchytem na povrchu listů a jehlic. Část zachycených polutantů se může přes listové průduchy infiltrovat do mezibuněčných prostorů, většina však zůstává zachována na povrchu listů, odkud mohou být následně resuspendovány do atmosféry nebo vymyty srážkami.

2) Důležitými aspekty kvalitní a efektivní zelené infrastruktury při záchytu suspendovaných částic (PM_x), přízemního ozonu (O_3) a oxidů dusíku (NO_x) jsou jak samotné vlastnosti rostlinných orgánů a jejich uspořádání, tak i celková struktura porostu, jeho výška a hustota zápoje.

Obecně platí, že čím větší povrch zelené hmoty na jednotku plochy, tím vyšší odstraňování znečištění ovzduší. Vzrostlé porosty s hustým několikapatrovým zápojem jsou tak oproti nízké vegetaci, tvořené jen bylinným patrem, výrazně účinnější. Pro kontinuitu celoročního záchytu je vhodná příměs jehličnatých neopadavých druhů dřevin nebo stálezelených keřů.

3) Při výsadbě zelené infrastruktury v průmyslových oblastech se zvýšenými koncentracemi látek znečišťujících ovzduší je nutné upřednostnit druhy se zvýšenou odolností vůči znečištění ovzduší. Zejména při vysokých koncentracích přízemního ozonu je nutné vybírat druhy rezistentní vůči tomuto druhu znečištění.

4) Použití ekologicky šetrných hnojiv obsahujících biostimulanty a fytohormony, které pomáhají rostlinám překonat abiotických stres, může zajistit dlouhodobou životaschopnost stávající i nově vysázené zelené infrastruktury i v silně znečištěném prostředí okolí průmyslových oblastí.

Zelená infrastruktura s lepším zdravotním stavem může lépe fotosyntetizovat, vytvářet hustou a kvalitní listovou plochu a nakonec i efektivněji zachytávat polutanty z ovzduší a zlepšovat kvalitu místního ovzduší.

5) Pro monitoring efektu působení zelené infrastruktury na lokální stav kvality ovzduší je vhodné umístit v blízkém okolí senzorovou techniku. Ta je kvůli jednoduché instalaci a provozu vhodným doplňkovým měřením, které zároveň dokáže odhalit i “nestandardní” situace, včetně času konkrétních událostí.

1. ÚVOD

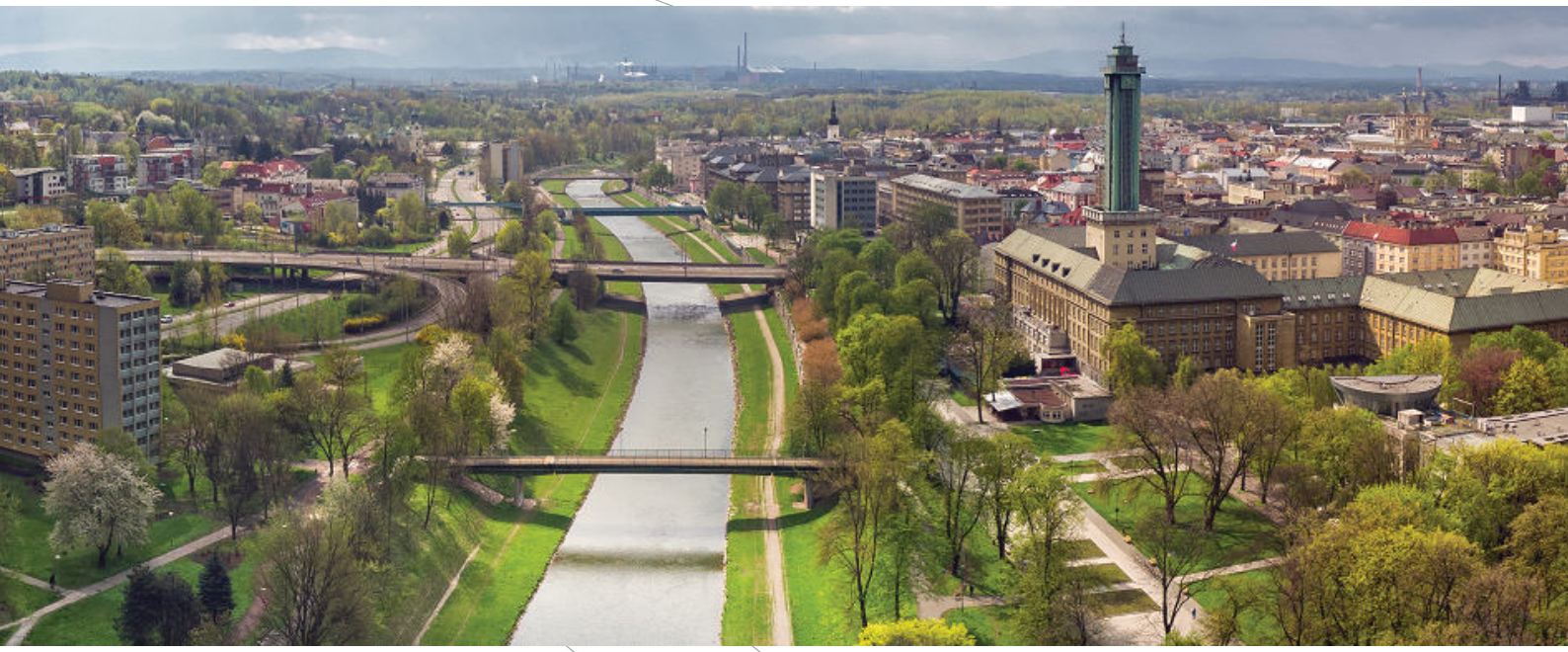
MĚSTO JAKO MÍSTO K ŽIVOTU

Město je místem života a setkávání lidí. V současnosti žije více než polovina světové populace ve městech a odhaduje se, že do roku 2030 bude pro tři pětiny lidí město domovem (Fuller a Gaston 2009; Smith a Guarnizo 2009).

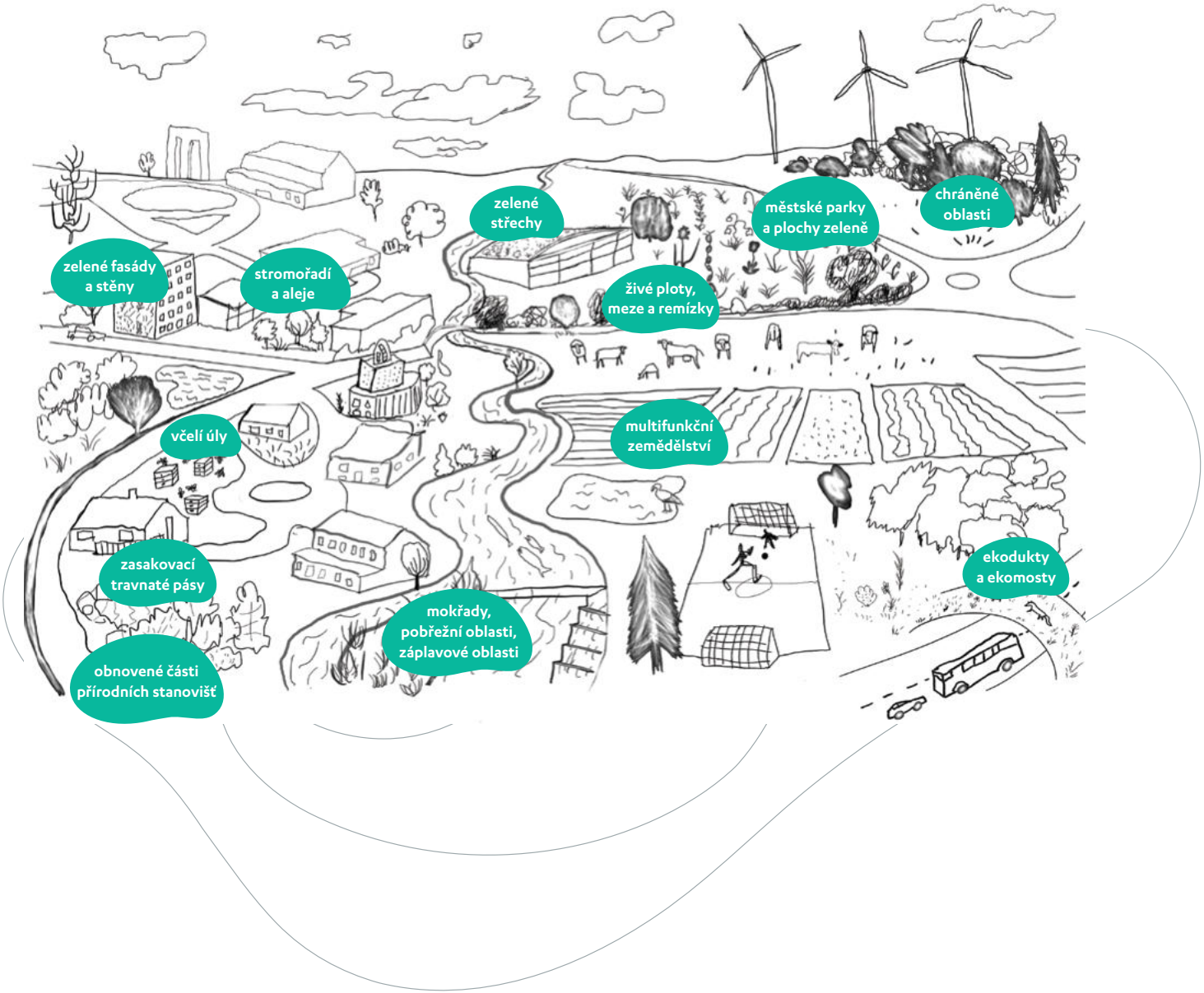
V Česku je míra urbanizace dokonce ještě vyšší. Více než 73 % obyvatel Česka (přes 7 milionů) žije v městských oblastech (ČSÚ 2018). Značná část je přitom koncentrována v malých či středních městech do 50 tisíc obyvatel (přes 42 %).

Zatímco města nás spojují, jejich rychlý a nebývalý růst přinesl vážné výzvy. Rozvoj měst napomohl ke zhoršení životního prostředí, ztrátě přirozených stanovišť a poklesu biologické rozmanitosti, či zvýšenému riziku pro lidské zdraví spojené s přehříváním, hlukem a znečištěním ovzduší.

Lze navíc očekávat, že vlivem klimatické změny budou dopady degradace životního prostředí ještě zásadnější. A proto vyvstává zásadní potřeba najít způsoby, jak snížit zdravotní rizika a maximalizovat příležitosti pro kvalitní a zdravý život ve stále se rozrůstajících městských prostředích.



ZELENÁ INFRASTRUKTURA V MĚSTSKÉM PROSTŘEDÍ



SLOŽKY ZELENÉ INFRASTRUKTURY

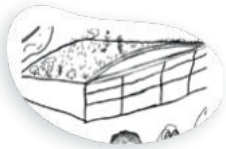
Chráněné oblasti, např. lokality soustavy Natura 2000 a maloplošná chráněná území.

Zdravé a kvalitní ekosystémy a oblasti s vysokou přírodní hodnotou mimo chráněné oblasti, jako např. záplavové oblasti, mokřady, pobřežní oblasti, přirozené lesní porosty atd.

Přirozené krajinné prvky, jako např. malé vodní toky, lesní pozemky, živé ploty, které mohou volně žijícím zvířatům sloužit jako ekologické koridory nebo nášlapné kameny.

Obnovené části přírodních stanovišť, které byly vytvořeny pro konkrétní druhy, např. za účelem rozšíření velikosti chráněné oblasti, zvětšení oblasti k hledání potravy, rozmnožování a odpočinku těchto druhů a za účelem usnadnění jejich migrování/rozšíření.

Uměle vytvořené prvky, např. ekodukty nebo ekomosty, které mají druhům usnadnit zdolávání nepřekonatelných krajinných bariér.



Multifunkční oblasti, v nichž se upřednostňuje využívání půdy způsobem, který pomáhá udržovat nebo obnovovat zdravé, biologicky rozmanité ekosystémy před jinými činnostmi, které jsou s těmito cíli neslučitelné.

Krajinné prvky, které přispívají k přizpůsobení se změně klimatu nebo jejímu zmírňování, jako např. mokřiny, lužní a rašelinné lesy – pro předcházení povodním, zadržování vody a přijímání CO_2 a které poskytují prostor k tomu, aby mohly druhy reagovat na měnící se klimatické podmínky.

