

JAK NA VÝSADBU MĚSTSKÉ ZELENĚ PRO DOSAŽENÍ MAXIMÁLNÍHO ZÁCHYTU ŠKODLIVIN?

Doc. Ing. Miloš Zapletal, Dr., Slezská univerzita v Opavě



Jak na výsadbu městské zeleně pro dosažení maximálního zachytu škodlivin?

Jak pěstovat zdravou městskou krajinu.

Online konference

29. 6. 2021

Miloš Zapletal¹, Vít Kašpar², Pavel Samec³, Pavlína Víchová⁴, Stanislav Juráň⁵, Jan Hladík⁶

¹ Slezská univerzita v Opavě, Fyzikální ústav; EKOTOXA s.r.o. Opava; Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Brno

² Institute of Botany of the Czech Academy of Sciences, Průhonice; Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences Prague

³ Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i Brno

⁴ Mendel University in Brno, Field of study: Landscape Architecture, Faculty of Horticulture, Lednice

⁵ Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Brno

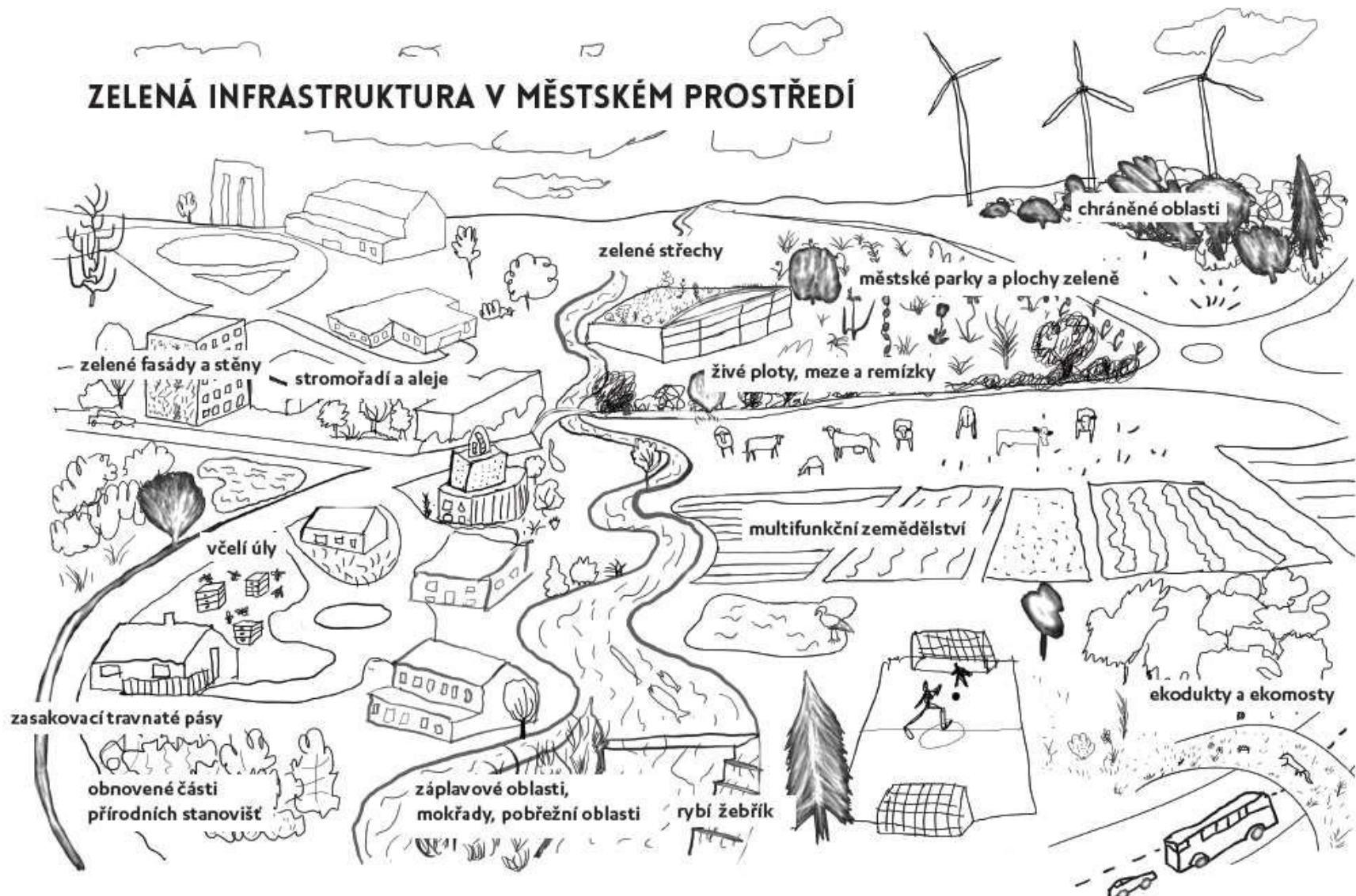
⁶ Slezská univerzita v Opavě, Fyzikální ústav



- síť vysoce kvalitní přírodní a polopřirozené oblasti s dalšími environmentálními prvky
- je prostorovou strukturou, která poskytuje lidem výhody z přírody, klade si za cíl posílit schopnost přírody dodávat více ekosystémových statků a služeb, jako je čistý vzduch nebo čistá voda
- pomáhá zlepšovat životní prostředí ve městě v období klimatické změny, zmírňuje povodně, zvyšuje ukládání uhlíku nebo předchází erozi půdy
- tvořena širokou škálou různých environmentálních prvků, jako jsou živé ploty, meze nebo zelené střechy až po celé funkční ekosystémy, jako jsou neporušené nivy, lesy, rašeliniště nebo volně tekoucí



Složky zelené infrastruktury



Služby poskytované zelenou infrastrukturou

- Podpůrné služby – tvorba půdy, koloběh živin, primární produkce.
- Zásobovací služby – poskytování potravin, pitné vody, dřeva a přírodních vláken, poskytování přírodních léků a dalších biochemických látek.
- Regulační služby – regulace složení ovzduší, regulace podnebí, regulace koloběhu vody, čištění vody a odstraňování a likvidace odpadů, regulace šíření chorob, opylování, aj.
- Kulturní služby – duchovní a náboženské hodnoty, estetické, inspirační a vzdělávací hodnoty, rekreace.





- **Zdraví obyvatel:** zlepšování kvality ovzduší, filtrací škodlivých látek, vytvářením kyslíku a pohlcováním hluku
- **Odolnost měst:** lepší adaptace na změnu klimatu a s ní související nárůst četnosti a intenzity teplotních extrémů
- **Zvyšování biodiverzity:** zachování a rozvoj počtu druhů živočichů a rostlin žijících ve městech
- **Kvalita života obyvatel:** v zelených městech jsou lidé aktivnější a spokojenější
- **Redukce stresu:** zlepšováním soustředění, paměti, schopnosti učení nebo regenerace
- **Atraktivita prostředí:** zelená města přitahují investory a skupiny obyvatel, které jsou často aktivnější, podnikavější a vzdělanější
- **Růst ekonomiky:** nová pracovní místa, hodnota bydlení a pozemků
- **Posilování komunit:** podporují sousedské vztahy, nižší míra kriminality



Jak zelená infrastruktura zlepšuje kvalitu ovzduší?

PŘÍMO

Tvorbou většího vegetačního povrchu odstraňuje vzdušné polutanty

Listy zachycují částice PM1, PM2.5, PM10

Průduchy listů absorbují plynné polutanty (ozon, oxidy dusíku)



