



INNOWACYJNY PROJEKT ZIELENI

INNOVATIVE GREENERY PROJECT

INNOWACYJNY PROJEKT ZIELENI
(Innovative greenery project – O 5.1.1)

Opracowali:

doc. Ing. Miloš ZAPLETAL; Dr., Ing. Pavel SAMEC, Ph.D.;Mgr. Vít

KAŠPAR; Bc. Pavlína VÍCHOVÁ

Uniwersytet Śląski w Opawie, Wydział Fizyki

Mgr. Karel DOLEŽAL, Dr., DSc.

Uniwersytet Palackiego w Ołomuńcu, Wydział Nauk Przyrodniczych, CRH – Zakład Biologii Chemicznej i Genetyki

Mgr. Jiří BÍLEK, Ph.D.

Wyższa Szkoła Górnicza – Uniwersytet Techniczny w Ostrawie, Instytut Technologii Środowiskowych

SPIS TREŚCI

1.	Wprowadzenie	3
2.	Założenia ogólne.....	3
3.	Zasady innowacyjnego nasadzania zieleni	7
3.1	Wybór gatunków.....	7
3.2	Kompozycja	11
3.3	Innowacyjna pielęgnacja nasadzeń.....	21
3.4	Monitoring wychwytywania zanieczyszczeń.....	26
4.	Zakończenie	36
5.	Literatura	37

1. WPROWADZENIE

Ostrawa, trzecie co do wielkości miasto w Czechach, jest stolicą Kraju Morawsko-Śląskiego znajdującego się w północno-wschodniej części Republiki Czeskiej, a także ważna część aglomeracji przemysłowej Europy Środkowo-Wschodniej liczącej prawie 5 milionów mieszkańców żyjących w odległości 100 km w części czeskiej, polskiej i słowackiej.

Po wybudowaniu pierwszej huty w 1828 roku Ostrawa stała się ważnym ośrodkiem przemysłowym kraju, jednak stopień uprzemysłowienia i koncentracji przemysłu ciężkiego w drugiej połowie XX wieku przekroczył granicę nośności i spowodował poważne szkody w środowisku, m.in. ogromne zanieczyszczenie powietrza. Pomimo restrukturyzacji sektora i wielu skutecznych działań podejmowanych w celu poprawy sytuacji (skutkiem było zmniejszenie zanieczyszczenia o prawie 90%), jakość powietrza pozostaje jednym z największych problemów środowiskowych miasta, które należy do grona najbardziej zanieczyszczonych w Europie.

Długotrwale utrzymująca się niższa jakość powietrza skłania miasto i region do podejmowania różnych działań na rzecz poprawy sytuacji. Projekt CLAIRO umożliwia połączenie działalności badawczej trzech najważniejszych uczelni regionalnych we współpracy z instytucjami publicznymi i organizacjami non-profit, a także zaangażowanie społeczeństwa w celu realizacji innowacyjnych rozwiązań w zakresie rozwoju miasta.

2. ZAŁOŻENIA OGÓLNE

Według wyników zamieszczonych w bazie danych Systemu informacji o jakości powietrza Czeskiego Instytutu Hydrometeorologicznego CHMI ISKO dla zarządzania jakością powietrza, do 2014 roku większość stacji monitoringu w Ostrawie odnotowała przekroczoną wartość obowiązujących limitów zanieczyszczenia powietrza pyłami zawieszonymi PM_{10} i $PM_{2,5}$. Przekroczona została wartość $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rocznego limitu zanieczyszczenia powietrza, a wartość $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dobowego stężenia PM_{10} została przekroczona ponad 35 razy w większości stacji w Ostrawie już w kwietniu. W 2018 r. średnie roczne stężenie na stacji Ostrawa Radwanice ZU (ISKO 1650) wyniosło $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (110% limitu), a stacja zajęła 1. miejsce na liście stacji przekraczających obowiązujący limit PM_{10} . Średnie roczne stężenie $PM_{2,5}$ wyniosło $36,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (148% limitu). Limit dzienny został przekroczony 89 razy na stacji ISKO 1650 oraz 70 razy na stacji ISKO 1940 (Radwanice OZO). (Rocznik tabelaryczny ISKO CHMI 2019).

Najpoważniejszym zanieczyszczeniem na tym obszarze jest benzo(a)piren, który może być szkodliwy dla zdrowia. Roczne dopuszczalne stężenie wynosi 1 ng i jest stale przekraczane na obu stacjach w Radwanicach. W 2018 r. na stacji ISKO 1650 odnotowano wartość $7,7 \text{ ng}/\text{m}^3$, a na stacji ISKO 1940 wartość $4,7 \text{ ng}/\text{m}^3$. Ta sytuacja nie zmienia się od dłuższego czasu i stwarza zwiększone zagrożenie dla zdrowia.

Południowo-wschodnia część Ostrawy to jedno z najgorszych miejsc pod względem zanieczyszczenia powietrza w

zróżnicowany i bogatszy pod względem różnorodności gatunkowej. Znajdują się tu rozproszone pojedyncze drzewa i mniejsze drzewostany. Na obrzeżach terenu rozciąga się drzewostan leśny. W przeciwieństwie do Bartowic, w tej lokalizacji występuje również piętro runa leśnego. Teren jest bardziej wilgotny, co znajduje odzwierciedlenie w występowaniu gatunków drzew lubiących wilgoć, zwłaszcza w okolicznych drzewostanach. Rosną tu na przykład wierzby, olchy. Znajduje się tutaj kilka elementów technicznych, które zapewniają monitorowanie jakości powietrza. Całkowita powierzchnia w Radwanicach wynosi 12.175,5 m².



Lokalizacja w Bartowicach jest reprezentowana przez zachodnie i południowo-zachodnie obrzeża składowiska odpadów przemysłowych na działce 1217. Obecnie na tym terenie nie ma żadnych elementów technicznych ani roślinnych. Jest to więc całkowicie pusty obszar. W bezpośrednim sąsiedztwie, na wschód od wybranego terenu, są już realizowane nowe nasadzenia elementów roślinności drzewiastej, natomiast w kierunku zachodnim znajduje się polna droga. Całkowita powierzchnia w Bartowicach sięga 8000 m².



Oprócz ogólnych zasad tworzenia zielonej infrastruktury opartej na lokalnej asocjacji glebowej i pierwotności gatunków w danym regionie, zielona infrastruktura powinna również uwzględniać maksymalną mitygację zanieczyszczenia powietrza i wychwytywanie substancji szkodliwych.

Przede wszystkim roślinność usuwa zawieszone cząstki i inne zanieczyszczenia poprzez ich wychwytywanie na powierzchni liści (Cavanagh et al., 2006). Ilość sedymentowanych cząstek zależy m.in. od wielkości, ew. masy pyłu zawieszonego oraz prędkości przepływu (Janhäll, 2015). Po osadzeniu na liściach drobne cząstki poniżej 1 μm mogą zostać przefiltrowane przez aparaty szparkowe liści do przestrzeni międzykomórkowych, gdzie dochodzi do ich absorpcji. Większe cząstki pozostałe na powierzchni roślin mogą być ponownie zawieszone w atmosferze, wypłukane przez opady lub osadzone na ziemi po opadnięciu liści (Nowak et al. 2006).

Ponadto roślinność miejska wpływa na stężenie cząsteczek zawieszonych w powietrzu poprzez pośrednią zmianę środowiska atmosferycznego w miastach. Główny mechanizm polega w szczególności na zmniejszeniu prędkości przepływu powietrza (Froelich, Schmid, 2006). Roślinność pełni funkcję efektywnego wiatrochronu. Po stronie zawietrznej, na skutek zmniejszenia prędkości przepływu, cząstki zawieszone osadzają się na ziemi i następuje obniżenie ich ogólnego stężenia w powietrzu (Raupach et al. 2001). Roślinność wpływa również na miejscowe warunki termiczne. Lokalny spadek temperatur dobowych wynika głównie z ograniczonej ilości światła słonecznego przechodzącego przez zwarcie drzewostanu i zwiększoną ewapotranspirację (Löfvenius 1993). Temperatury powietrza są przy tym kluczowe przy powstawaniu wielu zanieczyszczeń. Lokalne obniżenie temperatury powietrza ma zatem częściowy wpływ także na obniżenie stężenia zanieczyszczeń w powietrzu.

Oba mechanizmy redukcji zanieczyszczeń powietrza są uwarunkowane strukturą drzewostanu. Istotną rolę odgrywa już sam kształt i rozmieszczenie liści lub igieł, a także chropowatość ich powierzchni (Florentina i Io, 2012). Znaczenie mają nie tylko właściwości organów roślinnych i ich rozmieszczenie, ale także ogólna struktura drzewostanu, czyli wysokość i gęstość zwarcia, kształt korony i układ rozgałęzienia (Litschke i Kuttler 2008). Ogólnie uznaje się, że im większa powierzchnia masy zielonej na jednostkę powierzchni, tym wyższe wychwytywanie zanieczyszczeń. W rezultacie dojrzałe, gęste drzewostany kilkupiętrowe są znacznie bardziej skuteczne niż roślinność niska, składająca się tylko z runa leśnego (Lovett 1994; Powe i Willis 2004; Nowak i Heisler 2010).