Potenciální adaptační opatření pro lepší život v městském prostředí nabízí zelená infrastruktura. Obecně se chápe jako síť fyzických, přírodě blízkých prvků, která poskytuje společnosti ekologické, ekonomické a sociální výhody a podporuje blahobyt člověka a kvalitu jeho života. V městských oblastech může být zelená infrastruktura tvořena zelenými a modrými plochami, jako jsou parky, pouliční stromy, řeky a zelené střechy. Tyto přírodní a polopřirozené oblasti jsou strategicky plánovány a řízeny tak, aby poskytovaly celou řadu ekosystémových služeb.

SLUŽBY POSKYTOVANÉ ZELENOU INFRASTRUKTUROU

– Zdraví obyvatel: spolu se zlepšováním kvality ovzduší, filtrací škodlivých látek, vytvářením kyslíku a pohlcováním hluku, napomáhá zelená infrastruktura předcházet řadě onemocnění i tím, že vybízí obyvatele k fyzické aktivitě. Obyvatelé zelených měst častěji sportují a využívají různé formy udržitelné dopravy.

– Odolnost měst: díky zelené infrastruktuře se mohou města lépe adaptovat na změnu klimatu a s ní související nárůst četnosti a intenzity teplotních extrémů, které ovlivní zdraví citlivých skupin obyvatel. Zároveň lze díky zelené infrastruktuře předcházet erozi půdy, zadržovat vodu v krajině nebo snižovat spotřebu elektrické energie.

– Zvyšování biodiverzity: zelená infrastruktura napomáhá zachování a rozvoji počtu druhů živočichů a rostlin žijících ve městech. Obyvatelé měst biodiverzitu oceňují, zároveň vzbuzuje zájem o životní prostředí a veřejný prostor.

– Kvalita života obyvatel: množství zeleně je jedním z indikátorů kvality života. V zelených městech jsou lidé aktivnější a spokojenější, zeleň funguje také jako prevence psychických onemocnění.

– Redukce stresu: zelená infrastruktura pomáhá se zlepšováním soustředění, paměti, schopnosti učení i zklidněním nebo zotavováním se z nemoci.

– Atraktivita prostředí: zelená města přitahují skupiny obyvatel, které jsou často aktivnější, podnikavější, vzdělanější, zajímají se o veřejný prostor a dění.

– Růst ekonomiky: zelená infrastruktura vytváří nová pracovní místa, zvyšuje hodnotu bydlení a pozemků. Zelená města jsou atraktivnější pro investory.

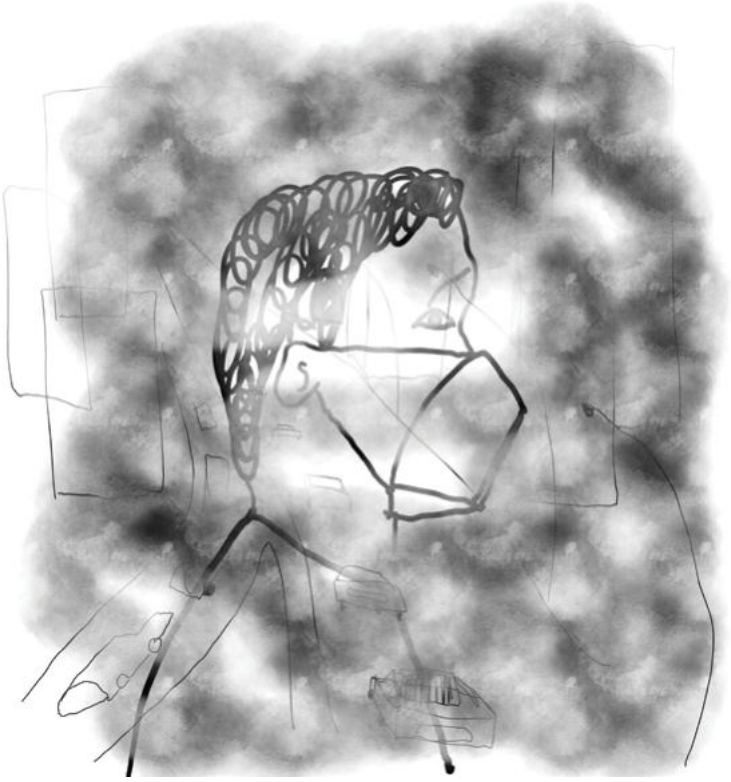
– Posilování komunit: zelená místa vyzývají k setkávání obyvatel. Projekty jako komunitní zahrady nebo společné výsadby podporují sousedské vztahy. V zelených městech je pozorována nižší míra kriminality.

KVALITA MĚSTSKÉHO OVZDUŠÍ A VLIV NA LIDSKÉ ZDRAVÍ

Znečištění ovzduší si můžeme představit jako hustou směs z chemikálií, molekul a pevných částic, kterou většina z nás denně dýchá. Oproti dospělým lidem novorozeňata a kojenci dýchají větší množství této směsi, jelikož se oproti dospělému člověku nadechují častěji. Mezi nejvíce zasažené skupiny obyvatel kvalitou ovzduší tak patří naše děti během jejich nejzranitelnější fáze vývoje (Landrigan et al. 1998).

Mezi běžné látky znečišťující ovzduší patří suspendované částice prachu (PM_x), oxid siřičitý (SO_2), přízemní (troposférický) ozon (O_3), oxidy dusíku (NO_x) a oxid uhelnatý (CO). V roce 2005 žilo 89 % světové populace v oblastech, kde byla překročena směrnice Světové zdravotnické organizace pro kvalitu ovzduší alespoň u jedné z těchto látek (Brauer et al. 2012).

Různé látky znečišťující ovzduší mají různé nepříznivé účinky na zdraví. Hrubé částice (PM_{10}) jsou emitovány z domácích zdrojů tepla a elektráren, zatímco jemné částice ($PM_{2,5}$) pochází zejména z automobilů, komunálních služeb a spalování dřeva a organického materiálu (Shah a Balkhair 2011). Světová zdravotnická organizace odhaduje, že suspendované částice přispívají k přibližně 800 000 předčasných úmrtí každý rok a 6,4 mil. ztracených let zdravého života (Brauer et al. 2012).



ZDRAVOTNÍ DOPADY

Akutní projevy – kašel, akutní respirační onemocnění, dráždění sliznic, zhoršení stávajících onemocnění dýchacích cest a kardiovaskulárních onemocnění, zvýšení hospitalizací a úmrtnosti.

Chronické projevy – nemoci dýchacího (zánět průdušek, plic) a oběhového systému, předčasná úmrtí, pokles plicních funkcí, alergie, astma.

Možné karcinogenní a mutagenní účinky – – nádorová onemocnění, vývojové vady.

VÝZNAM ZELENÉ INFRASTRUKTURY V OCHRANĚ LIDSKÉHO ZDRAVÍ

Jedním z významných benefitů zelené infrastruktury je její pozitivní vliv na lidské zdraví a celkový blahobyt. Zelená infrastruktura nám poskytuje prostor pro odpočinek, rekreaci a prostředí k pohybovým aktivitám, což má kladný vliv na naše fyzické i duševní zdraví (van den Berg 2015). Dostupná zeleň v blízkosti rezidenčních čtvrtí má přímou souvislost s nižší mírou obezity místní populace (Sakar 2017) a nižší mírou úmrtnosti z důvodů kardiovaskulárních onemocnění (Gascon et al. 2016).

Zásadní význam zelené infrastruktury z pohledu lidského zdraví je její funkce ovlivňovat lokální mikroklimatické podmínky a zlepšovat kvalitu ovzduší. Mechanismus odstraňování suspendovaných částic a jiných polutantů z ovzduší je primárně prostřednictvím záchytu na povrchu listů (Cavanagh et al. 2006). Množství sedimentovaných částic přitom mj. závisí na velikosti, resp. hmotnosti suspendovaných částic a rychlosti proudění (Janhäll 2015). Po sedimentaci na listech se mohou jemné částice menší než 1 μm dále infiltrovat přes listové průduchy do mezibuněčných prostorů, kde mohou být dále absorbovány. Podobný princip absorpce platí například pro molekuly troposférického ozonu. Větší částice však po záchytu zůstávají na povrchu vegetace, odkud mohou být následně resuspendovány do atmosféry, vymyty srážkami nebo deponovány na zem při opadu olistění (Nowak et al. 2006).

Kromě toho ovlivňuje zelená infrastruktura koncentraci suspendovaných částic v ovzduší i nepřímo změnou meteorologických podmínek. Hlavním mechanismem je zejména snížení rychlosti proudění vzduchu. Vegetace slouží jako efektivní větrolam, kdy na závětrné straně dochází kvůli poklesu rychlosti proudění k depozici suspendovaných částic na zem a celkovému snížení jejich koncentrace v ovzduší. Významný efekt mohou představovat i zelené stěny výškových budov (Pugh et al. 2012).

Vegetace dále modifikuje i místní tepelné podmínky. Lokální snížení denních teplot je dáno zejména omezeným množstvím procházejícího slunečního záření skrz korunový zápoj a zvýšenou evapotranspirací. Teploty vzduchu jsou přitom prekurzorem vzniku mnoha polutantů. Lokální snížení teploty vzduchu má tedy částečně vliv i na snížení koncentrace polutantů v ovzduší.

V neposlední řadě přispívá zelená infrastruktura k lepšímu lidskému zdraví prostřednictví snižování stresu a hlukové zátěže (Al-Dabbous a Kumar 2014).

Výsadba zeleně přispívá k omezování šíření hluku tím, že absorbuje či rozptyluje zvuk (ten Brink et al. 2016). Prostory se zelení jsou také významným místem společenských akcí a aktivit, čímž podněcují sociální interakce a soudržnost komunit s prokázaným vlivem na duševní zdraví člověka (Dzhambrov et al. 2018).

JAK ZELENÁ INFRASTRUKTURA ZLEPŠUJE KVALITU OVZDUŠÍ?

PŘÍMO

- Prostřednictvím vegetačního krytu odstraňuje vzdušné polutanty.
- Záchytem suspendovaných částic (PM_1, $PM_{2,5}$, PM_{10}) na povrchu listů a jehlic.
- Prostřednictvím průchodů dochází k absorbci molekul (O_3,NO_2).

NEPŘÍMO

- Zvýšením vlhkosti vzduchu a poklesem teploty přispívá k redukci fotochemických reakcí vedoucích k tvorbě ozonu.
- Vytváří překážku proudění vzduchu. Při poklesu rychlosti větru dochází k depozici suspendovaných částic.

2. PRINCIPY VÝSADBY ZELENÉ INFRASTRUKTURY

MONITORING ZÁCHYTU ŠKODLIVIN

V současnosti je monitoring kvality ovzduší v Česku zajištěn národní monitorovací sítí ČHMÚ, sítí hygienické služby a Zdravotního ústavu a dalšími stanicemi pořizovanými průmyslovými podniky nebo samotnými městy. Celkem se jedná o zhruba 150 stanic. Rozložení stanic je dostačující pro sledování regionálních odlišností v kvalitě ovzduší, často však nedokáže postihnout procesy a podmínky v lokálním měřítku. Při výsadbě zelené infrastruktury v městském prostředí je však nutné reflektovat i imisní a meteorologické podmínky v daném místě, jelikož citlivost jednotlivých druhů rostlin na koncentrace polutantů se výrazně liší. Proto je vhodné doplnit stávající síť dostupnou a na provoz nenáročnou senzorovou technikou, instalovanou ideálně v bezprostřední blízkosti samotné plánované výsadby. Dlouhodobý a kontinuální monitoring navíc umožní sledovat a vyhodnotit efekt záchytu škodlivin jak stávající, tak i v budoucnu vysázené zeleně.

– Senzory jsou vhodným doplňkovým měřením stávající sítě.

– Senzory jsou vhodné pro posouzení záchytu škodlivin zelenou infrastrukturou.

– Senzory jsou nákladově mnohonásobně levnější než stacionární monitorovací systémy.

– Senzory dokážou odhalit "nestandardní" situace v lokalitě a odhalí čas konkrétních událostí.

– Senzory by měly zaznamenávat nejen imisní koncentrace jednotlivých škodlivin (PM_x, NO_x, O_3 aj.), ale i meteorologické podmínky, které se spolupodílejí na efektivitě záchytu.

– Senzory mají jednoduchou instalaci a téměř bezobslužný provoz.