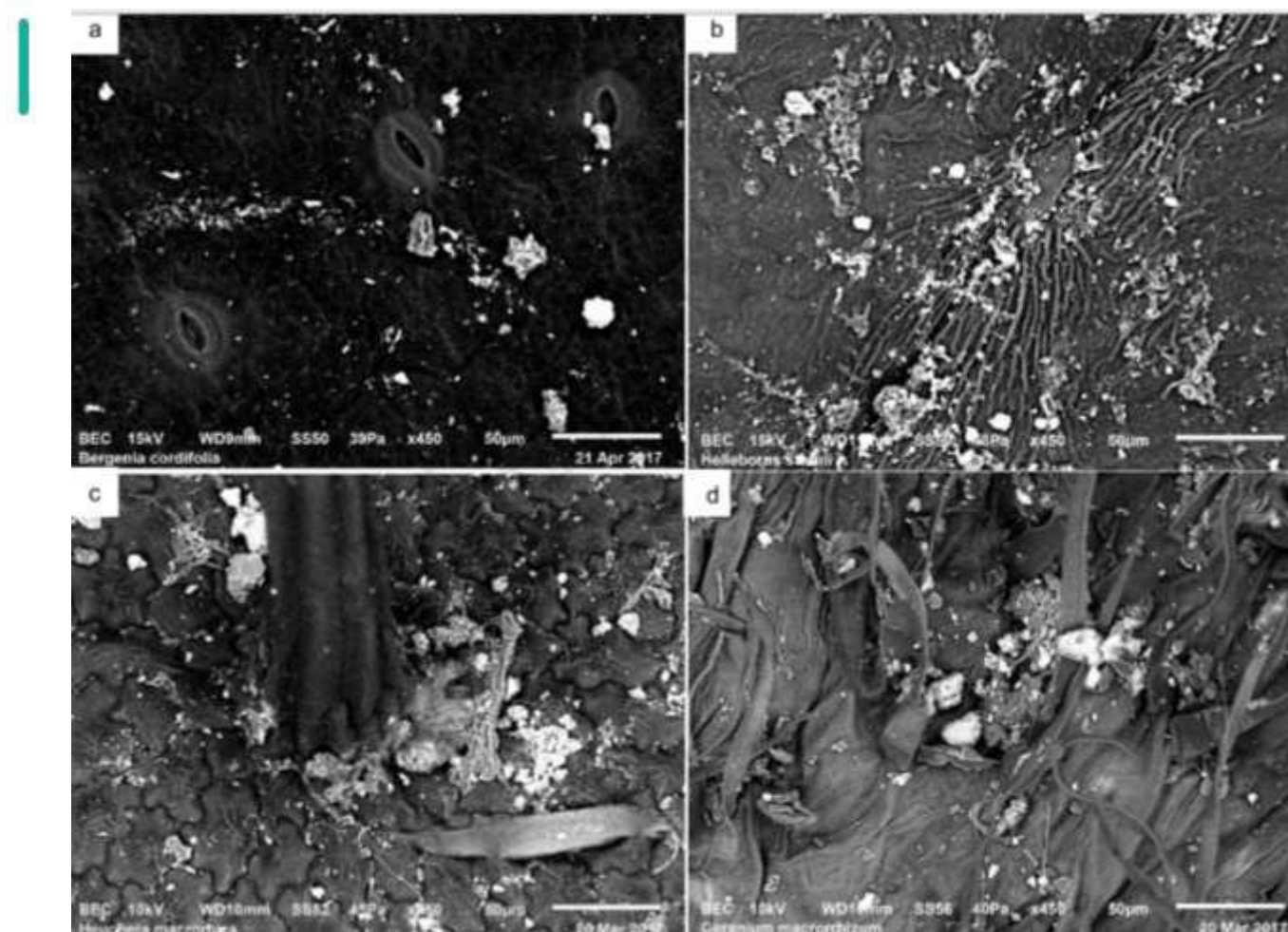
NEPŘÍMO

Vegeta poskytuje stín a zvyšuje evapotranspiraci

Snížení okolní teploty blízko povrchu (maxima v letním období)

Redukce fotochemických reakcí vedoucích k tvorbě ozonu

Záchyt suspendovaných částic na povrchu listu



Ukázka záchytu suspendovaných částic (bílé hrudky) na povrchu čepele listu. Snímáno elektronovým mikroskopem (Weerakkody, et al. 2018).

Které faktory ovlivňují efektivitu záchytu vegetací?

1. Mikromorfologické

tvár a rozložení listového aparátu

drsnot povrchu čepele



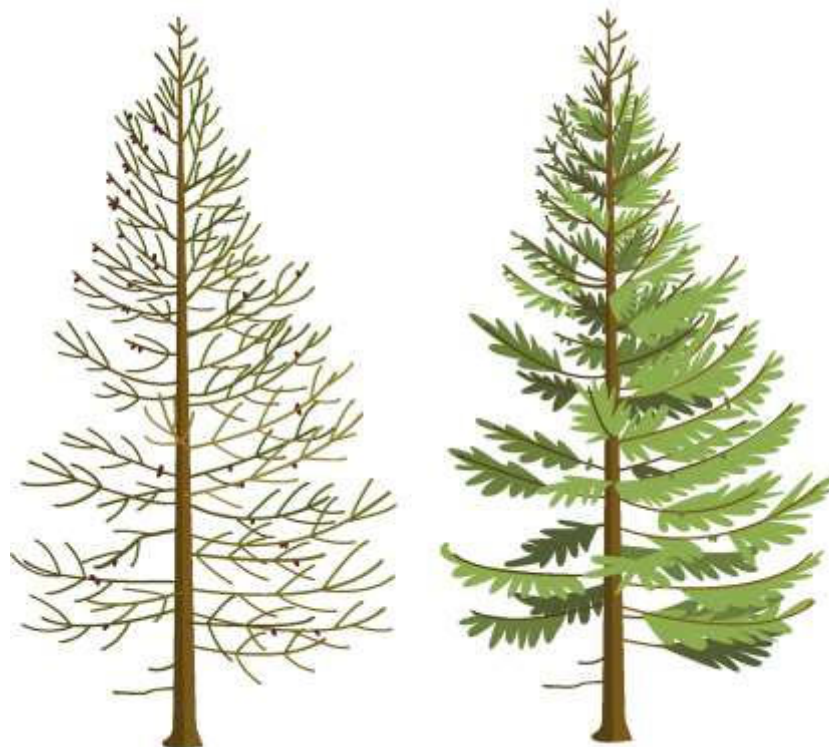
2. Makromorfologické

celková struktura porostu

výška, hustota zápoj a
prostorové uspořádání větvení
kompozice

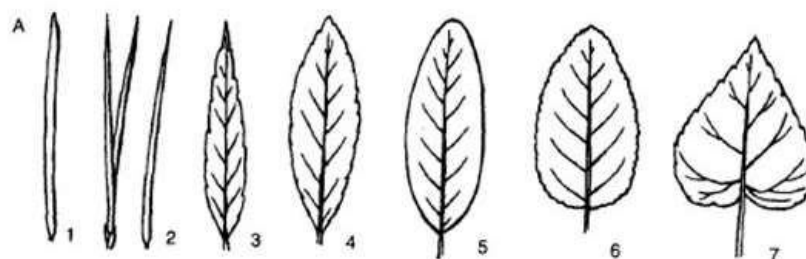


- vyšší záchyt polutantů na povrchu stálezelených dřevin v průběhu roku, oproti opadavým dřevinám, u kterých je mimo vegetační sezónu jejich schopnost záchytu limitována
- výběr vhodné fenologie vzhledem k průběhu lokálního znečištění

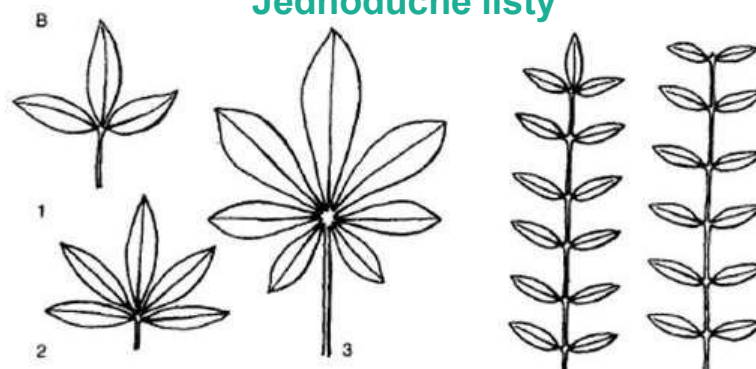


Tvar a velikost čepele listu

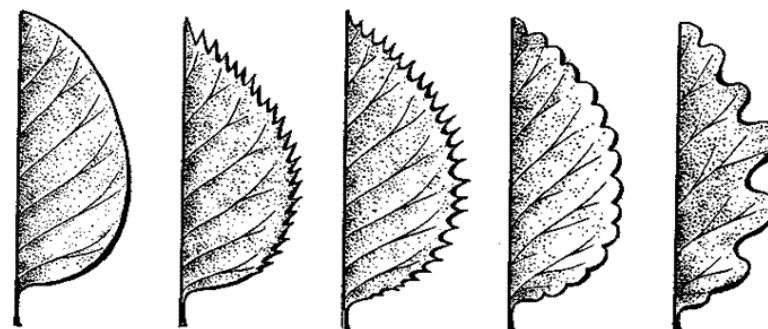
- velmi účinné se jeví jehlice jehličnatých druhů, které poskytují vyšší depoziční rychlosti než listový aparát širokolistých druhů
- složité (laločnaté, chobotnaté) tvary listů vykazují větší potenciál pro záchyt než jednoduché (eliptické, okrouhlé) tvary listů
- zpeřené a členěné tvary listů obecně účinnější než jednoduché, celistvé tvary



Jednoduché listy



Složené listy



celokrajný

pilovitý

zubatý

vroubkovaný

laločnatý

Povrch čepele listu



- drsné, chlupaté nebo žláznaté povrchy listů jsou pro záchyt účinnější než hladké povrchy s výraznější kutikulou
- přítomnost trichomů, epikutikulárního vosku, nebo výrazné, profilovaná žilnatina zvyšuje záchyt polutantů
- hustota a velikost průduchů



trichomy na povrchu listu



průduchy na povrchu listu

- čím větší povrch zelené hmoty na jednotku plochy, tím větší záchyt polutantů
- vlastnosti rostlinných orgánů a jejich uspořádání, ale i celkovou zapojeností a hustotou porostu, výškou, tvarem koruny a prostorovým uspořádání větvení
- široké, vysoké a husté vegetační bariéry ve směru převládajícího proudění vzduchu snižují koncentrace znečišťujících látek v ovzduší



Odlišná hustota korunového zápoje na základě hemisférických fotografií.