Ważnym czynnikiem zieleni jest także roczna zmienność jej właściwości strukturalnych w ciągu roku. Badania eksperymentalne wykazały znacznie wyższe wychwytywanie zanieczyszczeń na powierzchni drzew zimozielonych w ciągu roku w porównaniu z drzewami o opadających liściach lub igłach, których zdolność wychwytywania poza okresem wegetacyjnym jest ograniczona (Freer-Smith et al., 2005).

Istotne działania redukujące zanieczyszczenia wykazują również zielone ściany wysokich budynków, tzw. ogrody wertykalne (Pugh et in., 2012). Często bowiem na ulicach gęsto zabudowanego środowiska miejskiego występuje zjawisko spowalniania przepływu powietrza przez ściany boczne budynków, co prowadzi do większego stężenia pyłu unoszącego się w powietrzu. Strategiczne położenie tych zielonych ścian może jednak skutecznie wychwytywać tego typu zanieczyszczenia. Podobnie korzystny wpływ ma również nasadzenie roślinności na dachach budynków (Currie i Bass, 2008).

3. ZASADY INNOWACYJNEGO NASADZANIA ZIELENI

3.1 WYBÓR GATUNKÓW

Dobór gatunków roślin odbywał się na podstawie dostępnych materiałów naukowych dotyczących nasadzenia zielonej infrastruktury na terenach mieszkaniowych. Struktura nasadzeń zieleni została

zaprojektowana w celu monitorowania funkcji filtracji powietrza i odporności roślin na terenach obciążonych zanieczyszczeniami przemysłowymi. Realizacja celów eksperymentu polegała na zaprojektowaniu zwartego, zróżnicowanego zbiorowiska drzew. Projekt zwartego zbiorowiska drzew został opracowany zgodnie z kryteriami gospodarki leśnej. Posłużono się kryteriami zróżnicowania siedlisk, projektowania mieszanek drzew oraz gęstości nasadzeń.

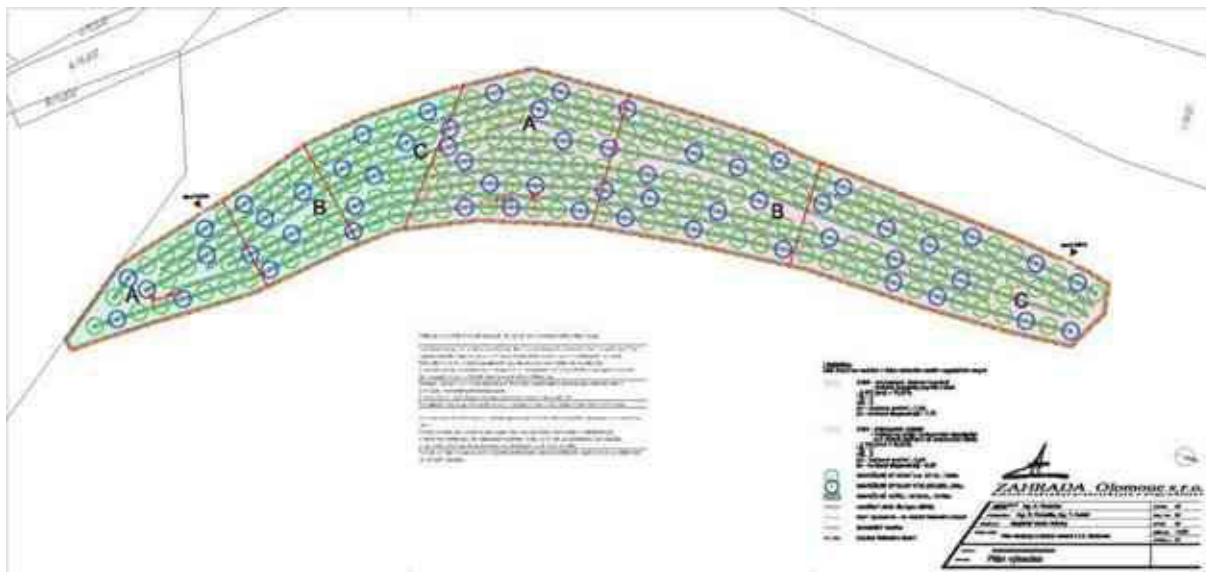
Projekt struktury zbiorowiska drzew koncentrował się na odpowiednich dla siedliska gatunkach drzew w mieszanekach o podobnych wymaganiach ekologicznych dotyczących między innymi piętrowości, osłony ekologicznej i efektywnej filtracji powietrza. Osłona ekologiczna i maksymalizacja wychwytywania zanieczyszczeń będą zapewnione przez uprawę roślin drzewiastych w zwartym połączeniu.

Parametry kompozycji doboru gatunkowego zostały określone z uwzględnieniem powiązań ekologicznych poszczególnych gatunków oraz ich wymagań wobec danego siedliska, które scharakteryzowano na podstawie analizy gleby. Poszczególne mieszanek gatunkowe są kompatybilne pod względem wzrostu i wymagań – piętra nie konkurują między sobą wzrostem i agresywnością, natomiast podrost toleruje zacienienie. Układ gatunków nie odgrywa znaczącej roli, jednak z uwagi na regularne rozmieszczenie, sadzenie będzie przeprowadzane według dokładnego schematu nasadzenia. Rozmieszczenie gatunków wyższych drzew w stosunku do podrostu oraz ich bardziej regularne rozmieszczenie w terenie zapewnia dobrą skuteczność wychwytywania.

Badania eksperymentalne pozwalają zweryfikować funkcje zieleni w obszarze nasadzeń przed realizacją na całym terenie. Zakres doświadczenia jest dostosowany do panujących warunków wzrostu, w tym obciążeń środowiska w rejonie projektowanych nasadzeń (ryc. 1). W celu należytej weryfikacji konieczne jest uzyskanie zwartego drzewostanu. W ramach doświadczenia porównuje się stan wyjściowy bez dostatecznie funkcjonalnej zielonej infrastruktury ze zmianą po osiągnięciu faz zrównoważonego wzrostu w kilku wariantach składu i struktury gatunkowej (ryc. 2)



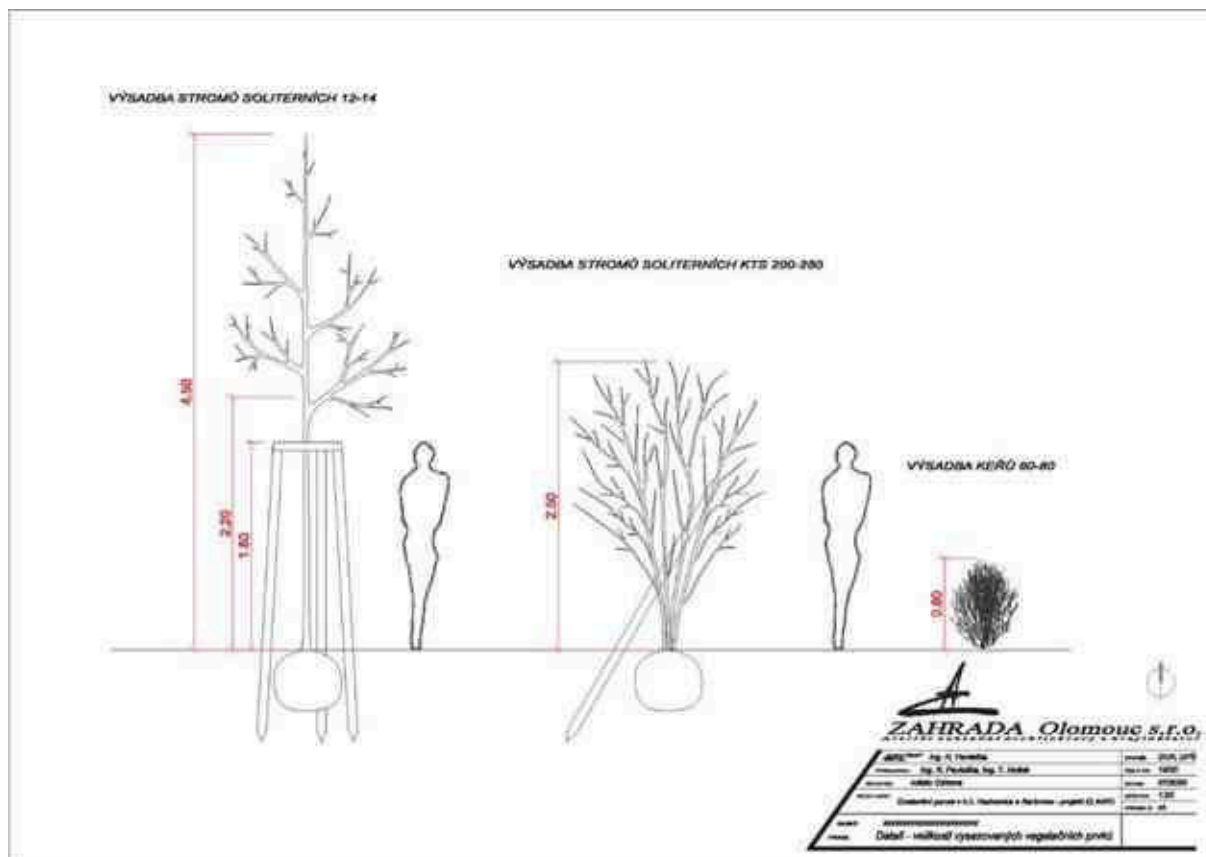
Ryc. 1. Plan nasadzeń drzew na terenie eksperymentalnej lokalizacji obwodu miejskiego Ostrawa-Radwanice koncentruje się na zachowanych warunkach siedliskowych typowych dla szerszego regionu Kotliny Ostrawskiej, gdzie proponowany skład drzewostanu składa się z gatunków rodzimych geograficznie.