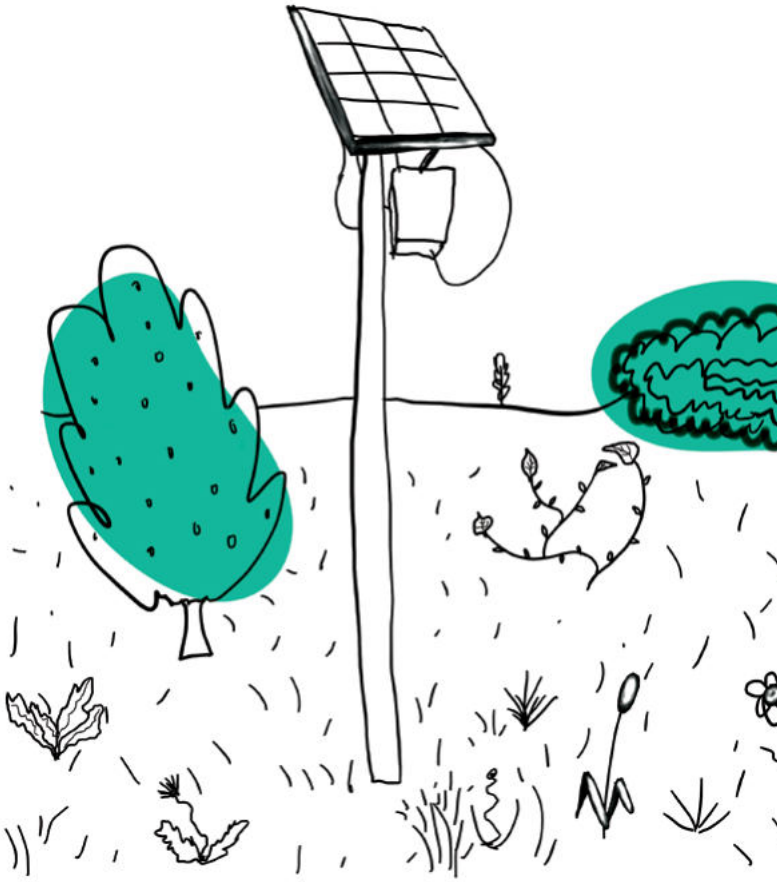
– Senzory mohou být nezávislé na zdroji energie díky připojení k solárnímu panelu.

– Senzory se liší od sebe v kusech a je nutné je vzájemně kalibrovat.

– Data ze senzorů mohou být přenášeny v reálném čase do on-line systému, který slouží k rychlé vizualizaci a jejich vyhodnocení.

– V případě bezdrátového přenosu dat pomocí mobilní datové sítě (GPRS) se však zvyšuje cena senzorů.

– Vyhodnocená data získaná z měřících senzorů by měla být reflektována při návrhu skladby a rozmístění místní zelené infrastruktury.



DRUHOVÉ SLOŽENÍ

Důležitým faktorem kvalitní a z pohledu záchytu škodlivin z ovzduší účinné zelené infrastruktury je její druhové složení. Výběr druhů zeleně by měl zejména reflektovat místní topografické, půdní a klimatické podmínky na daném stanovišti. Upřednostněny by měly být zejména původní druhy.

Výběr konkrétních druhů by měl dbát i na citlivost navrhované zeleně vůči samotnému znečištění ovzduší v daném místě a měl by tak vycházet z monitoringu imisní zátěže. Zásadní jsou přitom koncentrace troposférického ozonu, oxidu siřičitého a oxidů dusíku. V případě troposférického ozonu lze říci, že listnaté dřeviny jsou obecně více citlivé než dřeviny jehličnaté (Novotný et al. 2009). Při experimentálních pozorováních byla prokázána relativně vysoká citlivost u třešně (Schaub et al. 2005), břízy (Pääkkönen et al. 1998), olše a topolů (Skärby et al. 1998). Z jehličnatých dřevin se mezi citlivé druhy řadí borovice kleč.

Dalším kritériem je samotná efektivita záchytu, která je podmíněna zejména rozsahem listové plochy, na které probíhá filtrace ovzduší. Upřednostněny by měly být tedy druhy s hustě větvenou korunou a velkým objemem zelené hmoty. Obecně se předpokládá vyšší záchyt suspendovaných částic u jehličnatých druhů než u listnatých (Tallis et al. 2011; Tiwary et al. 2009). Důležitým aspektem je přitom opadavost listnatých druhů, která při bezlistém období výrazně limituje záchyt škodlivin. Naproti tomu jehličnaté neopadavé druhy mohou zachytávat znečištění celoročně. Experimentálně byly prokázány vyšší záchyty PM_{10} u druhů borovice černá, borovice lesní, tis červený, bříza bělokorá. Nižší záchyty se předpokládají u druhů javor mléč, třešeň ptačí nebo lípa malolistá (Sæbø et al. 2012).

Efektivita záchytu se však pravděpodobně liší podle konkrétní látky znečištění. V případě troposférického ozonu některé studie poukazují na vyšší efektivitu listnatých odrůd před jehličnatými (Alonso et al. 2011). Můžeme tedy předpokládat, že pro efektivnější záchyt širšího rozsahu znečišťujících látek je vhodná kombinace více druhů jak listnatých, tak jehličnatých rostlin při celkově vyšší druhové rozmanitosti. Ta navíc zvyšuje i odolnost vůči sezónním a klimatickým výkyvům.

VYBRANÉ DRUHY DŘEVIN S VYŠŠÍ ODOLNOSTÍ PROTI ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ A ÚČINNĚJŠÍM ZÁCHYTEM POLUTANTŮ

Název latinsky	**Aparát**	**Georeliéf**	**Podnebí**	**Citlivost na kyselou depozici**	**Citlivost na O_3**	**Schopnost záchytu prachových částic**
Pinus nigra	stálezelený	horský	subtropické	odolný	snášenlivý	vysoká
Picea abies	stálezelený	horský	boreální	citlivý	odolný	střední
Abies alba	stálezelený	vrchovinný	mírné	snášenlivý	odolný	střední
Quercus robur	opadavý	nížinný	mírné	odolný	odolný	střední
Quercus petraea	opadavý	pahorkatinný	mírné	odolný	odolný	vysoká
Malus sylvestris	opadavý	pahorkatinný	mírné	odolný	odolný	střední
Ulmus minor	opadavý	nížinný	submediteránní	snášenlivý	snášenlivý	vysoká
Cornus sanguinea	opadavý	pahorkatinný	mírné	snášenlivý	odolný	střední
Populus tremula	opadavý	pahorkatinný	mírné	odolný	odolný	střední
Prunus avium	opadavý	pahorkatinný	mírné	odolný	odolný	střední
Juglans regia	opadavý	vrchovinný	subtropické	odolný	snášenlivý	střední

Malus sylvestris
jabloň lesní

Picea abies
smrk ztepilý

Pinus nigra
borovice černá

Populus tremula
topol osika

Quercus robur
dub letní

Ulmus minor
jilm habrolistý

Celá databáze rostlin je k náhledu na webovém portálu: www.clairo.ostrava.cz.

STRUKTURA A KOMPOZICE

Dalším důležitým aspektem zelené infrastruktury při snižování znečištění ovzduší je její struktura a kompozice. Roli přitom sehrává již samotný tvar a rozložení listů nebo jehlic, tak jako drsnost na jejich povrchu (Florentina a Io 2012). Suspendované částice se účinněji zachycují na lepkavých listech s trichomy či s jinak členitějším povrchem a profilovanou žilnatinou. Naopak méně efektivní jsou listy s hladkým povrchem a výraznější kutikulou.

Rozhodující nejsou pouze vlastnosti rostlinných orgánů a jejich uspořádání, ale i celková struktura porostu, jako výška a hustota zápoje, tvar koruny a prostorové uspořádání větvení (Litschke a Kuttler 2008). Například kulovitá koruna je účinnější než jehlancovitá.

Obecně platí, že čím větší povrch zelené hmoty na jednotku plochy, tím vyšší záchyt polutantů. V důsledku toho jsou vzrostlé dřeviny s hustým několikapatrovým zápojem oproti nízké vegetaci, tvořené jen bylinným patrem, výrazně účinnější (Lovett 1994; Powe a Willis 2004; Nowak a Greenfield 2012). Ideální kompozicí je tak kombinace více pater s dřevinami doplněných keřových patrem v podrostu.

Při snaze o maximalizaci zápoje by parametry kompozice druhového složení měly brát zřetel na ekologické vazby jednotlivých druhů a jejich nároky na dané stanoviště. Druhová skladba dřevin by měla být prostorově rozmístěna tak, aby korespondovala s postavením druhů v přirozeném společenstvu. Jednotlivé druhové směsi by měly být růstově a nárokově kompatibilní. Jednotlivá patra by si neměla konkurovat růstem a agresivitou a druhy v podrostu by měly snášet zastínění.

VLASTNOSTI ZELENÉ INFRASTRUKTURY

1. MIKROSKOPICKÉ

– Tvar a rozložení listů (jehlic).

– Drsnost povrchu listů.

2. MAKROSKOPICKÉ

– Celková struktura porostu.

– Výška.

– Hustota zápoje.

– Prostorové uspořádání větvení.

HNOJENÍ A OŠETŘENÍ

Nejen samotná druhová skladba, struktura a kompozice zelené infrastruktury rozhoduje o efektivitě záchytu škodlivin z ovzduší. Pro trvalé zachování funkcí zelené infrastruktury je nutné i její další opečovávání. Stromy a keře v lepším zdravotním stavu totiž budou lépe fotosyntetizovat, tvořit hustší a kvalitnější listovou plochu, a to následně pozitivně ovlivní záchyt škodlivin z ovzduší.

Běžně se městská zeleň ošetřuje komerčními anorganickými hnojivy. Použití ekologicky šetrných produktů na bázi "chytrých hnojiv" obsahujících biostimulanty a fytohormony, které pomáhají rostlinám překonat různé formy abiotického stresu, však může být inovativním řešením nejen pro stávající zelenou infrastrukturu v městském prostředí, ale také například pro ošetření nové výsadby zeleně na lokalitách vystavených kombinaci různých forem abiotického stresu.

Při výsadbě navrhujeme jednorázově použít TS HG Plant nebo podobný přípravek obsahující huminové kyseliny, protistresové látky a výtažky z mořských řas. Inovativně je však možné doplnit o aplikaci aktivní látky, cytokininového derivátu RR-D.

Navržený ošetřující přípravek obsahuje optimální směs biostimulantů s vysokým obsahem aminokyselin, protistresových látek a výtažku z mořských řas omezující případné negativní vlivy vnějšího prostředí, zejména při vysychání nebo výrazných výkyvech teplot. Hnojivo je přitom možno aplikovat na jakoukoliv výsadbu v jakémkoliv městě.

Rostlinné hormony (fytohormony) jsou látky, které mají zásadní postavení v regulaci růstu a vývoje rostlin. Vyskytují se přirozeně a působí v nepatrných koncentracích, tvoří se v určitých částech rostliny, odkud jsou lýkovou částí cévního svazku transportovány na místo určení, kde vyvolávají fyziologickou odezvu. Funkce fytohormonů je nespecifická, jeden hormon může ovlivňovat více procesů. Fytohormony se využívají jako růstové regulátory v rostlinné výrobě a rostlinných biotechnologiích; ve vysokých koncentracích působí jako herbicidy k hubení plevelů.

Biostimulanty jsou biologicky aktivní látky získané z přírodních nebo z odpadních materiálů. Mohou podpořit růst rostlin a/nebo posílit obranyschopnost rostlin vůči různým stresovým faktorům. Zvláštnost biostimulantů spočívá v tom, že neobsahují vysoké procento aktivních látek, takže nemohou být považovány za typická hnojiva ani za prostředky na ochranu rostlin. Typické pro biostimulanty je, že aktivní složky v nich obsažené ovlivňují metabolismus rostliny a spouští v rostlině procesy, které obecně zlepšují její růst a zdravotní stav.

3. PŘÍPADOVÁ STUDIE

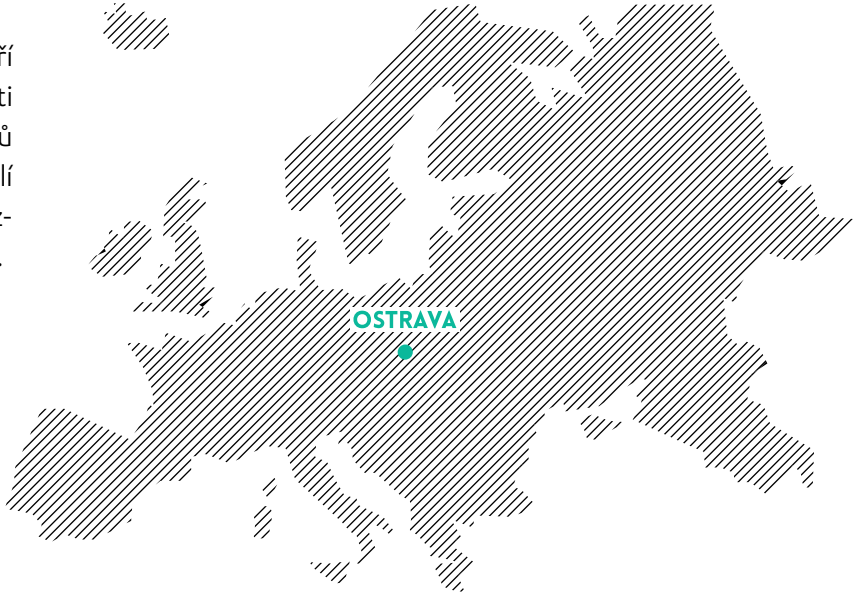
VÝSADBA ZELENÉ INFRASTRUKTURY V BLÍZKOSTI PRŮMYSLOVÉHO OBJEKTU PŘÍPADOVÁ STUDIE V OSTRAVĚ BARTOVICÍCH A RADVANICÍCH

– SITUACE V MORAVSKOSLEZSKÉM KRAJI

Moravskoslezský kraj patří dlouhodobě mezi oblasti se zhoršenou kvalitou ovzduší, a to v celoevropském kontextu. Podle výsledků uvedených v databázi ISKO ČHMÚ (ČHMÚ 2019) pro řízení kvality ovzduší docházelo v roce 2018 k překročení hodnoty ročního imisního limitu suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ na většině monitorovacích stanic v Ostravě.