- výběr druhů zeleně by měl dále reflektovat topografické, půdní a klimatické podmínky na daném stanovišti
- citlivost konkrétních druhů vůči znečištění ovzduší v daném místě, imisní zátěže z monitoringu
- v případě vyšších koncentrací troposférického ozonu jsou listnaté dřeviny obecně více citlivé než dřeviny jehličnaté
- zasolením půd při silničních úpravách (borovice)



Poškození vyvolané působením přízemního ozonu u na čepeli bezu černého (Novotný et al. 2009)

Zdroj pylu a těkavých organických látek (VOC)

- samotná vegetace může být zdrojem znečištění
- produkuje pylová zrna a těkavé organické látky (VOC)
- zástupci řádů *Fagales*, *Lamiales*, *Proteales* a *Pinales*
- druhy: bříza (*Betula spp.*), jasan (*Fraxinus spp.*), platan (*Platanus spp.*), nebo cypřiš (*Cupressus spp.*)



Platanová alej v centru Barcelony. Platan (*Platanus spp.*), jako příklad dřeviny produkující VOC a zdroj alergenů (Grote et al. 2016).



- kombinace více druhů > zvýšení odolnosti, hustoty zápoje
- Kombinace listnatých a jehličnatých druhů
- zvážení přínosů a negativ u jednotlivých druhů
- efekt některých druhů může být ambivalentní (např. *Platanus acerifolia*) - hustá koruna, tolerantní proti znečištění, ale produkce VOC



Borovice černá (*Pinus nigra*) jako příklad efektivní dřeviny při zachytu látek znečišťující ovzduší.

Vybrané druhy dřevin s vyšší odolností proti znečištění ovzduší a účinnějším zachytem polutantů.
Celá databáze je dostupná na: <https://clair.ostrava.cz/know-how/>.

Název	Aparát	Georeliéf	Podnebí	Citlivost na kyselou depozici	Citlivost na O ₃	Schopnost zachytu prachových částic
<i>Pinus nigra</i>	stálezelený	horský	subtropické	odolný	snášenlivý	vysoká
<i>Picea abies</i>	stálezelený	horský	boreální	citlivý	odolný	střední
<i>Abies alba</i>	stálezelený	vrchovinný	mírné	snášenlivý	odolný	střední
<i>Quercus robur</i>	opadavý	nížinný	mírné	odolný	odolný	střední
<i>Quercus petraea</i>	opadavý	pahorkatinný	mírné	odolný	odolný	vysoká
<i>Malus sylvestris</i>	opadavý	pahorkatinný	mírné	odolný	odolný	střední
<i>Ulmus minor</i>	opadavý	nížinný	submediteránní	snášenlivý	snášenlivý	vysoká



Malus sylvestris -
jabloň lesní



Picea abies -
smrk ztepilý



Pinus nigra -
borovice černá



Populus tremula -
topol osika

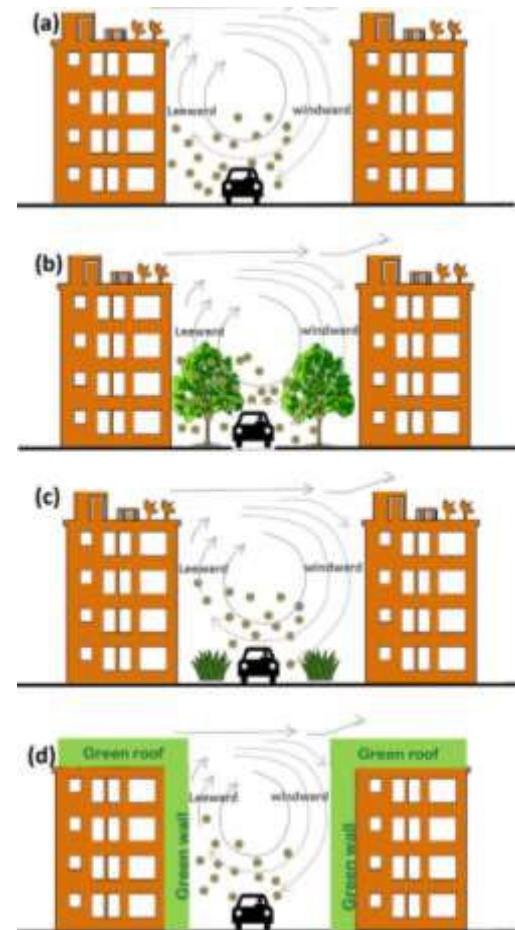


Quercus robur -
dub letní



Ulmus minor -
jilm habrolistý

- druhové směsi by měly být růstově a nárokově kompatibilní
- kombinace více pater s dřevinami doplněných keřovými patrem v podrostu
- zohlednění okolní zástavby, konfigurace a výšky budov
- předcházení negativním efektům v uličním kaňonu



Proudění a rozptylu znečišťujících látek v pouličním kaňonu: (a) pouliční kaňon bez vegetace, (b) pouliční kaňon se stromy, (c) pouliční kaňon s živými ploty a (d) pouliční kaňon s zelenými střechami a stěnami (Abhijith et al. 2017).

PŘÍPADOVÁ STUDIE

OSTRAVA BARTOVICE, RADVANICE

- 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 zvláště 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.

Případová studie Ostrava – Radvanice, Bartovice

- Blízkost hutí Liberty Ostrava, a.s. v Ostravě Kunčicích (asi 0,5 km západně)
- Na nedaleké stanici Zdravotního ústavu byla v roce 2018 naměřena průměrná roční koncentrace PM_{10} $44 \mu g/m^3$ (110 % limitu) a stanice se tak umístila na 1. místě v přehledu stanic s překročením platného limitu. (ČHMÚ 2019)



STÁVAJÍCÍ ZELEŇ

Případová studie Ostrava – Radvanice

Stávající vegetace na lokalitě Ostrava – Radvanice, stav k roku 2018.

- 1,0 ha
- solitérně rostoucí dřeviny (*Juglans regia*)
- při okrajích zasahují stávající lesní porosty (*Populus tremula*)
- zastoupeno i bylinné patro



Případová studie Ostrava – Bartovice

Stávající vegetace na lokalitě Ostrava – Bartovice, stav k roku 2018.

- 0,7 ha
- deponium průmyslových odpadů
- žádné vegetační prvky



Terénní dendrologický průzkum

- 1) druhové složení
- 2) výška porostu
- 3) střední průměr korun
- 4) zdravotní stav (hniloba, poranění kmene, defoliace)



Prostorové uspořádání

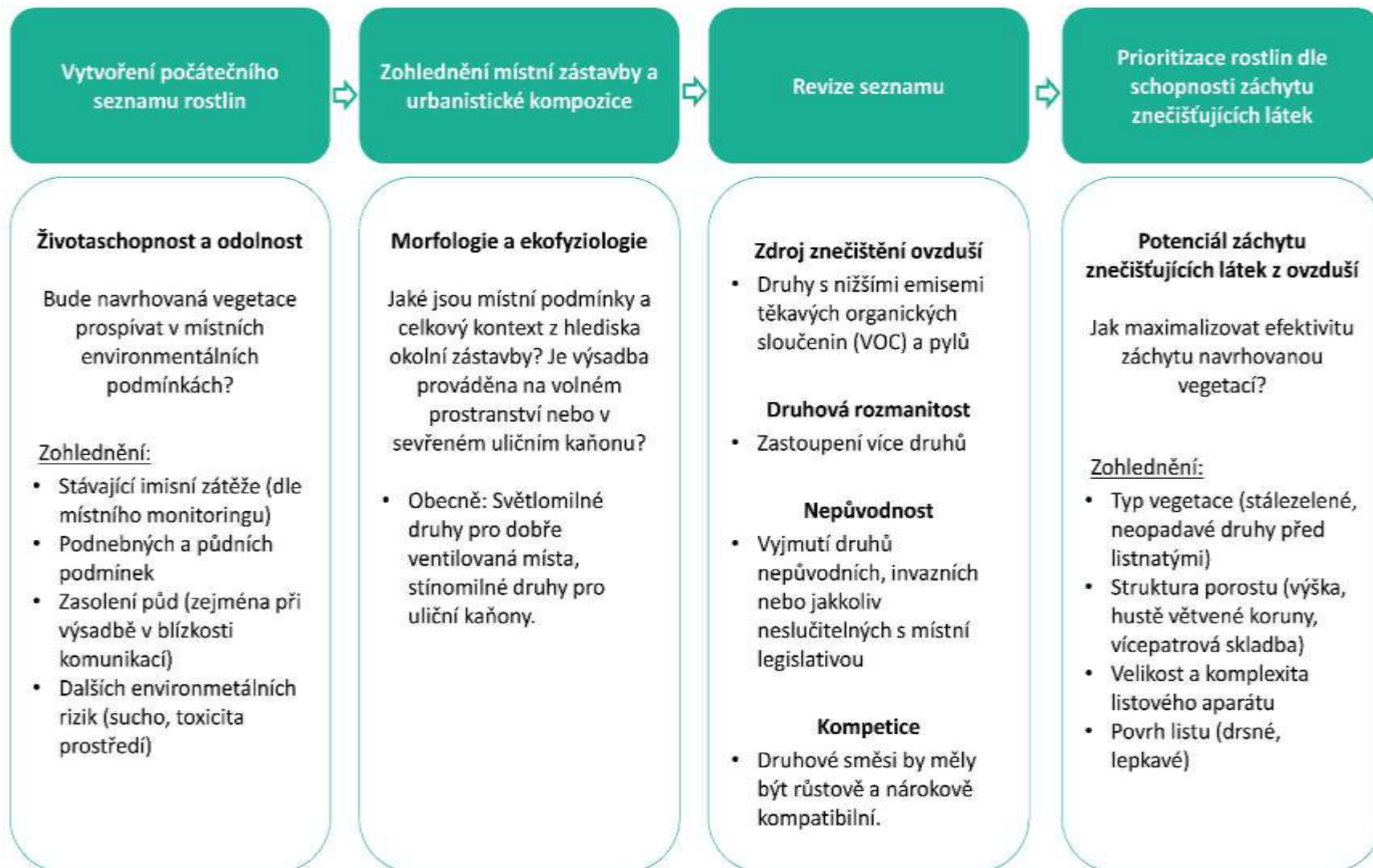
- Převedení do GIS
- Vektorizace nad aktuálním leteckým ortofoto snímkem