Ryc. 2. Plan nasadzeń drzew w lokalizacji Ostrawa - Bartowice dotyczy gleb silnie przekształconych antropogenicznie na skutek skażenia materiałami odpadowymi, gdzie proponowany skład drzewostanu opiera się na porównaniu mieszanek odpornych gatunków obcych i gatunków pionierskich.

Proces projektowania struktury zieleni uwzględnia kryteria materiału nasadzeniowego, allelopatii i uprawy. Przy wyborze uwzględniono następujące zasady:

- Materiał nasadzeniowy sadi się zgodnie z odpowiednimi normami obowiązującymi na danym obszarze. Do sadzenia wykorzystuje się sadzonki z bryłą korzeniową.
- Preferowane są niemodyfikowane formy roślin z wyjątkiem eksperymentu porównującego formy rodzime i obce. Rodzime gatunki roślinne są wybierane wyłącznie z geograficznie pierwotnych, niemodyfikowanych populacji w celu zachowania puli genowej. Formy modyfikowane są dozwolone tylko w przypadku niedostępności form niemodyfikowanych przy proponowanych gatunkach obcych.
- Preferowany jest materiał nasadzeniowy uprawiany zgodnie z warunkami panującymi na siedlisku. Przenoszenie materiału rozmnożeniowego jest dozwolone wyłącznie zgodnie z prawem międzynarodowym lub przepisami krajowymi.
- Rozróżnienie pięter koron drzew i piętra podszytu. Piętro koron drzew jest rozdzielone na poziom główny i podpoziom.
- Preferowane są drzewa o wysokości do 4 m dla poziomu głównego i do 3 m dla podpoziomu. W przypadku braku na rynku wystarczającej liczby gatunków drzew o wymaganej wysokości lub w razie potrzeby poprawy uprawy na skutek nagłego wyginięcia ponad 20 % drzew, pozostała część typu siedliska zostanie obsadzona sadzonkami min. dwukrotnie szkółkowanymi wszystkich drzew tego samego gatunku w określonej wieżbie (ryc. 3). W przypadku braku wystarczającej liczby drzew, dostarczone drzewa zostaną równomiernie posadzone w każdym wyznaczonym wieloboku wariantu zieleni, a pozostałe powierzchnie zostaną uzupełnione sadzonkami min. dwukrotnie szkółkowanymi.



Ryc. 3. Preferované wysokości sadzonek drzew i krzewów do badań eksperymentalnych w antropogenicznie zaburzonych warunkach obszarów przemysłowych.

Preferowane są gatunki o podwyższonej odporności na zanieczyszczenia powietrza. Odporność roślin drzewiastych jest określana na podstawie klasyfikacji stopnia tolerancji obciążenia depozycją siarki i azotu, ozonu troposferycznego i cząstek stałych pyłu. Na terenach przemysłowych o podwyższonych stężeniach ozonu troposferycznego należy przy projektowaniu zielonej infrastruktury zwrócić uwagę na wrażliwość proponowanej zieleni na to zanieczyszczenie. Ocena wrażliwości roślinności na ozon troposferyczny opiera się na Metodologii oceny widocznych uszkodzeń roślinności spowodowanych oddziaływaniem ozonu przyziemnego (Novotný et al., 2009). Preferowane są gatunki drzew o nieopadających igłach, które mogą wychwytywać zanieczyszczenia przez cały rok.

Wybór gatunków był uwarunkowany maksymalizacją pokrycia liściowego, na którym odbywa się filtracja powietrza. Preferowane były gatunki o gęsto rozgałęzionej koronie i dużej ilości zielonej masy, które zostały uzupełnione gatunkami drzew o nieopadających igłach wychwytyjących zanieczyszczenia przez cały rok.

3.2 Kompozycja

Parametry kompozycji doboru gatunkowego zostały określone z uwzględnieniem powiązań ekologicznych poszczególnych gatunków oraz ich wymagań wobec danego siedliska, które scharakteryzowano na podstawie analizy gleby.

Poszczególne mieszanki gatunkowe są kompatybilne pod względem wzrostu i wymagań – piętra nie konkurują między sobą wzrostem i agresywnością, natomiast podrost toleruje zacienienie. Układ gatunków nie odgrywa znaczącej roli, jednak z uwagi na regularne rozmieszczenie, sadzenie będzie przeprowadzane według dokładnego schematu nasadzenia. Rozmieszczenie gatunków wyższych drzew w stosunku do podrostu oraz ich bardziej regularne rozmieszczenie w terenie zapewnia dobrą skuteczność wychwytywania.

Kompozycja projektowanej zieleni polegała na przestrzennym zróżnicowaniu wielopiętrowej reprezentacji zbiorowisk drzew i krzewów. Wybór uwzględniał kryteria:

- 1) Rozróżnienie dwóch pięter koron drzew i piętra podszytu w celu maksymalizacji zagęszczenia zwarcia w miejscach najwyższego zanieczyszczenia. Piętro koron drzew jest podzielone na poziom główny i podpoziom.
- 2) Preferowane drzewa o wysokości do 4 m dla poziomu głównego i do 3 m dla podpoziomu.
- 3) Minimalne odstęp między drzewami z uwzględnieniem ich wymagań przestrzennych w stanie dojrzałym. Projekt wysiewu odbywał się w sieci równomiernie regularnej (najlepiej sześciokątnej).

Zob. także 3.1 Wybór gatunków i ryc. 1, 2, 3.

Główną korzyścią badania jest możliwość porównania badanych wartości na różnych typach odmiennych drzewostanów.

Proponowane rozwiązanie ma zastosowanie na innych obszarach o podobnych właściwościach gleby.

Główną zaletą wybranej kompozycji jest odpowiednia odporność mieszanek gatunkowych na suszę oraz skuteczność wychwytywania cząstek pyłu przez cały rok dzięki domieszce drzew iglastych.

Jedną z wielu zalet zieleni miejskiej jest jej zdolność do usuwania substancji szkodliwych z powietrza, a tym samym zmniejszania dolegliwości zdrowotnych, jakie te substancje powodują w wyższych stężeniach. Dotyczy to w szczególności ozonu, tlenu azotu (NO_x) i cząstek stałych (PM_{10}), które mają negatywny wpływ na zdrowie człowieka i środowisko.

Zieleń miejska ma duży wpływ na poprawę jakości powietrza, co potwierdzają m.in. Nowak (1994) oraz Beckett et al. (2000). Wpływ roślinności na wychwytywanie zawieszonych cząsteczek zależy od jej właściwości. Ważnym aspektem jest przy tym kształt oraz rozmieszczenie liści i igieł, a także chropowatość ich powierzchni (Florentina and Io, 2012). Znaczenie mają nie tylko właściwości organów roślinnych, ale także ogólna struktura drzewostanu, czyli wysokość, zwarcie i układ przestrzenny rozgałęzienia (Litschke i Kuttler, 2008). Ogólnie uznaje się, że im większa powierzchnia masy zielonej, tym większe wychwytywanie zanieczyszczeń. W rezultacie dojrzałe drzewa są znacznie bardziej skuteczne niż roślinność niska, składająca się tylko z runa leśnego (Lovett 1994; Powe i Willis,

2004). Kiss et al. (2015) stwierdził, że średnia wartość wychwycenia zanieczyszczeń przez jedno drzewo wynosi około 200-400 g/rok. Dlatego też obszary z większą reprezentacją drzew w środowisku miejskim, takie jak parki i ogrody, mogą osiągnąć nawet czterokrotnie lepszą jakość powietrza (Nowak i Heisler, 2010). W związku z tym, że właściwości roślinności zmieniają się w ciągu roku, wychwytywanie cząsteczek również odznacza się zmiennością sezonową. Badania eksperymentalne wykazały znacznie wyższe wychwytywanie cząsteczek przez drzewa iglaste w ciągu roku w porównaniu z drzewami liściastymi, w przypadku których zdolność do wychwytywania cząsteczek wyraźnie spada po opadnięciu liści poza sezonem wegetacyjnym (Freer-Smith et al., 2005).