Hlavními zdroji znečištění ovzduší v Ostravě jsou stacionární zdroje (hutní výroba a výroba energie), zdroje vytápění domácností a doprava. V případě Ostravy je čtvrtým hlavním faktorem přeshraniční znečištění z nedaleké průmyslové aglomerace Katowice (Polsko). Situaci v Ostravě zhoršují místní klimatické a aktuální meteorologické podmínky – konkrétně výskyt relativně dlouhých období bez větru, které vedou k zdlouhavým inverzím v zimních měsících, které zvyšují koncentrace znečišťující látky bez ohledu na pokles emisí.

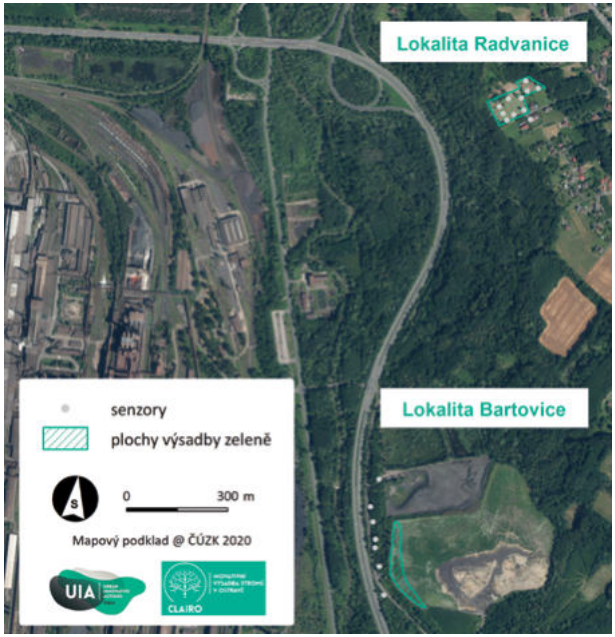
Mezi zvlášť imisně zatížené oblasti patří jihovýchodní část Ostravy v souvislosti s kumulací velkých průmyslových zdrojů a lokálního vytápění. Zároveň tvar údolí při řece Ostravici podmiňuje při bezvětrném počasí omezený rozptyl emisí.



LOKALITY BARTOVICE A RADVANICE

Řešené území případové studie se nachází na dvou vybraných lokalitách v katastrálních územích městských částí Radvanice a Bartovice. Lokality jsou charakteristické výrazným ovlivněním emisemi z blízkého průmyslového areálu v Ostravě-Kunčicích.

Na nedaleké stanici Zdravotního ústavu byla v roce 2018 naměřena průměrná roční koncentrace PM_{10} 44 µg/m^3 (110 % limitu) a stanice se tak umístila na 1. místě v přehledu stanic s překročením platného limitu. U $PM_{2.5}$ byla naměřena průměrná roční koncentrace 36,8 µg/m^3 (148 % limitu). Denní limit byl tak na stanici překročen 89x (ČHMÚ 2019).



Přehledová mapka zájmových lokalit případové studie a širšího okolí. V západní části je vidět průmyslový objekt v Ostravě-Kunčicích.

LOKALITA RADVANICE

Lokalita Radvanice je vymezena na 1,04 ha a zahrnuje kombinaci trvalého travního porostu a roztroušených, solitérně rostoucích stromů a keřů nebo jejich menších shluků. Do okrajů řešeného území zasahují stávající lesní porosty. Území je vlhčí, což se odráží ve výskytu vlhkomilných druhů dřevin především v okolních porostech. Jedná se například o vrby, olše.

Současná vegetace v lokalitě Radvanice před výsadbou navrhované zeleně (stav k roku 2019).

LOKALITA BARTOVICE

Lokalita v Bartovicích je představována západním až jihozápadním okrajem deponia průmyslových odpadů. Na tomto řešeném území se v současné době nenachází žádné technické ani vegetační prvky. Jedná se tedy o naprosto prázdnou plochu. V těsné blízkosti východně od řešeného území jsou již realizovány nové výsadby dřevinných vegetačních prvků, západně vede polní cesta. Celková rozloha v Bartovicích dosahuje 0,73 ha.

MĚŘENÍ IMISNÍ ZÁTĚŽE A INFORMAČNÍ SYSTÉM

V zájmových lokalitách je pro účely monitoringu imisního zatížení umístěno celkem 19 senzorových jednotek a jeden referenční systém. Senzory byly instalovány již před výsadbou zeleně, tak aby mohla být vyhodnocena efektivita záchytu znečištění nově vysázenou zelenou infrastrukturou. Předpokládá se kontinuální měření po dalších minimálně 8 let, tak aby mohl být zhodnocen i vývoj v čase s rozvojem zelené hmoty a zapojenosti porostu.

Senzorová jednotka je zařízení složené z měřící části o rozměrech 300 x 400 x 220 mm a solárního panelu o rozměrech 620 x 670 mm. Každý senzor je alternativně nezávislý na zdroji energie, obsahuje baterii, připojení k solárnímu panelu i připojení na síť 220V. Zařízení jsou instalována na kovové trubky do výšky asi 4 metrů.

Při použití výsledků měření je nutné vzít v úvahu účel měření a charakter použité metodiky a uvědomit si, že monitoring neslouží ke kontrole limitů, nýbrž k vzájemnému porovnávání a informaci o prostorovém rozmístění koncentrací znečišťujících látek.

Dosavadní výsledky indikují velmi dobrý soulad s referenčními stanicemi u PM_x, které jsou nejzávažnější škodlivinou, a menší shodu u NO_x a O_3.

Senzorické jednotky jsou zapojeny do jedné společné sítě a poskytují on-line data bezdrátovým přenosem. Přenosy dat jsou realizovány do stávajícího inteligentního informačního systému, který umožňuje:

- sběr krátkodobých koncentrací ze senzorů
- ukládat přenesená data do speciálně strukturované databáze
- provádět jejich automatickou kontrolu
- provádět validaci v návaznosti na referenční měření
- provádět manuální hodnocení validity dat
- vytvářet mapy koncentrací pro jednotlivé škodliviny
- provádět výpočet modelu na základě měřených meteorologických ukazatelů (rychlost a směr větru)
- spouštět animované sekvence pro různé intervaly (hodina, den, měsíc)
- automaticky označovat v tabulkách koncentrací místo a čas „nestandartní“ koncentrace
- vytvářet export dat pro jednotlivé body sítě IIS do tabulek
- ukládat data i mapy do přehledného archivu.

PARAMETRY SENZORŮ

- variabilní napájení (ze sítě, baterie, nebo solárního panelu), všechny uvedené varianty
- odolné proti povětrnostním vlivům; celý systém koncipován robustně
- komunikace se serverem přes rádiovou síť
- rozsahy použitelnosti senzorů pro imisní měření

Senzory NO_2

- Princip měření: elektrochemický senzor
- Minimální rozsah: 0–250 ppb
- Detekční limit: ≤20 ppb
- Časové rozlišení (frekvence poskytování naměřených dat): ≤1 min

Senzory O_3

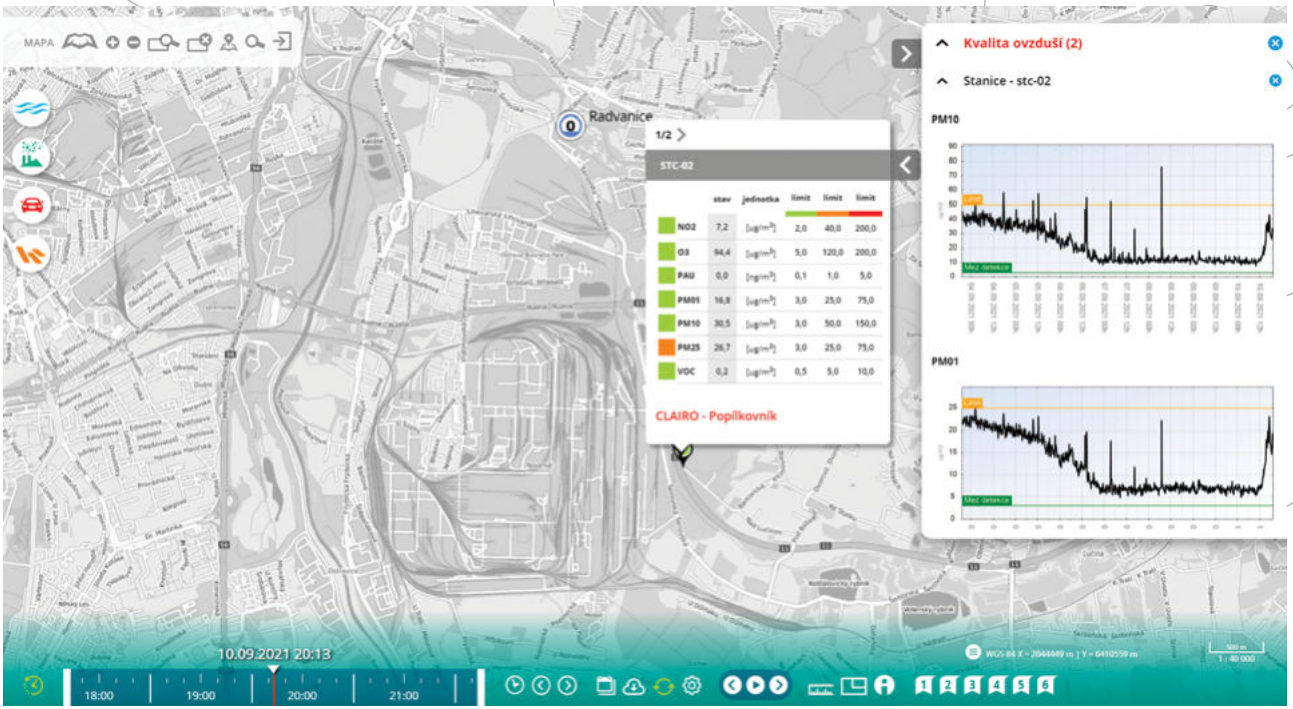
- Princip měření: elektrochemický senzor
- Minimální rozsah: 0–5000 ppb
- Detekční limit: ≤40 ppb
- Časové rozlišení (frekvence poskytování naměřených dat): ≤1 min

Senzory PM_x

- Princip měření: optický
- Velikostní rozsah měřených částic: 0,38 – 10 µm
- Minimální počet velikostních kanálů: 8
- Minimální rozsah měření hmotnostní koncentrace: 0 – 500 $\mu g/m^3$
- Detekční limit: ≤1 $\mu g/m^3$

Senzory VOC

- Princip měření: fotoionizační detektor (PID)
- Měřené látky: suma VOC
- Minimální rozsah: 0–16 ppm
- Detekční limit (pro isobutylen): ≤10 ppb



Náhled do webové aplikace mapového portálu informačního systému.