Identifikační číslo	Výskyt	Taxon (dominantní)	Výška koruny (m)	Střední průměr koruny (m)	Poškození (%)
1	solitér	<i>Salix caprea</i>	12	7	26 – 50
2	solitér	<i>Crataegus monogyna</i>	6	4	11 – 25
3	solitér	<i>Juglans regia</i>	8	7	1 – 10
4	solitér	<i>Juglans regia</i>	13	10	1 – 10
5	společenstvo	<i>Juglans regia</i>	12	13	11 – 25
6	společenstvo	<i>Crataegus monogyna</i>	10	7	11 – 25
7	solitér	<i>Juglans regia</i>	11	10	1 – 10
8	solitér	<i>Juglans regia</i>	9	6	1 – 10
9	solitér	<i>Crataegus monogyna</i>	8	6	1 – 10
10	solitér	<i>Acer negundo</i>	11	7	1 – 10
11	společenstvo	<i>Salix caprea</i>	14	20	1 – 10
12	společenstvo	<i>Alnus glutinosa</i>	30	20	26 – 50
13	společenstvo	<i>Fraxinus sp.</i>	25	14	26 – 50
14	společenstvo	<i>Alnus glutinosa</i>	22	4	11 – 25
15	společenstvo	<i>Acer negundo</i>	10	3	1 – 10
16	společenstvo	<i>Salix caprea</i>	13	33	1 – 10
17	společenstvo	<i>Populus tremula</i>	25	11	11 – 25
18	společenstvo	<i>Populus tremula</i>	25	5	11 – 25
19	společenstvo	<i>Salix Fragilis</i>	20	6	11 – 25

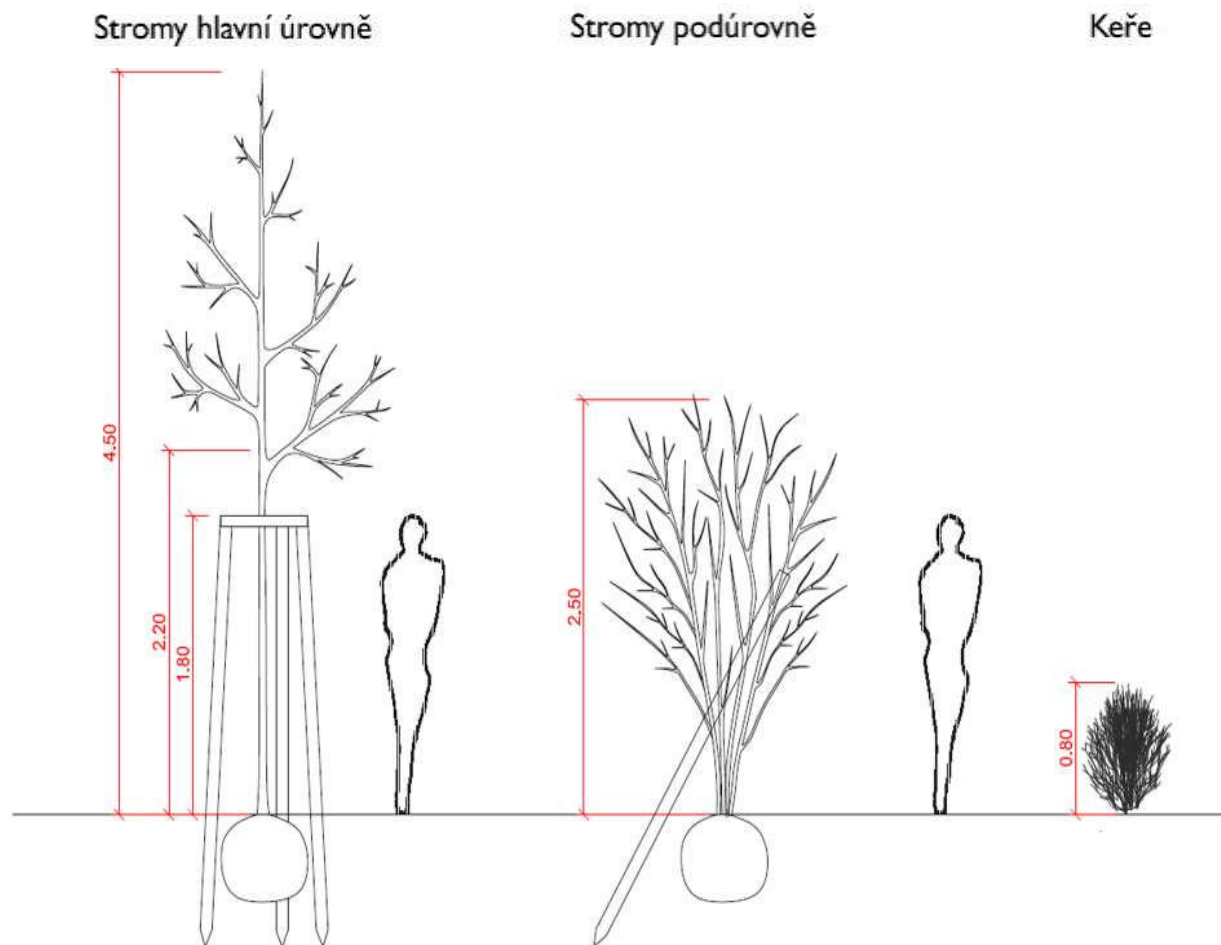


NÁVRH VÝSADBY ZELENĚ

Postup při návrhu výsadby



Výsadba zeleně - kompozice



Výsadba zeleně – druhové zastoupení

Stromy hlavní úrovně

Abies alba, *Pinus sylvestris*, *Larix decidua*,
Quercus cerris, *Tilia platyphyllos*