Oceniono zdolność wychwytywania zanieczyszczeń powietrza na przykładzie O_3 , NO_x i PM_{10} w istniejącej i projektowanej zieleni miejskiej różnego typu i lokalizacji z wykorzystaniem powierzchni modelowych na terenie miasta Ostrawy. Na podstawie przeprowadzonego badania dendrometrycznego (wysokość, średni rzut korony) oraz określenia reprezentacji gatunkowej i stanu zdrowotnego stwierdzono, że odmienne typy roślinności mają różny wskaźnik pokrycia liściowego (LAI). Wykonano szczegółową inwentaryzację roślinności i przeprowadzono aproksymację wartości LAI oraz wysokości drzewostanu. Dzięki temu możliwe było modelowanie wychwytywania istniejącej i projektowanej zieleni w obu lokalizacjach (Radwanice, Bartowice) w szczegółowej siatce 1 x 1 m.

Istniejąca roślinność

Badanie istniejącej roślinności na obszarze lokalizacji A – Radwanice przeprowadzono w sierpniu i wrześniu 2019 r. Badania terenowe na obszarze lokalizacji B – Bartowice wykazały, że na tym terenie nie znajduje się żadna roślinność, która miałaby znaczący wpływ na wychwytywanie zanieczyszczeń powietrza, dlatego wychwyty przy istniejącym stanie roślinności określono jako zerowy.

Badanie roślinności w lokalizacji A - Radwanice zostało podzielone na biotopy zbiorowisk trawiasto-ziolowych oraz występowanie roślin drzewiastych. Zbiorowiska trawiasto-ziolowe składały się z gatunków *Arrhenatherum elatius* i *Poa trivialis*, które osiągnęły średnią wysokość 0,3 metra. Występowanie gatunków drzew zinventaryzowano jako pojedyncze drzewa i krzewy (solitery) lub skupiska wielu gatunków drzew (zbiorowiska). Drzewa rosnące samotnie zostały określone na podstawie cech morfologicznych według San-Miguel-Ayanz et al. (2016). Wyznaczono taksony wszystkich drzew, wysokość (h) za pomocą wysokościomierza cyfrowego z dalmierzem ultradźwiękowym, następnie średni rzut korony (dk) oraz stan zdrowotny na podstawie niespecyficznych symptomów uszkodzenia pnia, korony, zaburzeń rozwoju gałęzi oraz występowania grzybów niszczących drewno lub butwienia (Korf 1972; Kandler i Innes 1995). Skupiska drzew zostały scharakteryzowane za pomocą średniej wysokości drzewostanu, średnicy koron oraz występowania niespecyficznych uszkodzeń (Keller et al. 1997). Rzut koron zwartych zbiorowisk drzew został odczytany jako najdłuższa oś skupienia. Cechy istniejącej roślinności zidentyfikowane na podstawie inwentaryzacji terenowej zestawiono w Tab. 1.

Tab. 1. Tabela poglądowa charakterystyk drzew na podstawie inwentaryzacji terenowej, lokalizacja A – Radwanice.

Numer identyfikacyjny	Występowanie	Takson (dominujący)	Wysokość Korony (m)	Przeciętna średnica korony (m)	Uszkodzenie (%)
1	soliter	<i>Salix caprea</i>	12	7	26 – 50
2	soliter	<i>Crataegus monogyna</i>	6	4	11 – 25
3	soliter	<i>Juglans regia</i>	8	7	1 – 10
4	soliter	<i>Juglans regia</i>	13	10	1 – 10
5	zbiorowisko	<i>Juglans regia</i>	12	13	11 – 25
6	zbiorowisko	<i>Crataegus monogyna</i>	10	7	11 – 25
7	soliter	<i>Juglans regia</i>	11	10	1 – 10
8	soliter	<i>Juglans regia</i>	9	6	1 – 10
9	soliter	<i>Crataegus monogyna</i>	8	6	1 – 10
10	soliter	<i>Acer negundo</i>	11	7	1 – 10
11	zbiorowisko	<i>Salix caprea</i>	14	20	1 – 10
12	zbiorowisko	<i>Alnus glutinosa</i>	30	20	26 – 50
13	zbiorowisko	<i>Fraxinus sp.</i>	25	14	26 – 50
14	zbiorowisko	<i>Alnus glutinosa</i>	22	4	11 – 25
15	zbiorowisko	<i>Acer negundo</i>	10	3	1 – 10
16	zbiorowisko	<i>Salix caprea</i>	13	33	1 – 10
17	zbiorowisko	<i>Populus tremula</i>	25	11	11 – 25
18	zbiorowisko	<i>Populus tremula</i>	25	5	11 – 25
19	zbiorowisko	<i>Salix Fragilis</i>	20	6	11 – 25

Pozycjonowanie poszczególnych drzew zostało przeprowadzone na podstawie wektoryzacji ortofotomapy lotniczej o rozdzielczości 0,2 metra, wykonanej w 2018 r. przez Czeski Urząd ds. Geodezji, Kartografii i Katastru (Český úřad zeměměřický a katastrální). Ich położenie na terenie lokalizacji A – Radwanice przedstawia rys. 4.



Ryc. 4. Mapa pogładowa istniejącej roślinności na terenie lokalizacji A – Radwanice. Opracowano na podstawie ortofotomapy z 2018 roku dystrybuowanej przez Czeski Urząd ds. Geodezji, Kartografii i Katastru. Numery odpowiadają numerom identyfikacyjnym w Tab. 1.

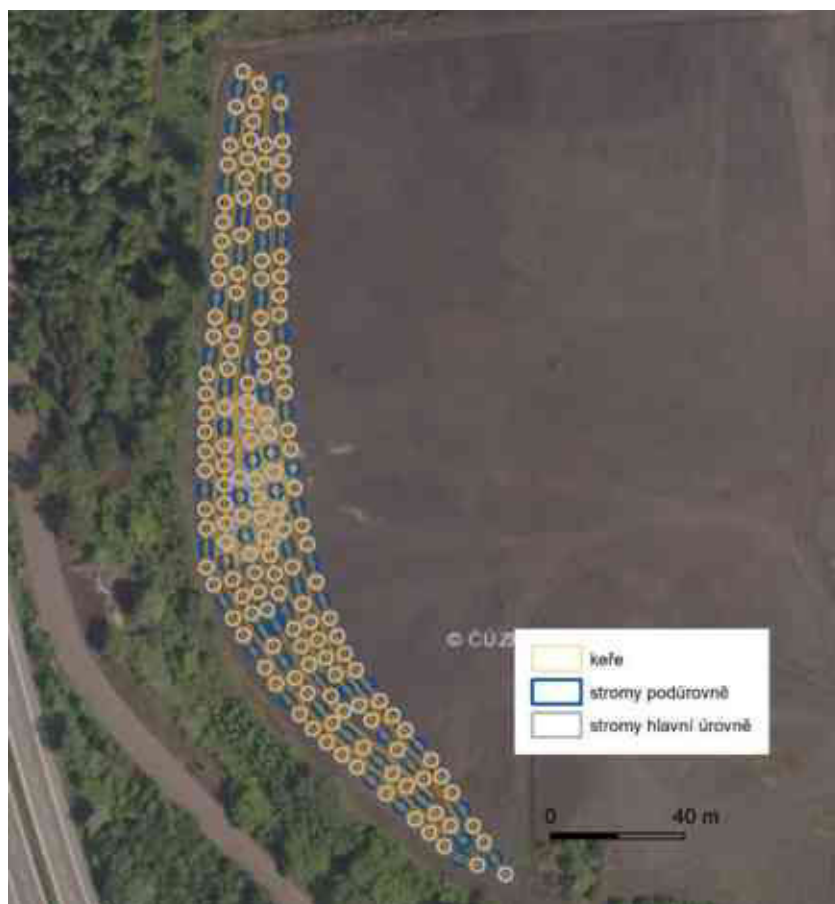
Projektowana roślinność

Charakterystyki projektowanej roślinności zostały określone w oparciu o ustalone atrybuty i skład gatunkowy zawarty w dokumentacji projektowej planu nasadzeń. Wyróżniono następujące atrybuty: wysokość projektowanego nasadzenia, skład gatunkowy oraz średni rzut korony. Założono, że stan zdrowotny nowych nasadzeń jest doskonały, tj. bez uszkodzeń. Wysokość roślinności określono na 4,5 metra dla drzew pojedynczych głównego poziomu pionowego, 2,5 metra dla drzew wielopniowych podpoziomu i 0,80 metra dla krzewów. Średni rzut korony określono na 4 metry.

Układ przestrzenny proponowanego nasadzenia określono na podstawie rysunków planu nasadzeń, którym nadano georeferencję w środowisku GIS za pomocą punktów granicznych działek katastralnych. Poszczególne sadzone drzewa były wektorowane, po czym przypisano im powyższe atrybuty. (Ryc. 5 i 6).