Data jsou k náhledu na webovém mapovém portálu: **www.floreon.eu** nebo **www.airsens.eu**

VÝSADBA ZELENĚ V NAVRŽENÉ STRUKTUŘE

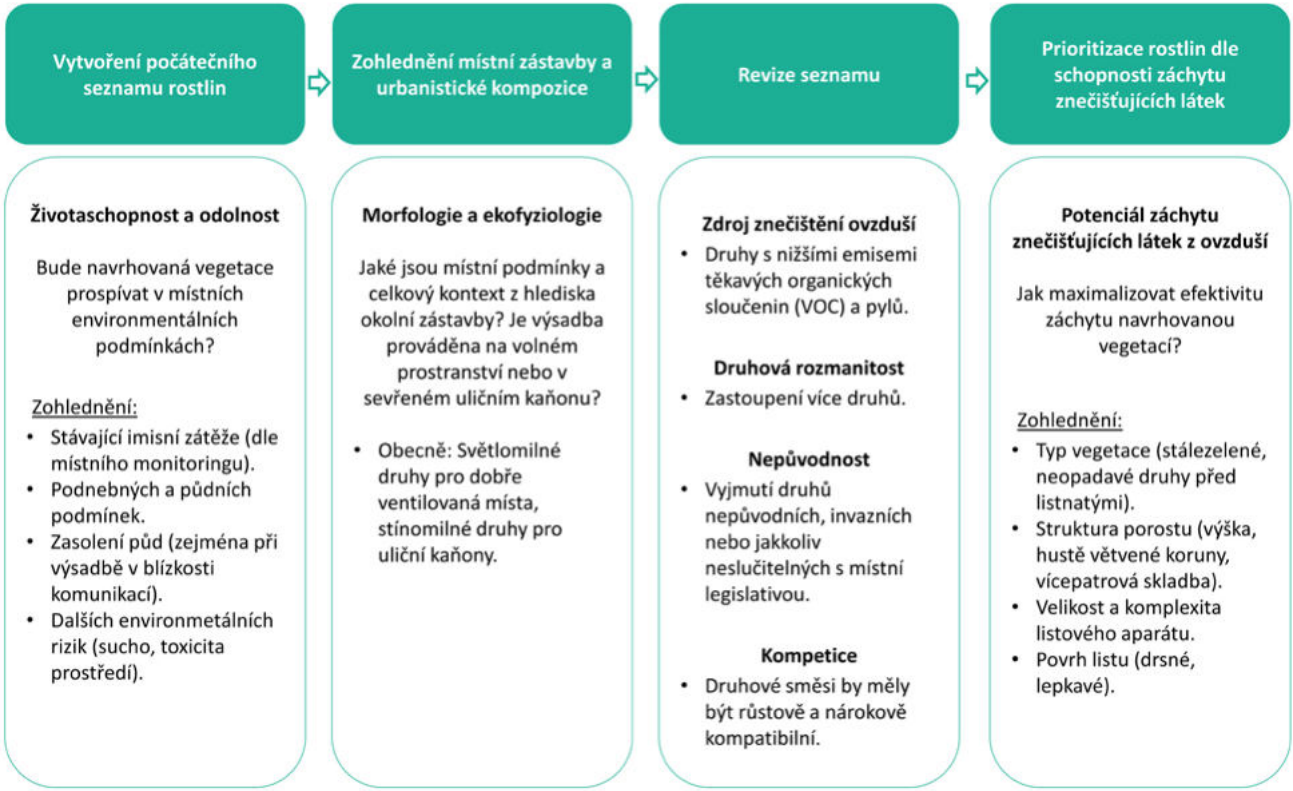
Stěžejním záměrem případové studie je srovnání imisní zátěže výchozího stavu bez dostatečně funkční zelené infrastruktury se změnou po dosažení růstově vyrovnaných stádiích v několika variantách druhové směsi a struktury.

Plán výsadby dřevin na lokalitě Radvanice je situován do zachovaných stanovištních podmínek typických pro širší region Ostravské pánve, kde navrhovaná skladba porostů sestává z geograficky původních druhů.

Oproti tomu navrhovaná výsadba na lokalitě Bartovice je umístěna na silně antropogenně ovlivněných půdách z odpadových hmot, kde navrhovaná skladba porostů je založena na srovnání směsí nepůvodních odolných druhů a druhů pionýrských.

Postup návrhu struktury zeleně zahrnuje kritéria sadebního materiálu, alelopatie a doplňování kultur. Při výběru byly zohledněny tyto principy:

- Sadební materiál je vysazován v podobě charakterizované územně příslušnými normami. K výsadbě jsou využívány výpěstky s balem.
- Preferovány jsou nešlechtěné formy rostlin s výjimkou experimentu srovnávajícího původní a nepůvodní rostlinné formy. Domácí rostlinné druhy jsou výhradně vybírány z geograficky původních nešlechtěných populací pro zachování genofondu. Šlechtěné formy jsou přípustné pouze v případě nedostupnosti nešlechtěných forem u navržených nepůvodních druhů.
- Upřednostnění sadebního materiálu pěstovaného ve stanovištně odpovídajících podmínkách. Přenos reprodukčního materiálu je přípustný jen v souladu s mezinárodním právem nebo národními zákony.
- Rozlišení stromových pater a keřového patra. Stromová patra jsou rozdělena na hlavní úroveň a podúroveň.
- Upřednostnění druhů se zvýšenou odolností vůči znečištění ovzduší. Odolnost dřevin byla zjednodušena na klasifikaci míry snášenlivosti zátěže depozicí síry a dusíku, troposférického ozonu a pevných prachových částic.



Schématický postup při vytváření plánu navrhované zeleně s ohledem na zlepšení kvality místního ovzduší.
Upraveno na základě Barwise a Kumar (2020).

Stromy hlavní úrovně

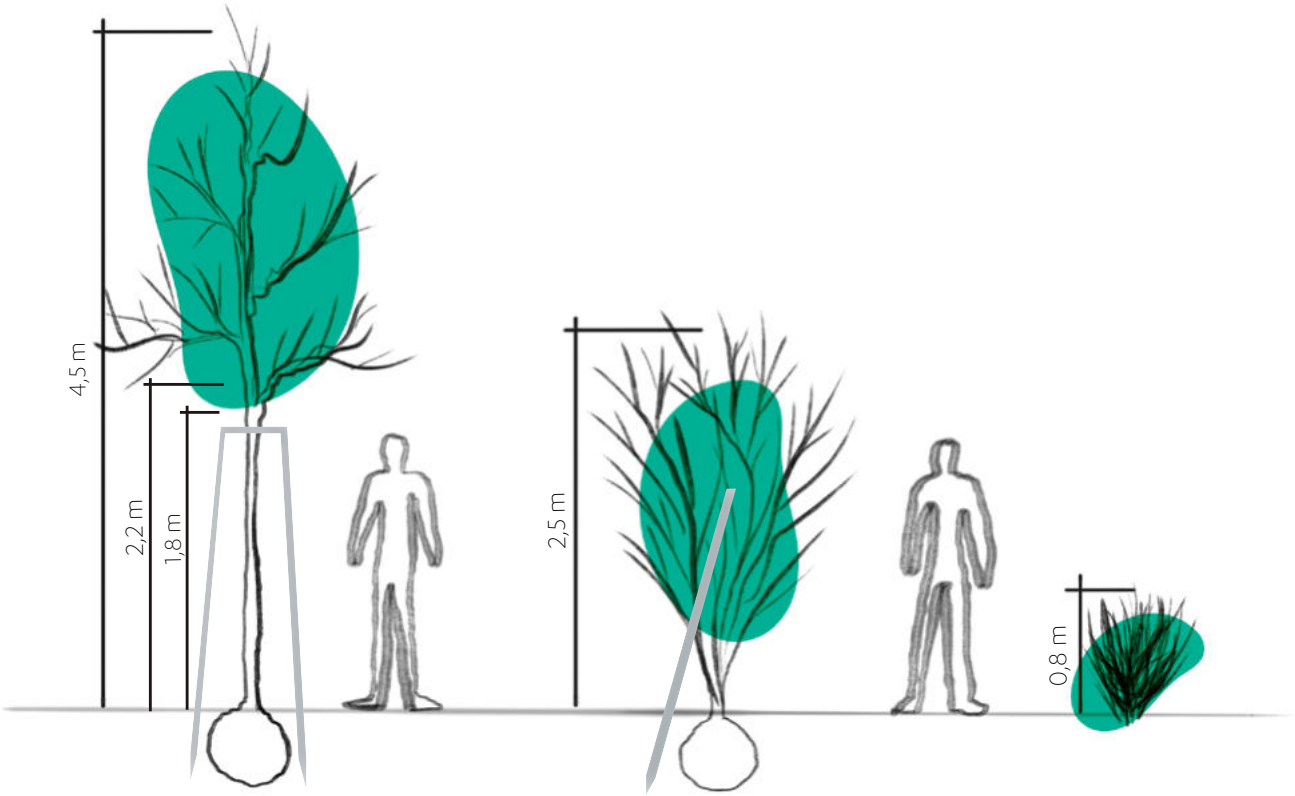
Abies alba, Pynus sylvestris, Larix decidua, Quercus cerris, Tilia platyphyllos

Stromy podúrovně

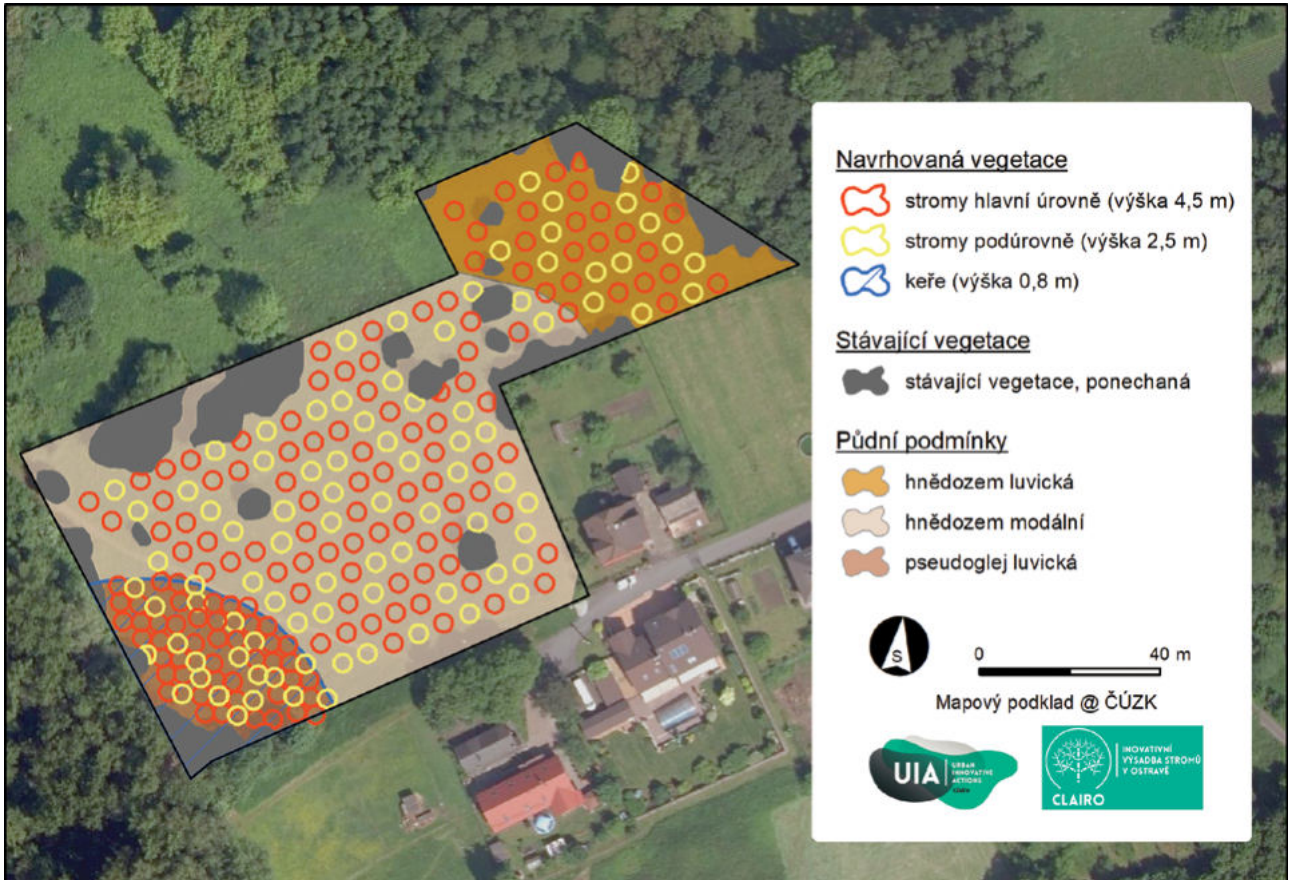
Betula pendula, Prunus mahaleb, Carpinus betulus, Crataegus monogyna, Sorbus aria