Stromy podúrovně

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

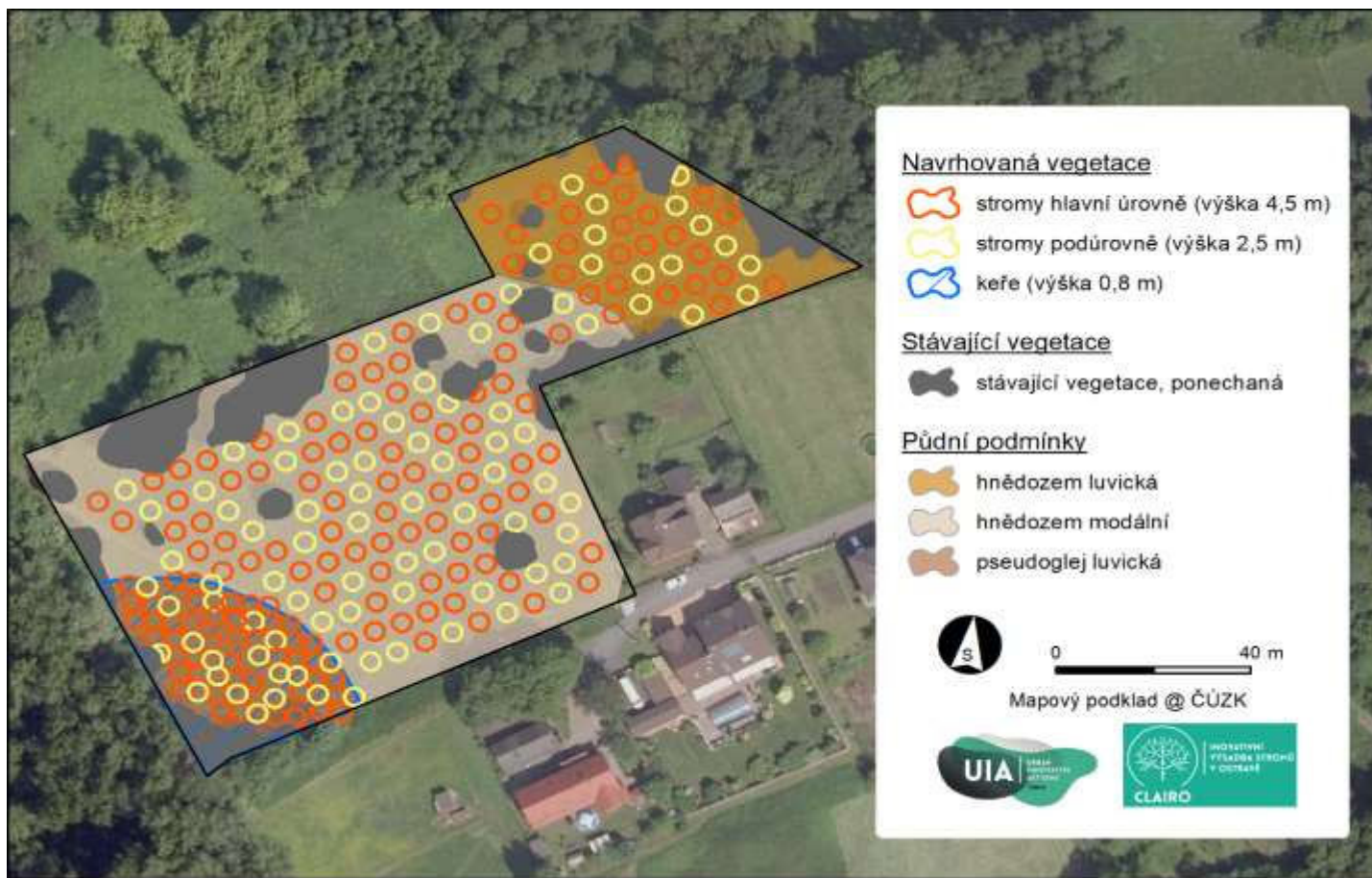


Keře

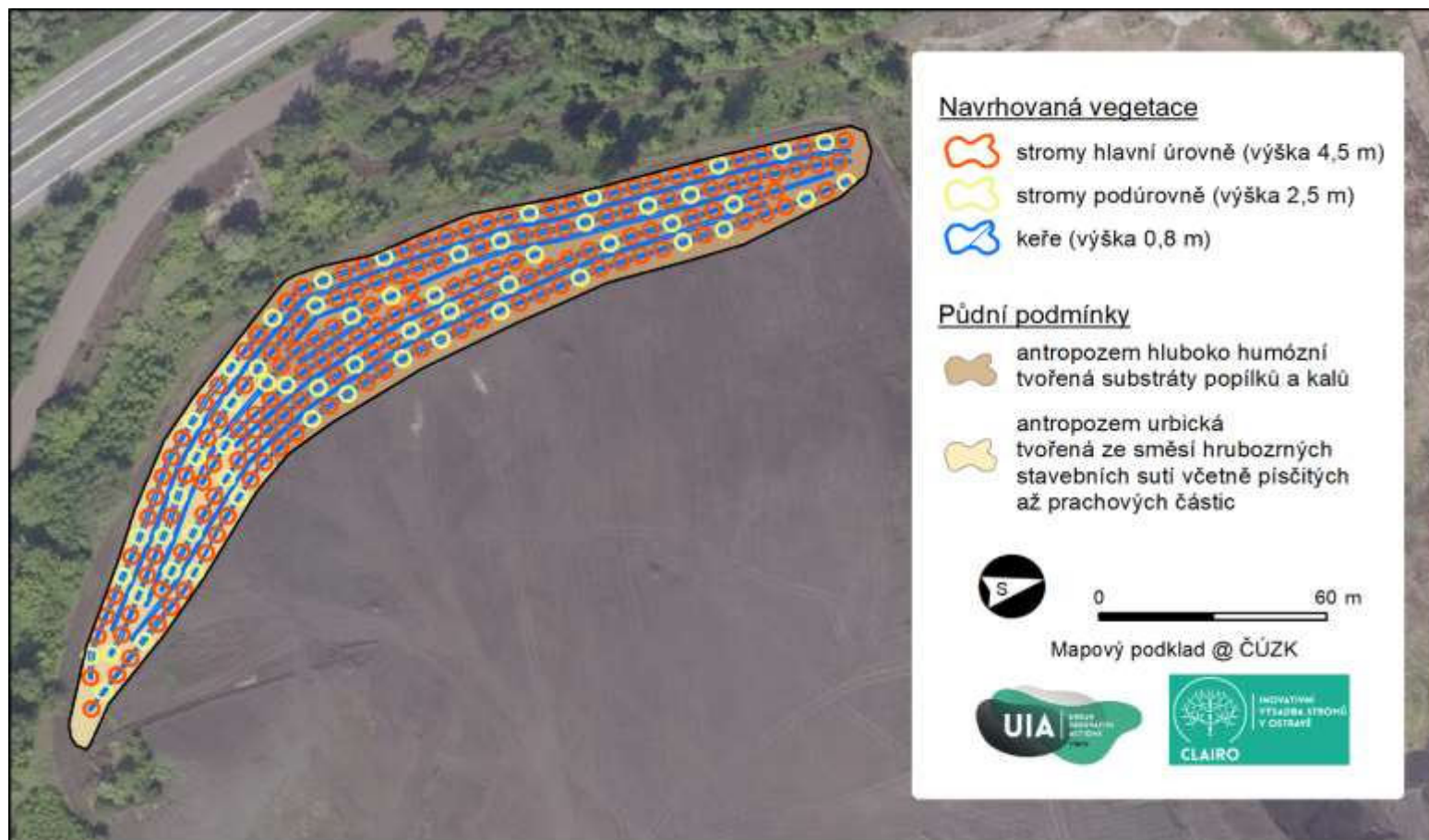
Ribes alpinum, *Sambucus racemosa*,
Ligustrum vulgare, *Lonicera xylosteum*,
Euonymus europaeus, *Viburnum lantana*,
Lonicera xylosteum, *Cornus sanguinea*



Návrh struktury zeleně - Radvanice



Návrh struktury zeleně - Bartovice



Stanovení strukturní parametrů pro záchyt polutantů



A) Výška porostu (m)

- Měřeno přímo pomocí laserového výškoměru (stávající), odvozeno z plánu výsadby (návržená)

B) Index listové plochy (LAI, m² m⁻²)

- Aproximace z ostatních parametrů (dle Nowak, 1996; Nowak et al., 2008):

Výška porostu (h)

Faktor zastínění – druhově specifický (S)

Vnější povrch koruny – výška a průměr koruny (C)

Zdravotní stav (Z)

Plocha porostu (A)

Soliterní dřeviny:

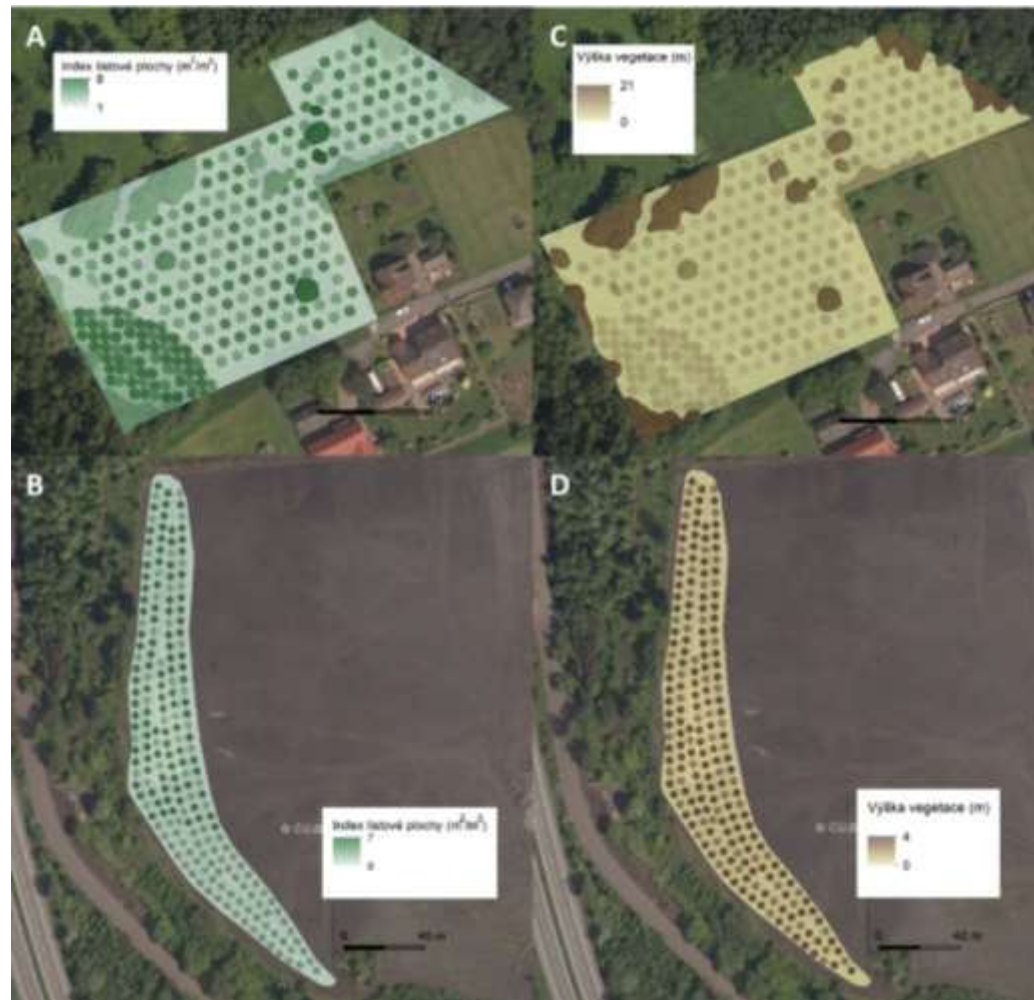
$$\ln(LA) = -4,3309 + 0,2942 \times h + 0,7312 \times d_k + 5,7217 \times S - 0,0148 \times C \times Z$$