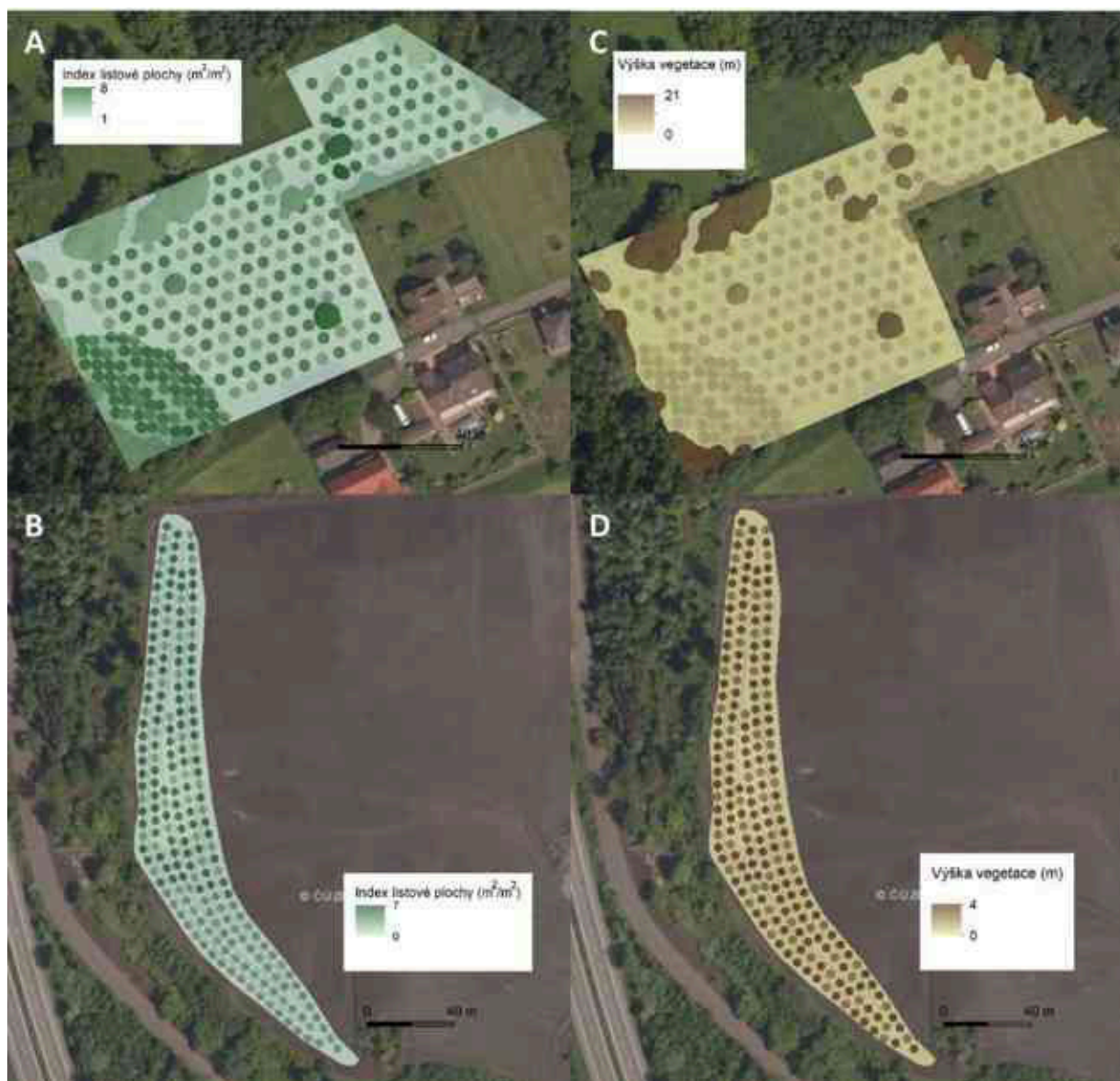


Ryc. 5. Rozmieszczenie projektowanej roślinności w lokalizacji A – Radwanice, wektorowanej według dokumentacji planu nasadzeń. Opracowano na podstawie ortofotomapy z 2018 roku.



Ryc. 6. Rozmieszczenie projektowanej roślinności w lokalizacji B – Bartowice, wektorowanej według dokumentacji planu nasadzeń. Opracowano na podstawie ortofotomapy z 2018 roku.

Na podstawie tych atrybutów wyznaczono dla projektowanej roślinności, podobnie jak w przypadku istniejącej zieleni, parametry wejściowe LAI oraz wysokość drzewostanu. W miejscach nasadzeń krzewów określono 1,5 wartości LAI. W miejscach z pięciem runa leśnego, podszytu i koron drzew, wszystkie wartości LAI zostały zsumowane. W przypadku parametru wysokości drzewostanu przyjęto wartość najwyższej wysokości roślinności w danym miejscu. Na końcu określono wartości LAI dla projektowanej i istniejącej roślinności łącznie przez zsumowanie wartości LAI w obu stanach. W przypadku parametru wysokości drzewostanu przyjęto z obu stanów wartość najwyższej wysokości roślinności w danym miejscu (ryc. 7).



Ryc. 7. Parametry wejściowe LAI (Wskaźnik pokrycia liściowego m^2/m^2), (A, B) i wysokość drzewostanu (m), (C, D) dla projektowanej i istniejącej roślinności (włącznie).

Wychwyt ozonu, tlenków azotu i cząstek PM10 przez roślinność

Kwantyfikacja wychwytu (Q) zanieczyszczenia przez istniejącą i projektowaną roślinność w danym miejscu (Radwanice, Bartowice) w danym okresie czasu (wrzesień – październik 2019) została obliczona na podstawie wzoru (Janhäll, 2015):

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

gdzie Q to ilość gazów i cząstek wychwyconych przez roślinność w określonym obszarze i czasie ($g \cdot m^{-2}$), F to szybkość depozycji gazów i cząstek ($g \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$), LAI to wskaźnik pokrycia liściowego ($m^2 \cdot m^{-2}$), a T to okres czasu (s).

Szybkość depozycji (F) gazów i cząstek została określony na podstawie zmierzonych stężeń tych składników i odpowiednich szybkości depozycji:

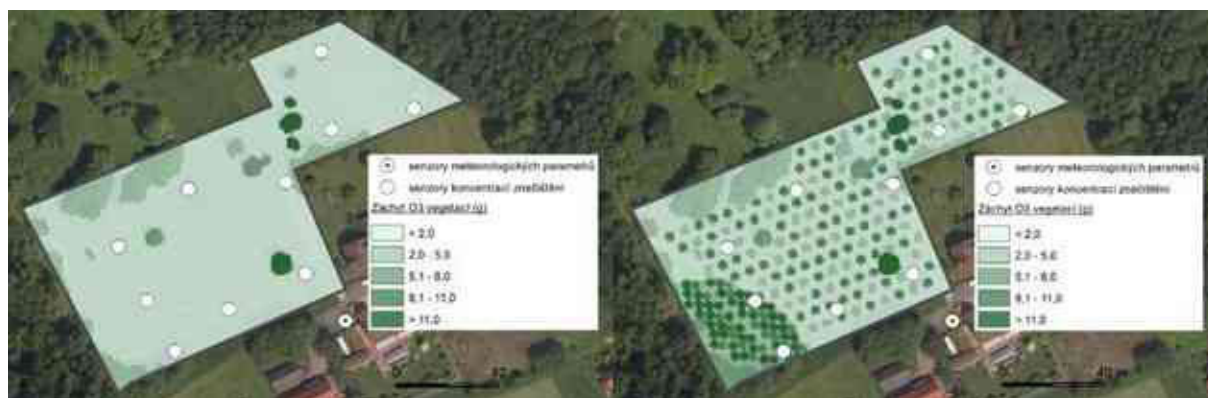
$$F = v_d(z)c(z),$$

gdzie F to szybkość depozycji gazów i cząsteczek na jednostkę powierzchni ($\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$), v_d to szybkość depozycji składnika (m s^{-1}), natomiast $c(z)$ to stężenie składnika na wysokości z nad ziemią (g m^{-3}). Stężenie poszczególnych składników zostało zmierzone przez czujniki. Szybkość depozycji gazów i cząsteczek była modelowana za pomocą modelu rezystancyjnego (Zapletal, 2006) z danych meteorologicznych i charakterystyk zieleni.

W Tab. 2. określono całkowite pokrycie liściowe (m^2) i całkowity wychwyt O_3 , NO_x i PM_{10} (kg) przez istniejącą roślinność, projektowaną roślinność oraz projektowaną i istniejącą roślinność razem, w dwóch przedmiotowych lokalizacjach Radwanice, Bartowice we wrześniu i październiku 2019 roku. W ryc. 8 do 10 przedstawiono wychwyt O_3 (g), NO_x i PM_{10} przez istniejącą i projektowaną roślinność (razem z istniejącą) w siatce $1 \times 1 \text{ m}$ w lokalizacji A – Radwanice. W ryc. 11 do 13 określono wychwyt O_3 (g), NO_x i PM_{10} przez istniejącą i projektowaną roślinność (razem z istniejącą) w siatce $1 \times 1 \text{ m}$ w lokalizacji B – Bartowice.