Keře

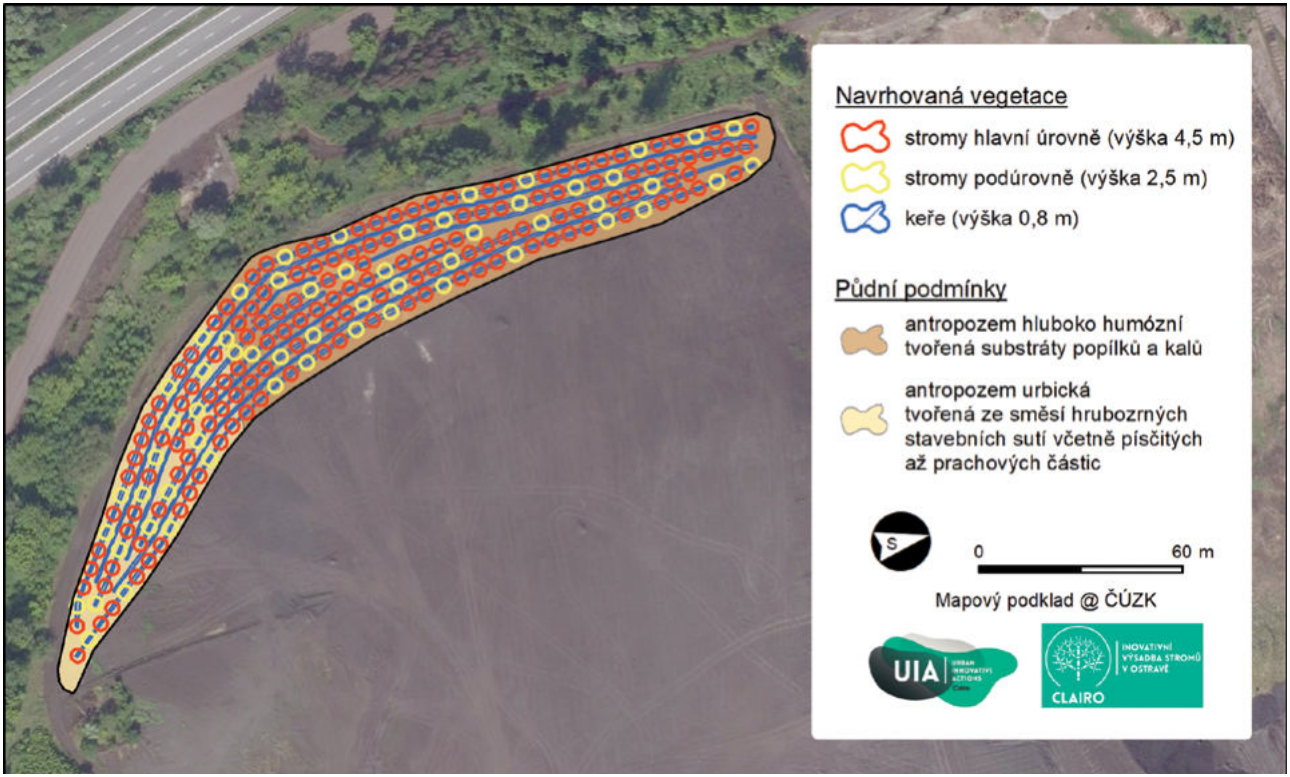
Ribes alpinum, Sambucus racemosa, Ligustrum vulgare, Lonicera xylosteum, Euonymus europaeus, Viburnum lantana, Lonicera xylosteum, Cornus sanguinea



Velikost a druhové zastoupení vegetačních prvků výsadby navrhované zeleně. Navržené stromy jsou rozděleny na dvě vertikální porostní úrovně – hlavní úroveň se zapěstovanou korunovou výškou 2,2 m a podúroveň vícekmennných stromů zavětvených od země.



Plán výsadby zeleně na lokalitě Radvanice. Navržené stromy jsou umístěny v řadách ve vzdálenosti 6 m. Stejný rozestup mezi stromy je dodržován i v rámci jednotlivých řad. V místech s půdním typem psedoglej jsou celoplošně navrženy mulčované keřové výsadby v řadách vzdálené od sebe 1,5 m. Zastoupené druhy jsou: *Quercus petraea, Acer pseudoplatanus, Tilia platyphyllos, Populus nigra, Salix daphnoides, Ulmus laevis* (hlavní úroveň), *Acer campestre, Crataegus monogyna, Prunus padus, Lonicera xylosteum, Prunus avium* (podúroveň), *Viburnum opulus, Alnus viridis, Frangula alnus, Rosa majalis, Salix purpurea* (keře).



Plán výsadby zeleně v lokalitě Bartovice. Stromy jsou navrženy v řadách, které jsou ve střední části řešeného území od sebe vzdáleny 6 m. Vzdálenost mezi jednotlivými řadami se k okrajům zmenšuje na 4,5 m. V rámci jednotlivých řad jsou stromy navrženy ve vzdálenosti 6 m. Celkem navrženo 203 stromů. Zastoupené druhy jsou: *Pinus sylvestris, Larix decidua, Quercus cerris, Tilia platyphyllos* (hlavní úroveň), *Betula pendula, Malus sylvestris, Carpinus betulus, Crataegus monogyna, Sorbus torminalis* (podúroveň), *Ribes alpinum, Sambucus racemosa, Ligustrum vulgare, Lonicera xylosteum* (keře).

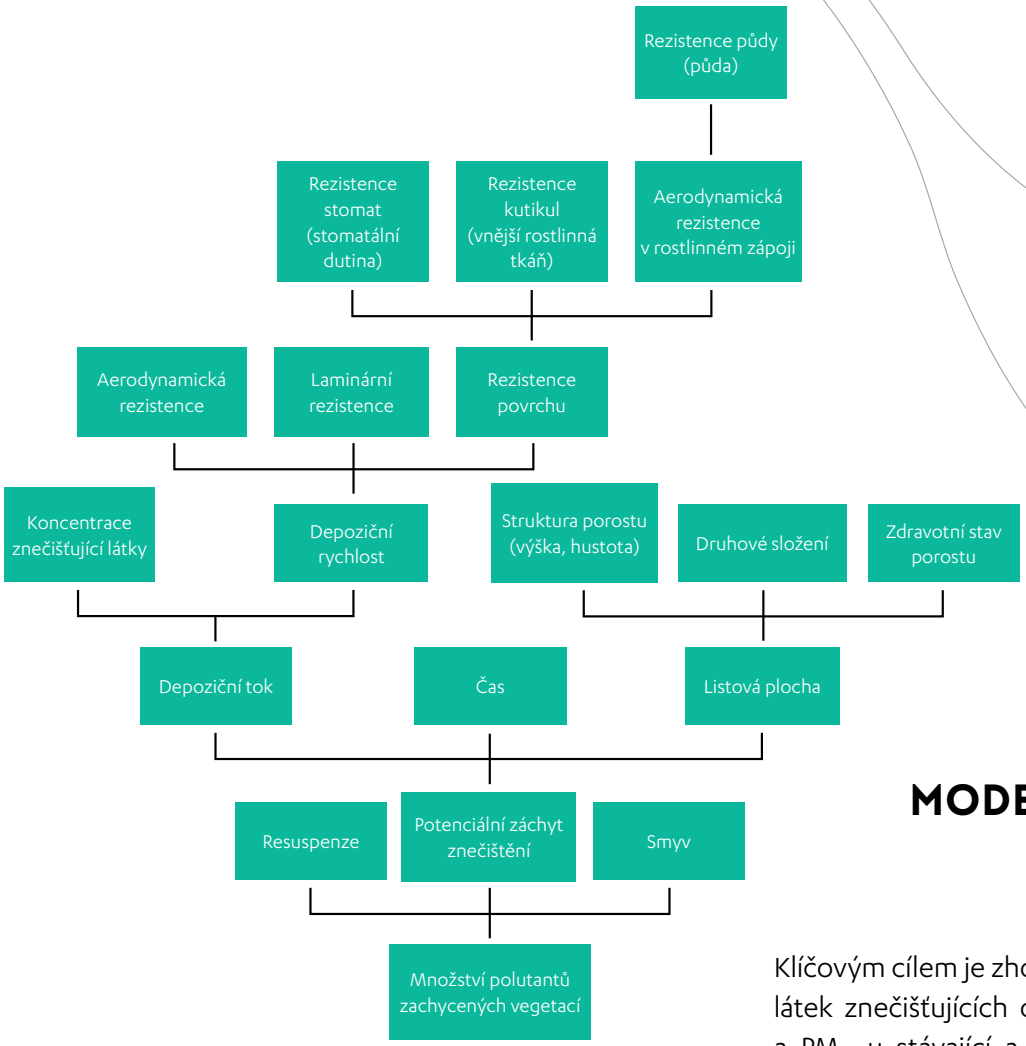
POSÍLENÍ ODOLNOSTI ROSTLIN

V místě navrhované zelené infrastruktury je aplikováno několik typů hnojiv a sledován jejich vliv na vitalitu zelené infrastruktury, která se v konečném důsledků odráží i na schopnosti zachycovat škodliviny z ovzduší.

Konkrétně je půda ošetřena třemi druhy zálivek: 1) běžným komerčním anorganickým hnojivem, 2) komerčním biostimulantem s vysokým obsahem aminokyselin, protistresových látek a výtažku z mořských řas omezující případné negativní vlivy vnějšího prostředí (TS entinel, TS VIN) a 3) inovativním chytrým hnojivem s aktivní látkou cytokininového derivátu RR-D.

Všechno ostatní standardní ošetření kultur (zalévání, pletí atd.) jsou stejné u všech tří variant – ve stejných termínech, stejném množství atd., tak aby efekt aplikovaných hnojiv byl co nejméně zkreslen dalšími faktory.

Hlavním předpokladem aplikace inovativního ošetření je zlepšení základních fyziologických parametrů nové výsadby. Ty jsou monitorovány celou řadou vysoce citlivých a unikátních metod (gazometrie, zjišťování vybraných fluorescenčních parametrů, obsah fotosyntetických pigmentů, měření hladin endogenních fytohormonů pomocí spojením ultraúčinné kapalinové chromatografie a tandemové hmotnostní spektrometrie) s cílem posoudit vliv inovativního ošetření na fyziologický stav nové výsadby i stávající vegetace na vybraných lokalitách a případně navrhnout další optimalizaci tohoto ošetření.



Zjednodušené schéma modelu záchytu znečišťujících látek zelenou infrastrukturou. Upraveno na základě Zapletal et al. (2011) a Janhäll (2015).

MODELOVÁNÍ ZÁCHYTU ZNEČIŠTĚNÍ

Klíčovým cílem je zhodnocení schopnosti záchytu látek znečišťujících ovzduší na příkladu O_3, NO_x a PM_{10} u stávající a navrhované zeleně různých typů a různého umístění. Kvantifikace záchytu znečišťující látky v daném místě během určitého časového období (např. vegetačního období, kalendářního roku) vychází z depozičních modelů (Zapletal 2001; Zapletal et al. 2011; Nowak 1994; Janhäll 2015).

Vstupem do modelu jsou meteorologické charakteristiky (teplota, rychlost větru, globální záření, vlhkost vzduchu), měřené v daném místě nebo jeho okolí, koncentrace znečišťujících látek a strukturní vlastnosti zeleně. Využívají se tedy všechny informaci z předešlých fází projektu.

Inventarizace stávající zeleně je hodnocena na základě dendrometrického šetření (výška, střední průmět koruny), druhového zastoupení a zdravotního stavu. Prostorové rozmístění jednotlivých rostlin a jejich strukturních vlastností je převedeno do GIS prostředí na základě leteckých ortofoto snímků, čímž je umožněno modelování záchytu v dvourozměrném prostoru v podrobné síti 1 x 1 m při zohlednění prostorové variability imisního pole látek znečišťujících ovzduší.

Navrhovaná zeleň vychází z plánu výsadby a zohledňuje jak navrhované druhové složení, tak uvažovanou strukturu a kompozici porostu. Jsou rozlišeny atributy výška navrhované výsadby, druhové složení a střední průmět koruny. Zdravotní stav je u nově vysazované výsadby předpokládán jako výborný, tj. bez poškození. Výška vegetace je určena 4,5 metry pro solitérní dřeviny hlavní vertikální úrovně, 2,5 metry pro vícekmenné dřeviny podúrovně a 0,80 metru pro keře, tak jak je uvažováno v plánu výsadby. Střední průmět koruny je určen na 4 m.

Samotné prostorové uspořádání navrhované výsadby je vymezeno na základě výkresů plánu výsadeb, které jsou georeferencovány do GIS prostředí pomocí hraničních bodů katastrálních parcel. Jednotlivé vysazované stromy jsou vektorizovány a přiděleny jim výše uvedené atributy.

Na základě výše popsaných strukturních parametrů současné i navrhované vegetace je určen index listové plochy (LAI) jako vstup do depozičního modelu (Nowak et al. 2008). V místech s bylinným, keřovým a stromovým patrem nad sebou jsou všechny hodnoty LAI sčítány. V případě parametru výšky porostu je vzata hodnota nejvyšší výšky vegetace v daném místě. Na závěr jsou stanoveny hodnoty LAI pro navrhovanou a současnou vegetaci včetně, a to součtem hodnot LAI v obou stavech.