Shluky dřevin:

$$LA = [\ln(1 - xs)/-k] \times \pi(dk/2)^2 \times Z$$

$$LAI = LA/A$$

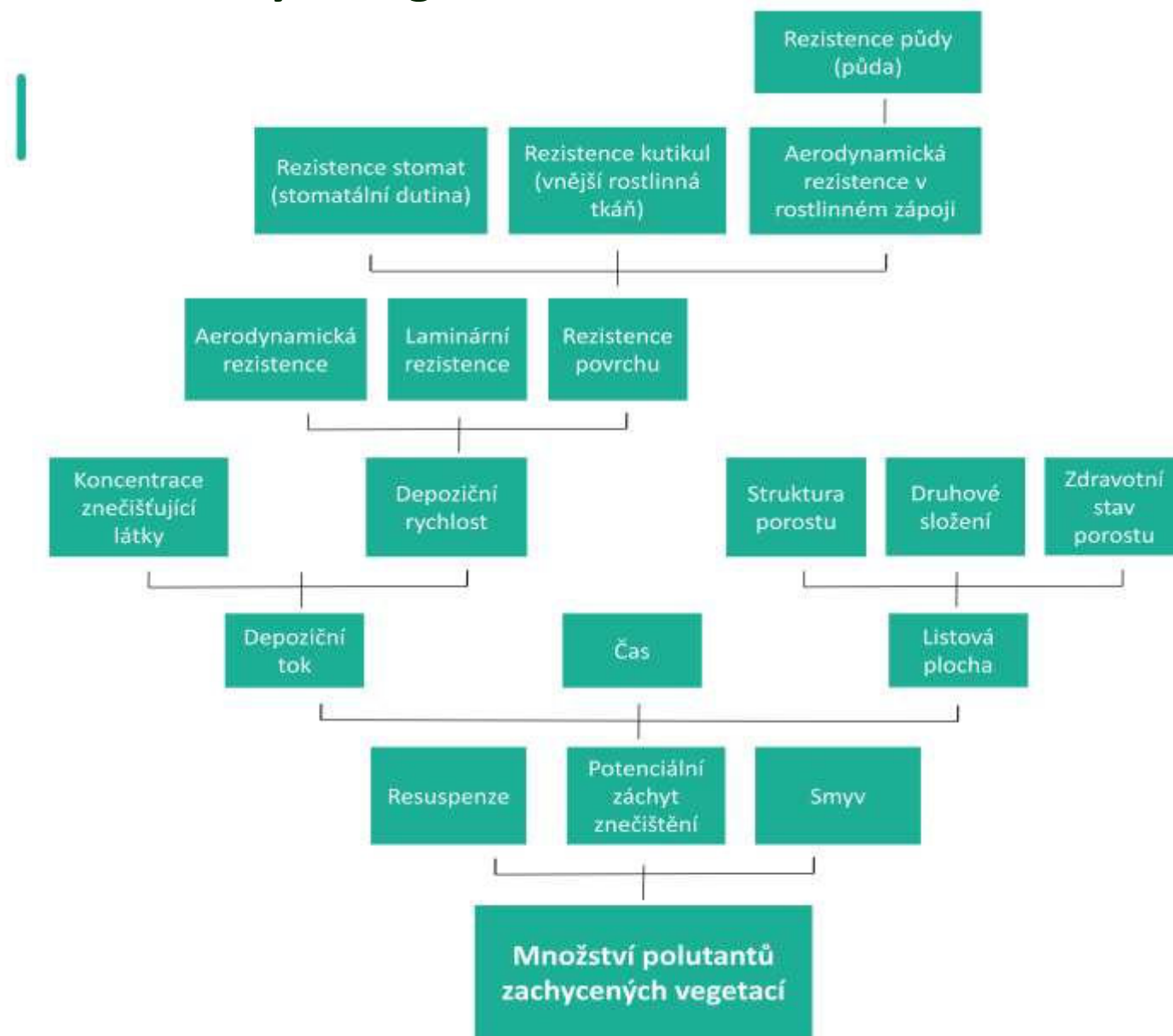
Stanovení strukturní parametrů pro záchyt polutantů



Vstupní parametry LAI (Index listové plochy m^2m^{-2}), (A,C) a výška porostu (m), (C, D) pro navrhovanou a současnou vegetaci (včetně).

MODELOVÁNÍ ZÁCHYTU ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK VEGETACÍ

Modelování záchytu vegetací



$$Q = LAI \times F \times T$$

- Q je množství plynů a částic zachycených vegetací v určité oblasti a určitém časovém období (g m^{-2})
- F je depoziční tok plynů a částic ($\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
- LAI je index listové plochy ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) a T je časové období (s)

$$F = V_d(z) \times c(z)$$

- V_d je depoziční rychlost složky (m s^{-1})
- $c(z)$ je koncentrace složky ve výšce z nad zemí (g m^{-3})

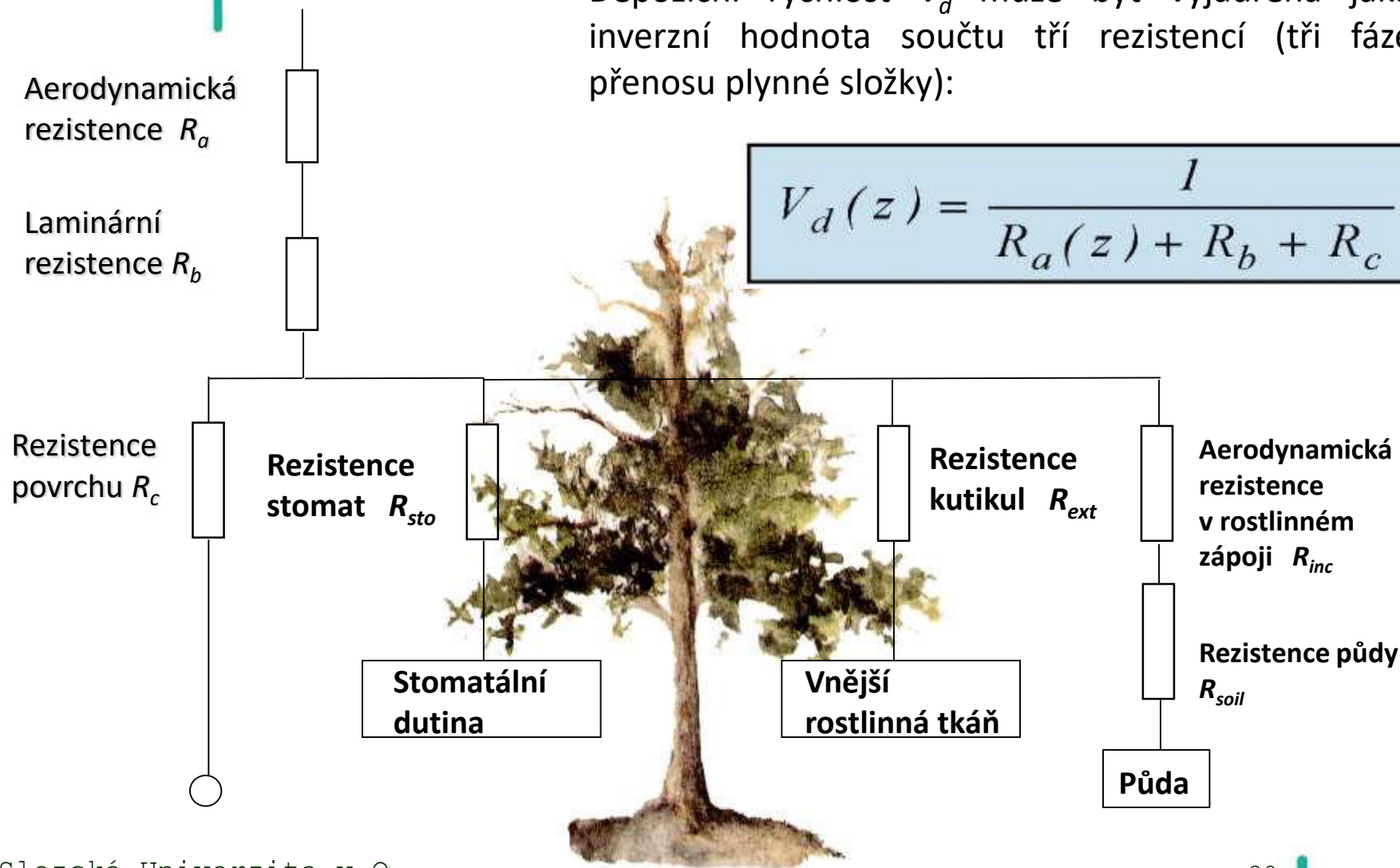
Depoziční tok plynů a částic (F) na povrch receptorů je určen na jedné straně jejich koncentrací v ovzduší a turbulentními přenosovými procesy v hraniční vrstvě atmosféry, na druhé straně jejich chemickými a fyzikálními vlastnostmi a schopností povrchu zachytit nebo absorbovat tyto plyny a částice.