Tab. 2. Całkowite pokrycie liściowe (m^2) i całkowity wychwyt O_3 , NO_x i PM_{10} (kg) przez istniejącą roślinność, projektowaną roślinność oraz projektowaną i istniejącą roślinność razem w dwóch przedmiotowych lokalizacjach Radwanice, Bartowice we wrześniu i październiku 2019 roku.

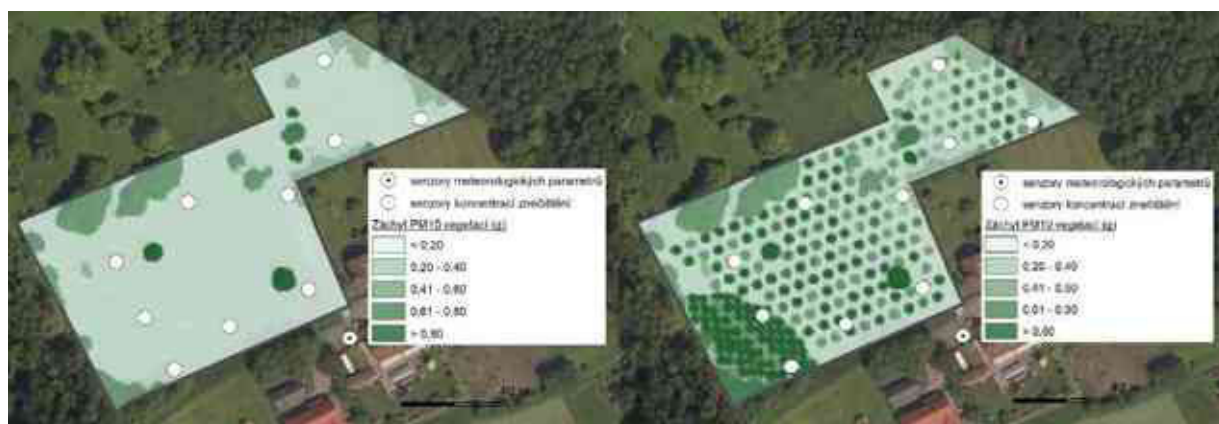
Istniejąca roślinność	Lokalizacja A - Radwanice		Lokalizacja B - Bartowice	
	Pokrycie liściowe (m^2)	Wychwyt (kg)	Pokrycie liściowe (m^2)	Wychwyt (kg)
O_3	14869	11,9	0	0
NO_x	14869	0,7	0	0
PM_{10}	14869	1,0	0	0
Projektowana roślinność	Lokalizacja A - Radwanice		Lokalizacja B - Bartowice	
	Pokrycie liściowe (m^2)	Wychwyt (kg)	Pokrycie liściowe (m^2)	Wychwyt (kg)
O_3	12044	14,7	12243	17,8
NO_x	12044	0,8	12243	0,8
PM_{10}	12044	1,8	12243	1,3
Projektowana roślinność i istniejąca roślinność	Lokalizacja A - Radwanice		Lokalizacja B - Bartowice	
	Pokrycie liściowe (m^2)	Wychwyt (kg)	Pokrycie liściowe (m^2)	Wychwyt (kg)
O_3	26913	26,6	12243	17,8
NO_x	26913	1,5	12243	0,8
PM_{10}	26913	2,8	12243	1,3



Ryc. 8. Wychwyt O_3 (g) przez istniejącą i projektowaną roślinność (razem z istniejącą) w siatce 1 x 1 m w lokalizacji A – Radwanice.



Ryc. 9. Wychwyt NO_x (g) przez istniejącą i projektowaną roślinność (razem z istniejącą) w siatce 1 x 1 m w lokalizacji A – Radwanice.



Ryc. 10. Wychwyt PM_{10} (g) przez istniejącą i projektowaną roślinność (razem z istniejącą) w siatce 1 x 1 m w lokalizacji A – Radwanice.



Ryc. 11. Wychwyt O_3 (g) przez istniejącą i projektowaną roślinność (razem z istniejącą) w siatce 1 x 1 m w lokalizacji B – Bartowice.



Ryc. 12. Wychwyt NO_x (g) przez istniejącą i projektowaną roślinność (razem z istniejącą) w siatce 1 x 1 m w lokalizacji B – Bartowice.



Ryc. 13. Wychwyt PM₁₀ (g) przez istniejącą i projektowaną roślinność (razem z istniejącą) w siatce 1 x 1 m w lokalizacji B – Bartowice.

3.3 INNOWACYJNA PIELĘGNACJA NASADZEŃ

Jednym z największych wyzwań ekologicznych współczesnego świata jest zmniejszenie negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko. Intensywne zabiegi chemiczne wpływają na kluczowe właściwości ekofizjologiczne roślin, symbiozę z grzybami mikoryzowymi i mikroorganizmami endofitycznymi. Stosowanie ekologicznych produktów opartych na „inteligentnych nawozach” zawierających biostymulatory i fitohormony, które pomagają roślinom w przezwyciężaniu różnych form stresu abiotycznego, może być innowacyjnym rozwiązaniem nie tylko dla nowych systemów zrównoważonej produkcji roślinnej, ale także dla pielęgnacji nowej zieleni w miejscach narażonych na kombinację różnych form stresu abiotycznego.

Hormony roślinne (fitohormony) to substancje, które odgrywają istotną rolę w regulacji wzrostu i rozwoju roślin. Występują naturalnie i działają w niewielkich stężeniach. Powstają w określonych częściach rośliny, skąd są transportowane przez część tykową wiązek przewodzących do miejsca przeznaczenia, gdzie wywołują reakcję fizjologiczną. Działanie hormonu musi być zawsze poprzedzone związaniem się z określonym receptorem. Funkcja fitohormonów jest niespecyficzna, jeden hormon może wpływać na kilka procesów. Hormony mogą wykazywać działanie wzajemnie synergiczne (współdziałanie) lub antagonistyczne. Fitohormony są wykorzystywane jako regulatory wzrostu w produkcji roślinnej i biotechnologii roślin; w wysokich stężeniach działają jako herbicydy do zwalczania chwastów. Główne grupy fitohormonów: auksyny, cytokiny, gibereliny, kwas abscysynowy, etylen, brasinosteroidy, jasmonidy, strigolaktyny.

Biostymulatory to substancje biologicznie czynne pozyskiwane z materiałów naturalnych lub odpadowych. Mogą wspierać wzrost roślin i/lub wzmacniać odporność roślin na różne czynniki stresowe. Specyfika biostymulatorów polega na tym, że nie zawierają wysokiego odsetka substancji aktywnych, przez co nie mogą być uważane za typowe nawozy czy środki ochrony roślin. Charakterystyczne dla biostymulatorów jest to, że zawarte w nich składniki aktywne wpływają na metabolizm rośliny i wyzwalają procesy ogólnie poprawiające jej wzrost i stan zdrowia. Dokładny mechanizm działania większości biostymulatorów nie jest jeszcze znany, co otwiera szereg możliwości w obszarze badań naukowych. Biostymulatory mogą zawierać fitohormony, ale termin ten jest najczęściej kojarzony z hydrolizatami białka, ekstraktami z wodorostów morskich i kwasami humusowymi.

Mieszanka fitohormonów i biostymulatorów proponowana w ramach tego projektu jest wynikiem ponad 20-letnich badań prowadzonych w Laboratorium Regulatorów Wzrostu Wydziału Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Palackiego i Instytutu Botaniki Doświadczalnej Akademii Nauk Republiki Czeskiej, jest przedmiotem kilku międzynarodowych patentów, licencjonowanych czeskim i zagranicznym firmom zajmującym się nawozami dolistnymi.

Proponowany produkt zawiera optymalną mieszankę biostymulatorów o wysokiej zawartości aminokwasów, substancji antystresowych oraz ekstraktu z wodorostów, ograniczającą ewentualny negatywny wpływ środowiska zewnętrznego, szczególnie podczas suszy lub znacznych wahań temperatury. Preparat został przetestowany na uprawach leśnych.

Preparat zostanie następnie wykorzystany jako baza do aplikacji naszej substancji czynnej, opatentowanej pochodnej cytokininy.

W obu lokalizacjach występują 2 różne typy warunków glebowych. Oznacza to, że każda z lokalizacji zostanie podzielona na sześć mniejszych części (3 części dla każdego rodzaju gleby) tak, aby poszczególne mniejsze części mogły być pielęgnowane przy użyciu trzech rodzajów nawozu (klasyczny A, komercyjny oparty na nowoczesnych biostymulatorach B i innowacyjny C).

Wariant A będzie stosowany w tych samych terminach, co pozostałe warianty. Będzie zawierał tylko ogólnie dostępny komercyjny nawóz nieorganiczny, zgodnie z doświadczeniem i wyborem firmy przeprowadzającej sadzenie.