Po výsadbě navrhované zeleně lze na základě modelovaných výstupů předpokládat výrazně zvýšení záchytu znečišťujících látek, a to na lokalitě Radvanice více jak dvojnásobně oproti současnému stavu.

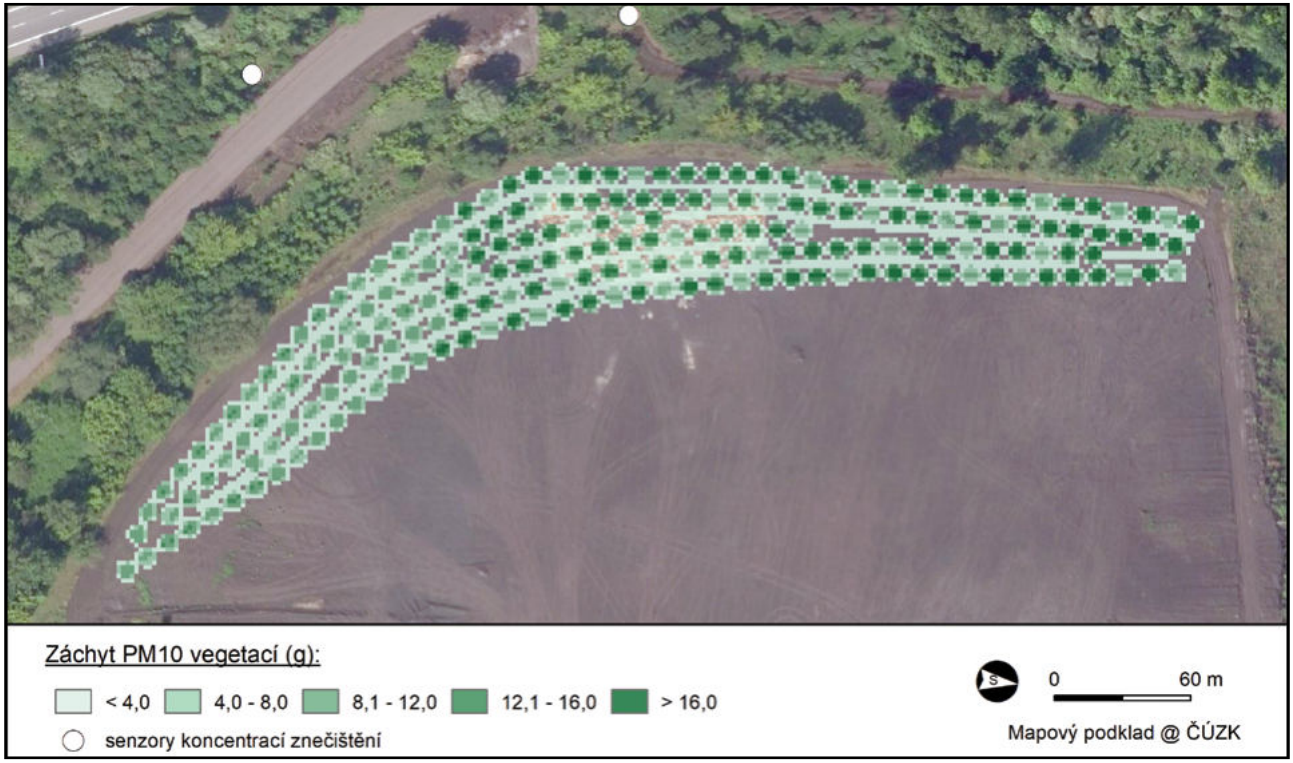
V případě lokality Bartovice se u stavu před výsadbou nepředpokládá vzhledem k absenci jakékoliv stávající zeleně žádný významný záchyt. Po výsadbě vegetace je předpokládán výrazný nárůst záchytu.

Záchyt O_3 (g) ve stavu před výsadbou (vlevo) a po výsadbě navrhované vegetace (vpravo) v síti 1 x 1 m na lokalitě Radvanice. Modelováno pro období dvou měsíců (na konci vegetační sezony).

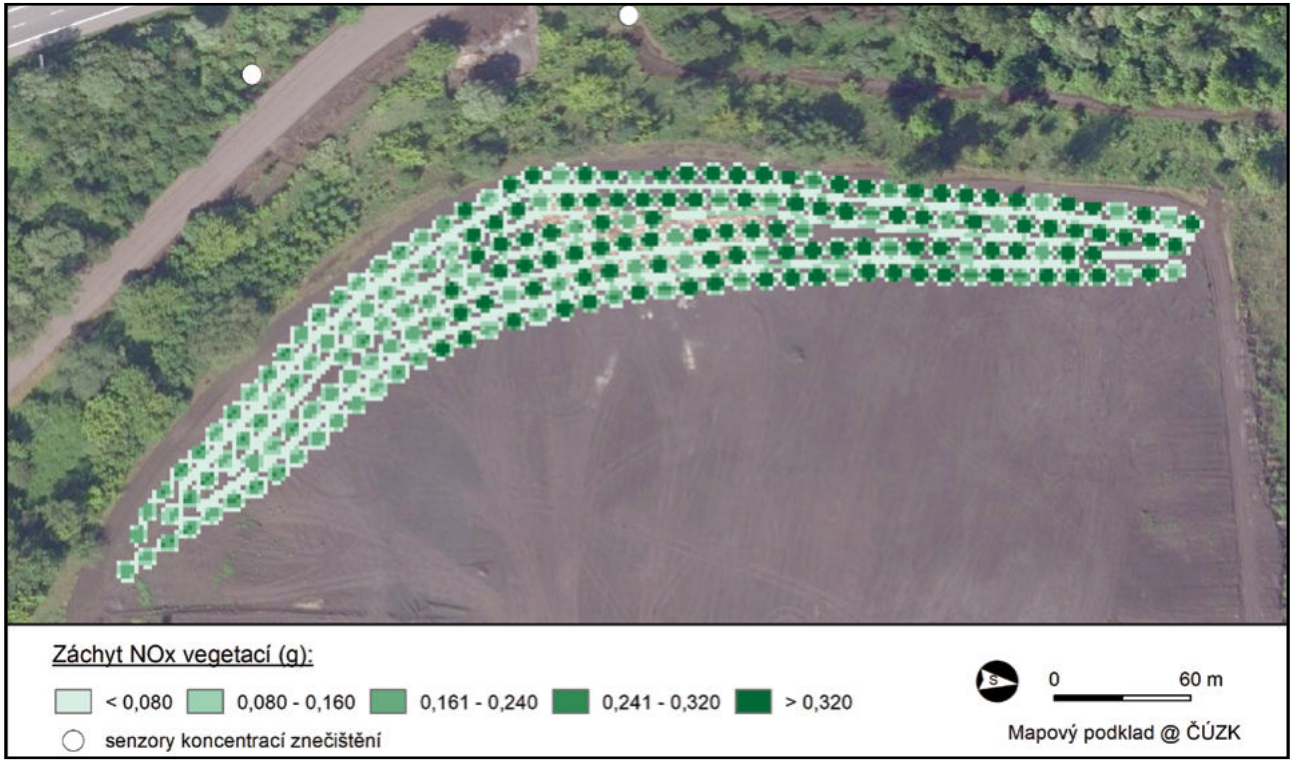
Záchyt PM_{10} (g) ve stavu před výsadbou (vlevo) a po výsadbě navrhované vegetace (vpravo) v síti 1 x 1 m na lokalitě Radvanice. Modelováno pro období dvou měsíců (na konci vegetační sezony).

Záchyt NO_x (g) ve stavu před výsadbou (vlevo) a po výsadbě navrhované vegetace (vpravo) v síti 1 x 1 m na lokalitě Radvanice. Modelováno pro období dvou měsíců (na konci vegetační sezony).

Záchyt O_3 (g) ve stavu po výsadbě navrhované vegetace v síti 1 x 1 m na lokalitě Bartovice. Modelováno pro období dvou měsíců (na konci vegetační sezony). V případě stavu před výsadbou nepředpokládá vzhledem k absenci jakékoliv stávající zeleně významný záchyt znečištění.



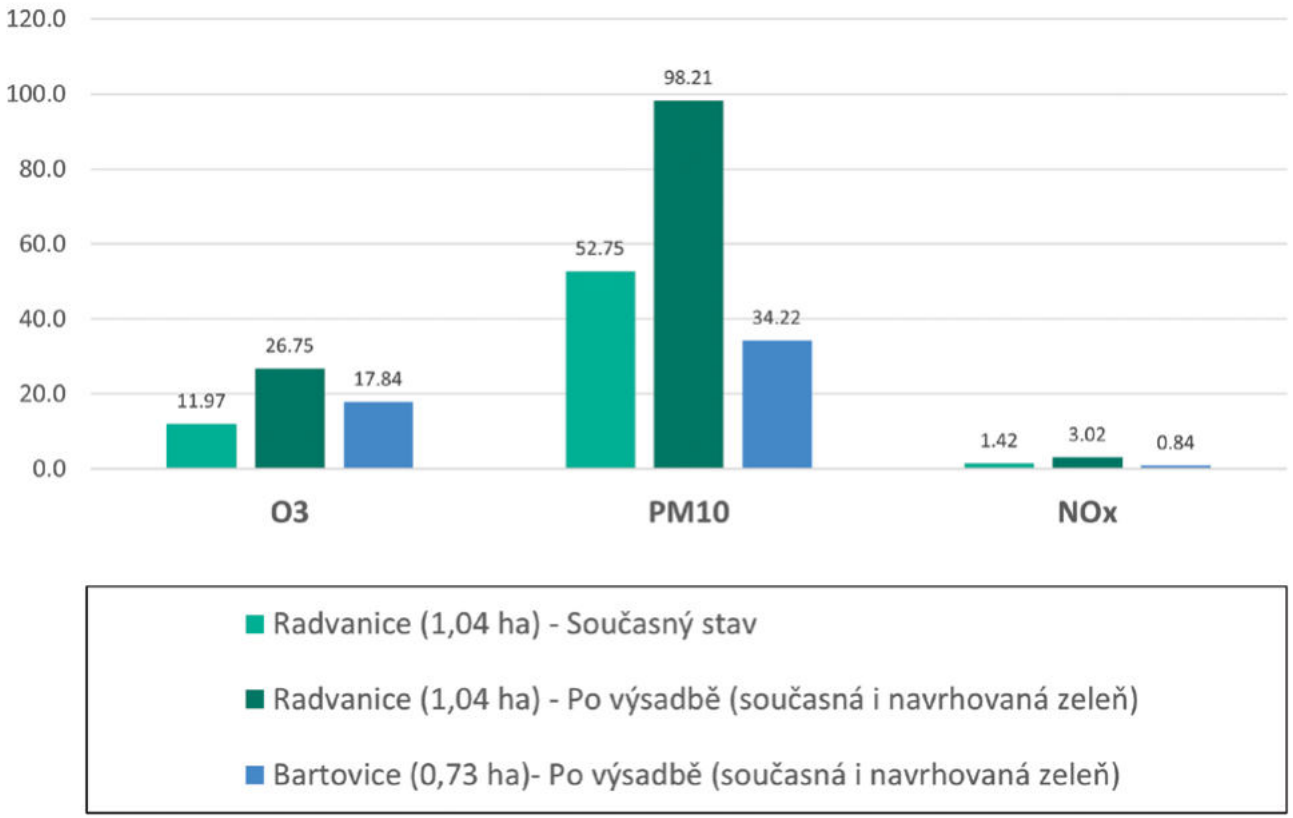
Záchyt PM_{10} (g) ve stavu po výsadbě navrhované vegetace v síti 1 x 1 m na lokalitě Bartovice. Modelováno pro období dvou měsíců (na konci vegetační sezony). V případě stavu před výsadbou nepředpokládá vzhledem k absenci jakékoliv stávající zeleně významný záchyt znečištění.



Záchyt NO_x (g) ve stavu po výsadbě navrhované vegetace v síti 1 x 1 m na lokalitě Bartovice. Modelováno pro období dvou měsíců (na konci vegetační sezony). V případě stavu před výsadbou nepředpokládá vzhledem k absenci jakékoliv stávající zeleně významný záchyt znečištění.

MODELOVANÉ ZÁCHYTY O_3, PM_{10} A NO_x

Celkový záchyt (kg) za září a říjen 2019



Modelovaný záchyt v lokalitách Radvanice a Bartovice. V případě lokality Radvanice je rozlišen záchyt současnou a navrhovanou (včetně současné) zelenou infrastrukturou za období dvou měsíců (na konci vegetační sezony). V případě lokality Bartovice je uvažován stav po výsadbě navrhované vegetace.