Rezistenční model pro výpočet depoziční rychlosti V_d

Koncentrace plynné složky

Depoziční rychlost V_d může být vyjádřena jako inverzní hodnota součtu tří rezistencí (tři fáze přenosu plynné složky):

$$V_d(z) = \frac{1}{R_a(z) + R_b + R_c}$$



Aerodynamická rezistence R_a reprezentuje přenos plynné složky volnou atmosférou (turbulentní vrstvou) k laminární mezní vrstvě,
laminární rezistence R_b reprezentuje přenos plynné složky přes laminární mezní vrstvu k povrchu,
 R_a a R_b lze modelovat podle Hickse et al. (1987):

$$R_a = [\ln(z/z_0) - \psi_c] / ku_*$$

$$R_b = 5Sc^{2/3} / u_*$$

$$u_* = ku_z / [\ln(z/z_0) - \psi_m]$$

k je von Karmanova konstanta (0.4), u_* je třecí rychlost, u_z je horizontální rychlost větru ve výšce z nad nulovou rovinou posunutí, z_0 je drsnost povrchu, Sc je Schmidtovo číslo, ψ_m je korekční stabilitní funkce pro hybnost a ψ_c je korekční stabilitní funkce stability pro koncentraci znečišťující látky.

Rezistence povrchu R_c reprezentuje různý způsob příjmu plynné složky povrchem a je funkcí (Erisman, Draaijers, 1995):

- **rezistence stomat (R_{sto})**, která je odporem kladeným plynné složce při jejím příjmu průduchy (stomaty),
- **rezistence mezofylu (R_m)**,
- **rezistence vnějšího povrchu rostliny (R_{ext})**, tj. povrchu listů, větví, kmene,
- **aerodynamické rezistence v rostlinném zápoji (R_{inc})**, která je odporem kladeným plynné složce při jejím přenosu skrz vegetaci směrem k půdě a spodním částem rostlinného zápoje;
- **rezistence půdy (R_{soil})**, která je odporem půdy při absorpci plynné složky půdním povrchem.

$$R_c = \left(\frac{1}{R_{sto} + R_m} + \frac{1}{R_{inc} + R_{soil}} + \frac{1}{R_{ext}} \right)^{-1}$$

Rezistence stomat R_{sto} :

$$R_{sto} = R_i(1 + (200/(Q + 0.1))^2)(400/T_s(40 - T_s))$$

je funkcí fotosynteticky aktivní radiace, teploty listů, deficitu tlaku vodních par, vnitřní koncentrace CO₂, vodního potenciálu listu, věku listu a jeho umístění. Obecně rezistence stomat závisí na těchto faktorech nelineárně. V případě, že všechny tyto parametry nejsou dostupné, můžeme použít parametrizaci, kterou uvedl Wesely (1989).

Tato parametrizace vyžaduje pouze data pro globální záření Q (W/m²) a teplotu povrchu T_s (°C) a zavádí pojem vstupní rezistence, na jejímž základě jsou odhadnuty hodnoty rezistence stomat podle klasifikace využití ploch a ročního období.

Tato parametrizace je odvozena z metod, které použil Baldocchi et al. (1987; Zapletal, Chroust, 2007) a vyžaduje pouze data pro globální záření Q (W/m²) a teplotu povrchu T_s (°C).

Hodnoty vstupní rezistence R_i mohou být získány z parametrizace, kterou provedl Wesely (1989). Tento všeobecný postup, používaný pro odvození rezistence stomat pro vodní páru, může být použit pro popis stomatálního příjmu plyných složek, pokud je použit poměr difuzních koeficientů voda/plynná složka a rezistence mezofylu R_m :

$$R_{sto,i} = R_{sto}(D_{H_2O}/D_i) + R_m$$

Vzhledem k nedostatečným znalostem je rezistence mezofylu R_m považována za rovnou nule (Wesely, 1989).

Aerodynamická rezistence v rostlinném zápoji R_{inc} pro vegetaci může být modelována podle (Pul, Jacobs, 1994):

$$R_{inc} = bLAIh / u_*,$$

kde LAI je index listové plochy, h je výška vegetace a b je empirická konstanta rovná 14 m^{-1} .

Depoziční rychlosti částic PM_x

$$V_d = V_{st} + 1.12 \times u_* \times \exp(-30.36 / D_p)$$

$$u_* = 0.4 \times u_z \times (\ln(1200/90) + 0.1)$$

- V_d (cm s^{-1})
- V_{st} je rychlost usazování částic (cm s^{-1})
 - V_{st} pro $PM_{10} = 0,5$ (cm s^{-1})
 - V_{st} pro $PM_{2.5} = 0,02$ (cm s^{-1})
 - V_{st} pro $PM_1 = 0,00757$ (cm s^{-1})
- D_p je velikost částic (μm)
- u_* je třecí rychlost (cm s^{-1})
- u_z je horizontální rychlost větru ve výšce z (m s^{-1})



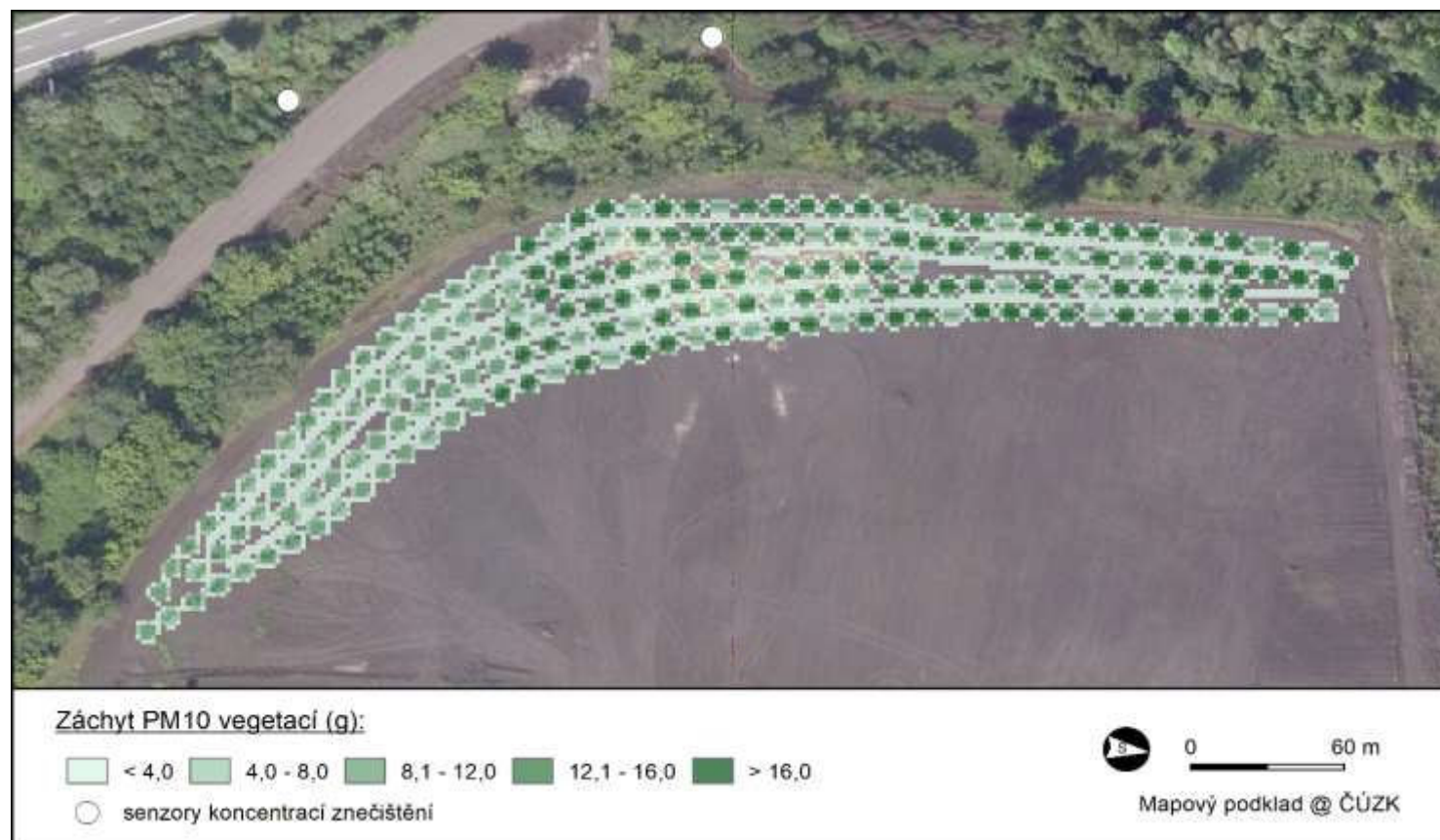
Záchyt PM₁₀ (g) ve stavu před výsadbou (vlevo) a po výsadbě navrhované vegetace (vpravo) v síti 1 x 1 m na lokalitě Radvanice. Modelováno pro období dvou měsíců (na konci vegetační sezony).