Wariant B, czyli nawożenie przy użyciu komercyjnego biostymulatora, będzie stosowany 2 razy w roku (w pierwszym roku czerwiec oraz sierpień-wrzesień, w kolejnych latach kwiecień oraz sierpień-wrzesień). W ramach projektu Clairó wybrano preparat TS Sentinel (https://www.trisol.farm/pripravky_profi/sentinel.html), TS

VIN

(https://www.trisol.farm/pripravky_profi/vin.html) lub podobny preparat innej firmy zawierający optymalną mieszankę biostymulatorów o wysokiej zawartości aminokwasów, substancji antystresowych i ekstraktu z wodorostów morskich, ograniczającą ewentualny negatywny wpływ środowiska zewnętrznego, szczególnie podczas suszy lub znacznych wahań temperatury, testowany na uprawach leśnych. Stosowanie w dawce 2,5 ml/sadzonkę, przed aplikacją należy rozcieńczyć w około 2l wody.

Na początku podczas sadzenia proponujemy użyć jednorazowo TS HG Plant lub podobnego produktu zawierającego kwasy huminowe, substancje antystresowe i ekstrakty z wodorostów morskich (https://www.trisol.farm/pripravky_profi/hg-plant.html) w dawce 2g na sadzonkę (idealnie dla wszystkich trzech wariantów lub przynajmniej dla wariantów B i C).

Preparat B zostanie następnie wykorzystany jako baza do użycia naszej substancji aktywnej, pochodnej cytokiny RR-D (w stężeniu 10–5 mol/l), czyli wariant C. Terminy będą takie same jak w przypadku wariantu B. Oba kompleksowo przygotowane przez Uniwersytet Palackiego w Ołomuńcu i dostarczone firmie minimalnie tydzień przed każdym zastosowaniem.

Wszystkie inne standardowe zabiegi pielęgnacyjne upraw (podlewanie, pielenie itp.) muszą być takie same dla wszystkich trzech wariantów – te same terminy, te same ilości itp. i powinny być wykonywane regularnie przez firmę przeprowadzającą sadzenie, aby zapewnić możliwość oceny i porównania poszczególnych wariantów.

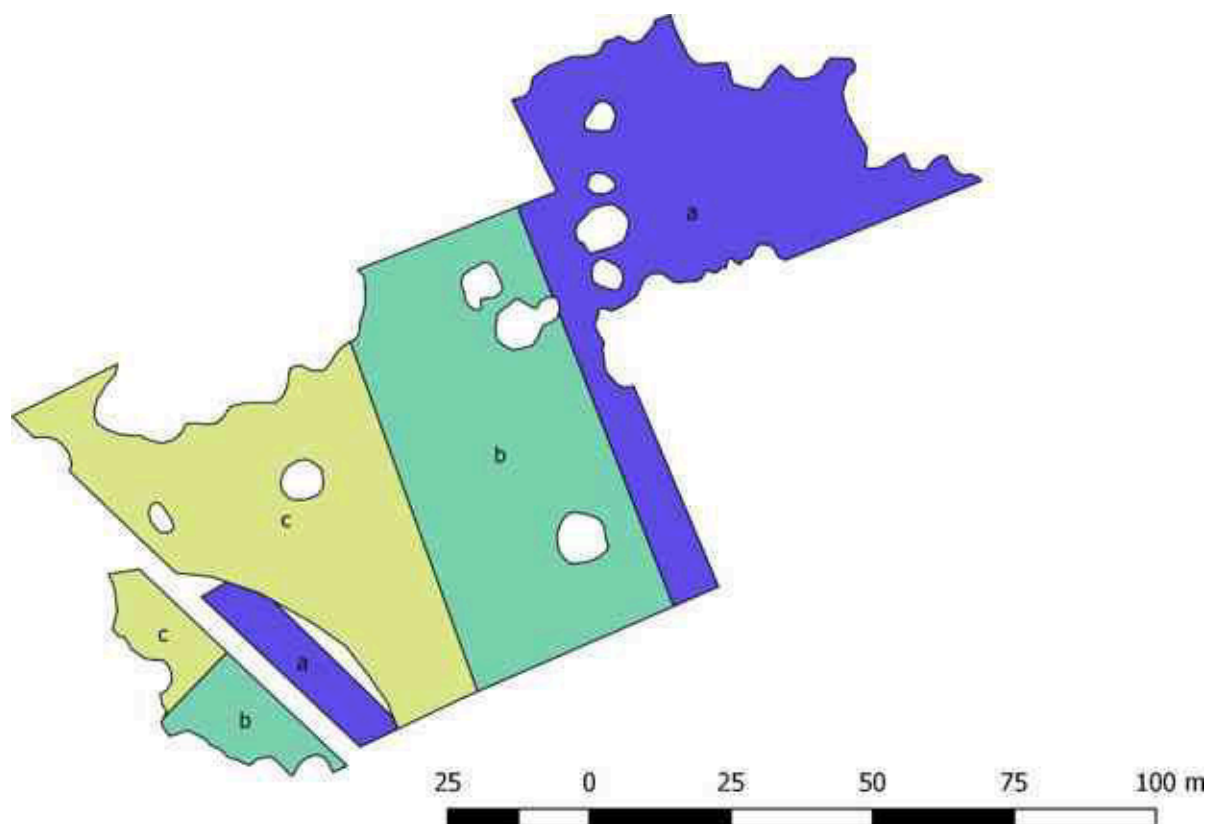
Nie jest to na pewno pierwsze zastosowanie, jednak użycie w projekcie CLAIRO jest pod pewnymi względami wyjątkowe, zwłaszcza w zakresie poziomów i kombinacji różnych rodzajów stresu abiotycznego w wybranych lokalizacjach.

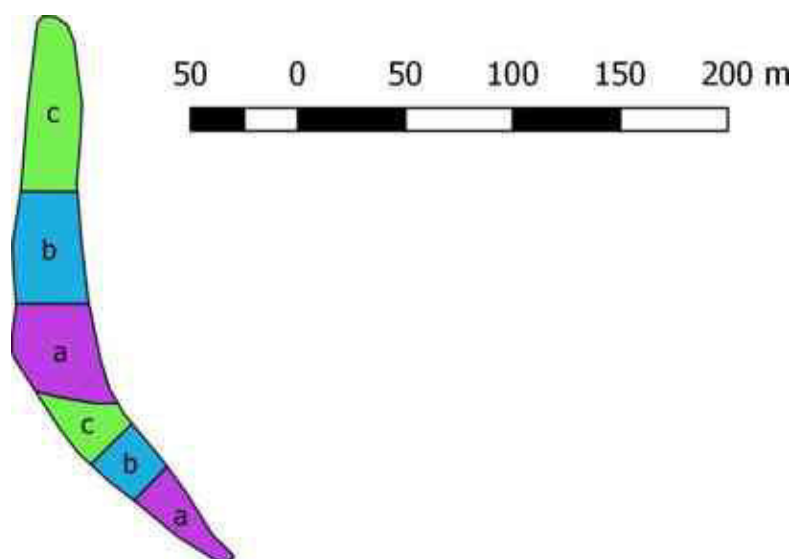
Podstawowym warunkiem zastosowania innowacyjnej pielęgnacji jest poprawa podstawowych parametrów fizjologicznych nowego nasadzenia.

Zakłada się, że drzewa i krzewy odznaczające się lepszym stanem zdrowotnym będą lepiej fotosyntetyzować, a także będą mieć lepsze pokrycie liściowe, co z pewnością wpłynie pozytywnie na wychwytywanie. Jest to więc ważny element, który znacząco wpływa na wynik.

Nawóz można stosować w przypadku każdego nasadzenia w dowolnym mieście.

W ramach cyklu warsztatów, które są częścią realizacji projektu CLAIRO, przedstawicielom miasta zostaną przedstawione wszystkie niezbędne informacje na temat innowacyjnych zabiegów pielęgnacyjnych nowej zieleni w środowisku miejskim.





Ryc. 14. Projekt zakresu poszczególnych wariantów pielęgnacji chemicznej projektowanych nasadzeń w lokalizacjach Bartowice i Radwanice.