Celkově u obou lokalit můžeme předpokládat výrazné zlepšení kvality místního ovzduší.

PŘENOS KNOW-HOW A VEŘEJNÉ PRŮZKUMY

Metody a zkušenosti získané během projektu jsou předávány i do dalších partnerských měst (např. Opava, Třinec, Karviná) v Moravskoslezském kraji. S poznatky je seznamována nejen odborná, ale i širší veřejnost v Česku a ve světě.

K předávání know-how o významu zelené infrastruktury ve městech a její výsadbě, s ohledem na zlepšení kvality ovzduší a adaptaci na změnu klimatu, dochází prostřednictvím workshopů pro zástupce měst, experty z akademické sféry i studenty základních škol, středních škol a univerzit.

Další přenos znalostí a zkušeností je umožněn díky průzkumům veřejného mínění, které mají jak vzdělávací, tak prezentační rozměr. Zároveň poskytují vhled do místní společnosti a zjištění, nakolik jsou témata znečištění ovzduší a role zeleně v populaci reflektována. Zjištění jsou zpracována do formy studie zabývající se vztahem veřejnosti k ovzduší a městské zeleni a jejich ochoty změnit chování ve prospěch ochrany ovzduší. Doplňují je postoje a komentáře odborníků.

Průzkumy proběhly v Moravskoslezském kraji v letech 2019 a 2020 a byly realizovány exkluzivním kvantitativním výzkumem s použitím techniky face-to-face standardizovaných in-home interview. Celkově výběrový vzorek tvořil 1207 respondentů.

ZA NEJDŮLEŽITĚJŠÍ ZJIŠTĚNÍ LZE POVAŽOVAT:

Téměř 30 % obyvatel regionu je přesvědčeno, že se situace v oblasti kvality ovzduší v posledních 10 letech zhoršila, což ale vůbec neodpovídá reálným výsledkům měření kvality ovzduší.

Téma ovzduší je pro čtyři pětiny obyvatel aglomerace důležité. Téměř polovina obyvatel je s ovzduším spíše, nebo určitě nespokojena.

Nadpoloviční většina respondentů deklaruje ochotu osobně přispět ke zlepšení stavu ovzduší a životního prostředí ve svém regionu. Nejčastěji podporou výsadby zeleně (90 %) a nepálením domovního odpadu (včetně listí, trávy, papíru), ale také využíváním udržitelných forem dopravy.

Témata čistoty ovzduší a zeleně ve městech jsou důležitá zejména pro vysokoškolsky vzdělanou a mladší část obyvatel, což je důležitým vzkazem pro města čelící odlivu obyvatel převážně z této skupiny. Přestože se v našem regionu potýkáme s tímto odlivem, je zároveň možné využít univerzitní charakter měst (Ostrava, Opava, Karviná), jelikož právě mladí a vzdělanější lidé produkují myšlenkové i politické leadery.

ZÁVĚR

Zelená infrastruktura přispívá ke zlepšení životního prostředí nejvíce filtrační, chladící, protektivní a sociální funkcí. Přispívá v městském prostředí ke zlepšení stavu ovzduší odstraňováním suspendovaných částic a jiných polutantů záchytem na povrchu listů. Zelená infrastruktura, vysazována a ošetřována s ohledem na její citlivost vůči znečištění a schopnosti záchytu polutantů z ovzduší, může být vhodným adaptačním řešením pro zlepšení kvality ovzduší v místech se silnou imisní zátěží.

Předkládaný manuál, včetně případové studie výsadby zeleně v Ostravě Bartovicích a Radvanicích, poskytuje základní principy zakládání zelené infrastruktury v průmyslových oblastech ke zmírňování dopadů environmentální změny prostřednictvím přírodě blízkého managementu.

LITERATURA

Al-Dabbous, A. N., Kumar, P. (2014): The influence of roadside vegetation barriers on airborne nanoparticles and pedestrians exposure under varying wind conditions. Atmospheric Environment, 90, 113-124.

Alonso, R., Vivanco, M. G., González-Fernández, I., Bermejo, V., Palomino, I., Garrido, J. L., Elvira, S., Salvador, P., Artínano, B. (2011). Modelling the influence of peri-urban trees in the air quality of Madrid region (Spain). Environmental Pollution, 159 (8-9), 2138- 2147.

Barwise, Y., Kumar, P. (2020): Designing vegetation barriers for urban air pollution abatement: a practical review for appropriate plant species selection. npj Clim Atmos Sci, 3 (12), 1-19.

Brauer, M., Amann, M., Burnett, R. T., Cohen, A., Dentener, F., Ezzati, M., Henderson, S. B., Krzyzanowski, M., Randall, V. M., van Dingenen, R., van Donkelaar, Thurston, G. D. (2012): Exposure assessment for estimation of the global burden of disease attributable to outdoor air pollution. Environmental science & Technology, 46 (2), 652-660.

Cavanagh, J. A. E., Zawar-Reza, P., Wilson, J. G. (2009): Spatial attenuation of ambient particulate matter air pollution within an urbanised native forest patch. Urban Forestry & Urban Greening, 8 (1), 21-30.

ČHMÚ (2019): Souhrnný roční tabelární přehled. Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika. Online: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/ isko/tab_roc/2019_enh/index_CZ.html.

ČSÚ (2018): Demografická ročenka České republiky – 2019. Počet obyvatel podle jednotek věku, pohlaví a typu urbanizace (k 31. 12. 2019). Online: https://www.czso.cz/csu/ czso/demograficka-rocenka-ceske-republiky-2019.

Dzhambrov, A., Hartig, T., Markevych, I., Tilov, B., Dimitrova, D. (2018): Urban residential greenspace and mental health in youth: Different approaches to testing multiple pathways yield different conclusions. Environmental Research, 160, 47-59.

European Commission (2013): Building a Green Infrastructure for Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 24.

Florentina, I., Io, B. (2012): The Effects of Air Pollutants on Vegetation and the Role of Vegetation in

Reducing Atmospheric Pollution, in: The Impact of Air Pollution on Health, Economy, Environment and Agricultural Sources. InTech. 241-280.

Fuller, R. A., Gaston, K. J. (2009): The scaling of green space coverage in European cities. Biology Letters, 5 (3), 352-355.

Gascon, M., Triguero-Mas, M., Martínez, D., Dadvand, P., Rojas-Rueda, D., Plasència, A., Nieuwenhuijsen, M. J. (2016): Residential green spaces and mortality: A systematic review. Environment International, 86, 60-67.

Janhäll, S. (2015): Review on urban vegetation and particle air pollution - Deposition and dispersion. Atmospheric Environment, 105, 130-137.

Landrigan, P. J., Carlson, J. E., Bearer, C. F., Cranmer, J. S., Bullard, R. D., Etzel, R. A., Suk, W. A. (1998): Children's health and the environment: a new agenda for prevention research. Environmental Health Perspectives, 106 (3), 787.

Litschke, T., Kuttler, W. (2008): On the reduction of urban particle concentration by vegetation – A review. Meteorologische Zeitschrift, 17, 229-240.

Lovett, G. M. (1994): Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: An ecological perspective. Ecological Applications, 4, 629–650.

Novotný, R., Buriánek, V., Šrámek, V. (2009): Metodika hodnocení viditelného poškození vegetace vyvolaného účinky přízemního ozonu: recenzovaná metodika. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 48.

Nowak, D. J. (1994): Air pollution removal by Chicago's urban forest. In McPher, E. G., Nowak, D. J., Rowntree, R. A. (Eds.), Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago urban forest climate project. US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 63-82.

Nowak, D. J., Crane, D. E., Stevens, J. C. (2006): Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. Urban Forestry & Urban Greening, 4, 115-123.

Nowak, D. J., Crane, D. E., Stevens, J. C. Robert E. Hoehn, R. E., Walton, J. T., Bond J. (2008): A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services. Arboriculture & Urban Forestry, 34 (6), 347-358.

Nowak, D. J., Greenfield, E. J. (2012): Urban Forestry & Urban Greening Tree and impervious cover change in U. S. cities. Urban Forestry & Urban Greening, 11, 21-30.

Pääkkone, E., Vahala, J., Holopainen, T., Karenlampi, L. (1998): Physiological and ultrastructural responses of birch clones exposed to ozone and drought stress. Chemosphere, 36, 679-684.

Powe, N. A., Willis, K. G. (2004): Mortality and morbidity benefits of air pollution (SO2 and PM10) absorption attributable to woodland in Britain. Journal of Environment Management, 70, 119-128.

Pugh, T. A. M., MacKenzie, A. R., Whyatt, J. D., Hewitt, C. N. (2012): Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. Environmental Science & Technology, 46, 7692-7699.

Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H. M., Gawronska, H., Gawronski, S. W. (2012): Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. Science of the Total Environment, 427-428, 347-54.

Sakar, C. (2017): Residential greenness and adiposity: Findings from the UK Biobank. Environment International 106, 1-10.

Schaub, M., Skelly, J. M., Zhang, J. W., Ferdinand, J. A., Savage, J. E., Stevenson, R. E., Davis, D. D., Steiner, K. C. (2005): Physiological and foliar symptom response in the crowns of Prunus serotina, Fraxinus americana and Acer rubrum canopy trees to ambient ozone under forest conditions. Environmental Pollution, 133, 553-567.

Shah, P., Balkhair, T. (2011): Air pollution and birth outcomes: A systematic review. Environment International, 37, 498-516.

Skarby, L. L., Ro-Poulsen, H., Wellburn, F. A. M., Sheppard, L. J. (1998): Impact of ozone on forests: a European Perspective. New Phytologist, 139, 109-122.

Smith, M. P., Guarnizo, L. E. (2009): Global mobility, shifting borders and urban citizenship. Tijdschrift voor economische en sociale geografie, 100 (5), 610-622.

Tallis, M., Taylor, G., Sinnett, D., Freer-Smith, P. (2011): Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments. Landscape and Urban Planning, 103, 129-138.

Ten Brink, P., Mutafoglu, K., Schweitzer, J. P., Kettunen, M., Twigger-Ross, C., Baker, J., Kuipers, Y., Emonts, M., Tyrväinen, L., Hujala, T., Ojala, A. (2016): The Health and Social Benefits of Nature and Biodiversity Protection – Executive summary. A report for the European Commission (ENV.B.3/ETU/2014/0039), Institute for European Environmental Policy, London / Brussels.

Tiwary, A., Sinnett, D., Peachey, C., Chalabi, Z., Vardoulakis, S., Fletcher, T., Leonardi, G., Grundy, C., Azapagic, A., Hutchings, T. R. (2009): An integrated tool to assess the role of new planting in PM10 capture and the human health benefits: A case study in London. Environmental Pollution, 157, 2645-2653.

Van den Berg, M., Wendel-Vos, W., van Poppel, M., Kemper, H., van Mechelen, W., Maas, J. (2015): Health benefits of green spaces in the living environment: A systematic review of epidemiological studies. Urban Forestry & Urban Greening, 14 (4), 806-816.

Zapletal M. (2001): Atmospheric deposition of nitrogen and sulphur compounds in the Czech Republic. The Scientific World, 1 (2), 294-303.

Zapletal, M., Cudlín, P., Chroust, P., Urban, O., Pokorný, R., Edwards-Jonášová, M., Czerný, R., Janouš, D., Taufarová, T., Večeřa, Z., Mikuška, P., Paoletti, E. (2011): Ozone flux over a Norway spruce forest and correlation with Net Ecosystem Production. Environmental Pollution, 159, 1024-1034.

OBRAZOVÝ MATERIÁL

Fotografie stromů byly přejaty z https://commons.wikimedia.org/.

Pinus nigra - borovice černá. AnamoneProjectors. Creative Commons Attribution-Share Alike 2.0 Generic. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pinus_nigra1.jpg

Picea abies - smrk ztepilý. Wilhelm Zimmerling PAR. Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ruhland,_Fichtestr._7,_Gew%C3%B6hnliche_Fichte,_Vorwinter,_01.jpg

Quercus robur - dub letní. Czeva. Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sedleck%C3%BD_dub_01.jpg

Malus sylvestris - jabloň lesní. Daderot. Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Malus_sylvestris_-_Botanical_Garden_in_Kaisaniemi,_Helsinki_-_DSC03467.JPG

Ulmus minor - jilm habrolistý. Eric Collin. Original uploader was Ptelea at en.wikipedia. GNU Free Documentation License. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blismes_elm_2007.jpg

Populus tremula - topol osika. Zeynel Cebeci. Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Populus_tremula_-_Eurasian_Aspen_01.jpg

Fotografie na straně 1, 4, 12, 13,17, 18, 19, 23, 25, 35, 37, 38, 39, 57, 59, 4, 65, 67, 68 pocházejí z Archivu MMO.