Záchyt O₃ (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 PM₁₀ (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.

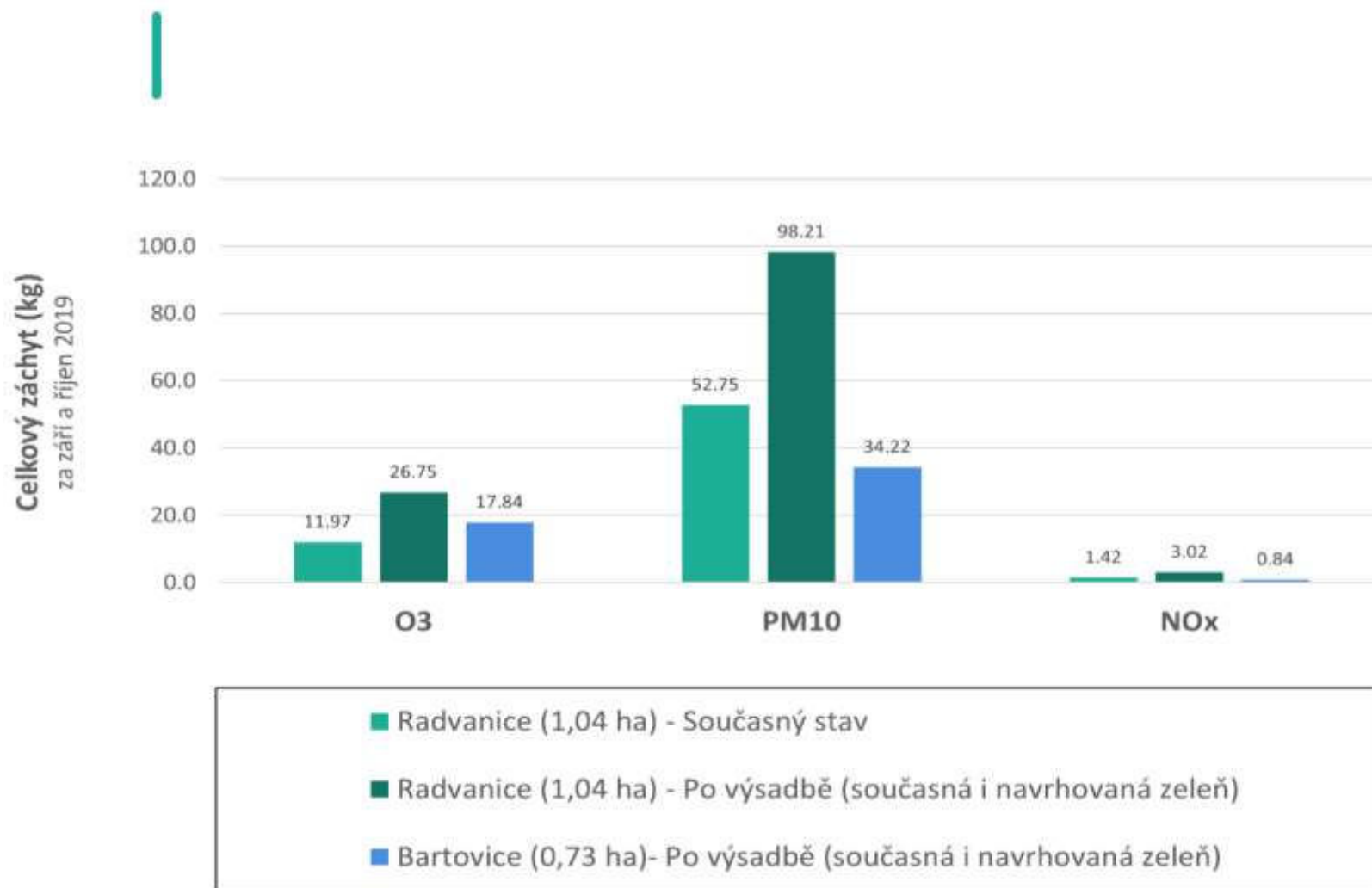


Záchyt O₃ (g) ve stavu po výsadbě navrhované vegetace v síti 1 x 1 m na lokalitě Bartovice. Modelováno pro období dvou měsíců (na konci vegetační sezony). V případě stavu před výsadbou nepředpokládá vzhledem k absenci jakékoliv stávající zeleně významný záchyt znečištění.



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.

Efekt nově vysázené zeleně na zachyt znečištění



ZÁVĚR

1. Zelená infrastruktura přispívá v městském prostředí ke zlepšení stavu ovzduší odstraňováním suspendovaných částic a jiných polutantů zachytem 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 zachytu 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.
3. Pro monitoring efektu působení zelené infrastruktury na lokální stav kvality ovzduší je vhodné umístit v blízkém okolí zeleně senzorovou techniku na měření koncentrace látek znečišťujících ovzduší a meteorologických parametrů. Ta je kvůli jednoduché instalaci a provozu vhodným doplňkovým měřením, které zároveň dokáže odhalit i "nestandardní" situace, včetně času konkrétních událostí.

4. 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.
5. Použití ekologicky šetrných hnojiv obsahujících biostimulanty a fytohormony, které pomáhají rostlinám překonat abiotický stres, může zajistit dlouhodobou životaschopnost stávající i nově vysázené zelené infrastruktury i v silně znečištěném prostředí okolí průmyslových oblastí.
6. Po výsadbě navrhované vegetace lze na základě modelovaných výstupů předpokládat výrazné zvýšení zachytu znečišťujících látek, a to více jak dvojnásobně oproti současnému stavu, a tedy celkově zlepšení stavu ovzduší v dané lokalitě.
7. Představená metodika umožňuje kvantifikaci zachytu částic, přízemního ozonu a oxidů dusíku městskou zelení v lokálním měřítku zohledňující faktické strukturní vlastnosti místní vegetace

Děkujeme za pozornost



Abhijith, K. V, Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., Broderick, B., Di, S., Pulvirenti, B., 2017. Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments e A review. Atmos. Environ. 162, 71–86.

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.

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.

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

Grote, R., Samson, R., Alonso, R., Amorim, J. H., Cariñanos, P., Churkina, G., Fares, S., Thiec, D. L., Niinemets, Ü., Mikkelsen, T. N., Paoletti, E., Tiwary, A., Calfapietra, C., 2016. Functional traits of urban trees: air pollution mitigation potential.

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

Mendelu, 2020. Morfologie listu. Online: https://web2.mendelu.cz/af_211_multitext/obecna_botanika/texty-organologie-morfologie.html.

Novotný, R., Buriánek, V., Šrámek, V., 2009. Metodika hodnocení viditelného poškození vegetace vyvolaného účinky přízemního ozonu : Recenzovaná metodika.



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., 1996. Estimating Leaf Area and Leaf Biomass of Open-Grown Deciduous Urban Trees 42.

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.

Weerakkody, U., Dover, J.W., Mitchell, P., Reiling, K., 2018. Evaluating the impact of individual leaf traits on atmospheric particulate matter accumulation using natural and synthetic leaves. Urban For. Urban Green. 30, 98–107.

Zapletal, M., 2001. Atmospheric deposition of nitrogen and sulphur compounds in the Czech Republic. The ScientificWorld 1, 1 – 10, 2001.

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.





Botanická fotografie, 2020. Pokožkové útvary u rostlin - chlupy a emergence.
Online:<http://www.botanickafotogalerie.cz/novinky.php?lng=czlatName=Pinus>

Mendelu, 2020. Morfologie listu. Online: https://web2.mendelu.cz/af_211_multitext/obecna_botanika/texty-organologie-morfologie.html.

Fotografie stromů převzaty 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