3.4 MONITORING WYCHWYTYWANIA ZANIECZYSZCZEŃ

Monitoring powietrza w lokalizacji z projektowanym nasadzeniem trwa od 01.09.2019 nieprzerwanie aż do teraz. W monitorowanym okresie do 30.09.2020 można określić następujące właściwości. Przedstawione statystyki są oparte na wartościach podstawowych - niewalidowanych.

czuj./ substancja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
wydajność																									
PM10	98,9	99,3	99,2	98,8	99,1	99,4	98,8	99,3	98,6	99,1	99,1	98,9	99,3	99,4	99,4	99,3	99,4	99,1	99,4	23,8	92,6	91,8	93,9	93,6	93,3
NO2	96,7	96,7	96,7	96,8	96,7	96,9	96,8	96,9	96,7	96,7	96,7	96,7	96,7	97,0	96,7	96,8	96,9	96,7	74,5	78,4	81,2	80,1	77,3	76,5	79,9
O3	98,0	97,9	98,0	98,0	98,0	97,9	97,4	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	64,2	93,9	93,6	93,3	29,2	29,8	29,8
średnie stężenie w mierzonym okresie (ug/m³)																									
PM10	34,0	35,3	35,9	36,3	32,8	34,6	37,5	33,4	38,5	38,5	37,7	36,8	33,9	35,5	27,8	36,3	33,3	33,0	30,7	43,6	30,1	36,9	30,3	32,6	34,0
NO2	14,6	12,9	13,5	15,0	13,6	13,9	16,2	15,7	13,4	13,3	12,7	14,7	14,9	14,4	13,6	13,9	14,3	16,4	16,2	33,8	32,9	25,5	24,8	25,2	37,6
O3	45,8	49,8	48,2	48,3	44,6	47,0	45,0	48,8	42,5	43,4	47,7	49,0	50,3	49,4	45,8	52,7	50,7	49,5	42,0	30,3	32,6	34,0	26,0	27,4	28,8
maksymalne stężenie w mierzonym okresie (ug/m³)																									
PM10	227,8	218,8	216,7	204,9	225,2	264,8	199,0	219,3	240,7	241,5	198,6	219,0	219,0	209,0	215,0	212,3	207,2	231,5	240,5	138,0	211,0	220,4	203,4	244,9	241,5
NO2	138,4	157,6	150,0	146,0	115,5	139,4	104,9	160,5	140,3	112,6	143,0	143,9	101,0	107,6	105,9	134,6	123,9	132,9	106,9	108,7	103,7	145,2	142,5	130,3	147,2
O3	195,1	191,1	181,9	222,6	210,9	174,4	185,6	213,3	180,3	217,2	173,5	164,4	179,5	189,6	177,2	183,6	238,9	222,9	202,5	107,0	108,7	101,8	101,9	103,8	105,8

Wydajność pomiaru wszystkich czujników jest bardzo dobra, najgorzej jest w przypadku czujników NO₂, ale także tutaj przy uśrednianiu 5 min. jest wystarczająca.

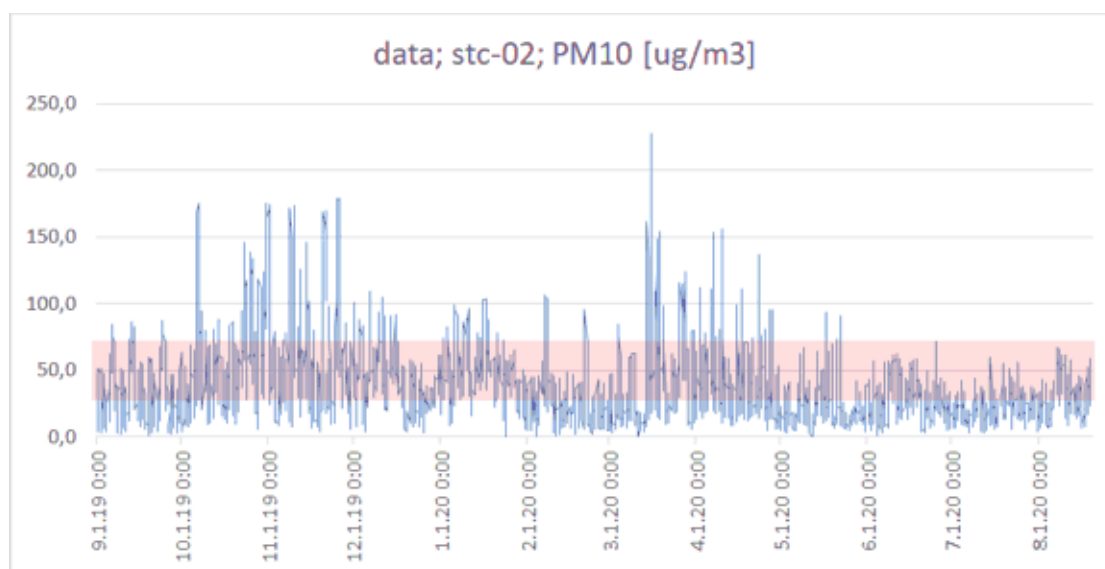
Średnie stężenia PM₁₀ nie przekraczają limitu tylko w przypadku 1 czujnika, na który może wpływać składowisko popiołu. W związku z tym, że ulica Přední znajduje się w najbardziej wyeksponowanym obszarze Ostrawy, wartość ta i tak jest bardzo optymistyczna. Stężenia PM₁₀ wszystkich czujników w miejscu planowanego nasadzenia są bardzo zbliżone, co jest uzasadnione bliskością ich wzajemnego rozmieszczenia (ok. 15 m).

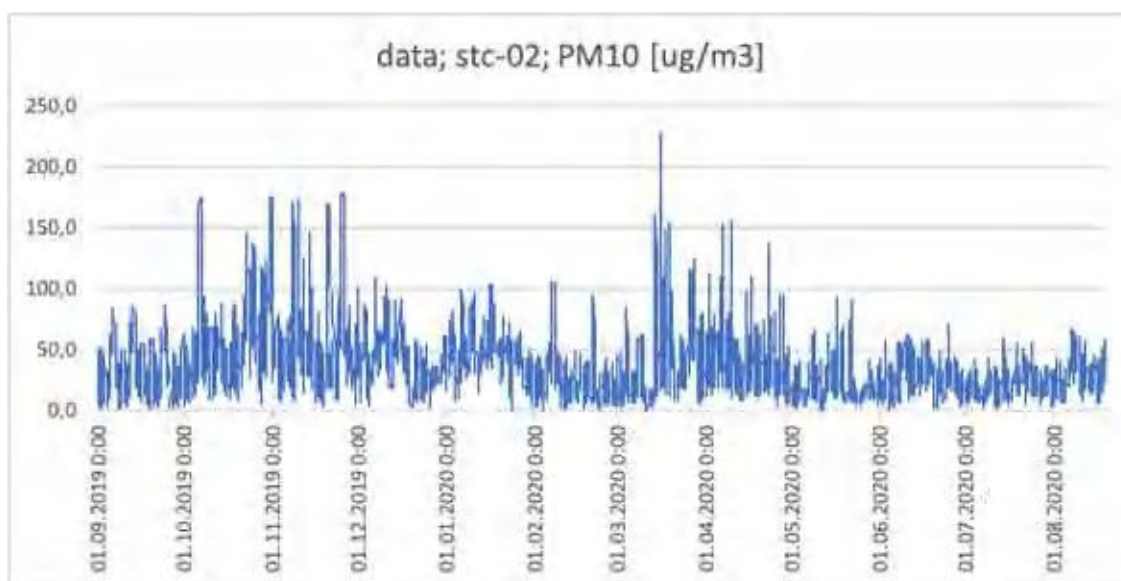
Stężenia NO₂ i O₃ są również bardzo korzystne i nie osiągają nawet granicy 50%.

Czujniki 19–25 zostały umieszczone w miejscowościach Opawa i Trzinec. W ich przypadku można zaobserwować pewną odmienność od lokalizacji Radwanice. Są bardziej narażone na ruch uliczny, przez co wartość NO₂ jest około 2 razy wyższa niż na łące przy ulicy Přední.

Stężenia maksymalne wskazują, że dochodzi do krótkotrwałych przekroczeń wartości 50 ug/m³ dla PM₁₀, i to nawet czterokrotnie. Jednak częstotliwość występowania takich stężeń jest niewielka i występuje głównie w sezonie grzewczym. Dla porównania zamieszczono poniżej wykres stężeń godzinowych w okolicy ulicy Přední. Limit jest oznaczony na wykresie jako czerwone pole.

Na podstawie wykresu można stwierdzić, że limit dobowy 50 ug/m³ dla PM₁₀ jest ewidentnie przekraczany w listopadzie i grudniu 2019 oraz na przełomie marca i kwietnia 2020.





Ryc. 15. Wykres stężeń godzinowych PM₁₀ w całym okresie

Urządzenia zostały dobrane zgodnie ze specyfikacją projektu oraz z uwzględnieniem obowiązujących limitów zanieczyszczeń powietrza.

Specyfikacja urządzeń

Skrzynka czujnikowa – urządzenie składające się z części pomiarowej o wymiarach 300x400x220 mm oraz panelu słonecznego o wymiarach 620 x 670 mm.

Skrzynka jest niezależna od zasilania, zawiera baterię, podłączenie do panelu słonecznego oraz podłączenie do sieci 220V. Urządzenie przeznaczone jest do montażu na wysokości 3 - 8 m. Konieczne jest doprowadzenie zasilania co najmniej przez panel słoneczny (musi być dostęp do słońca).



Czujniki zapewniają bardzo szybkie pomiary w ciągu kilku minut, które są następnie przesyłane przez sieć radiową LORA do bazy danych Wyższej Szkoły Górniczej.



Wspólne parametry czujników

- różne możliwości zasilania (sieć, baterie lub panel słoneczny), wszystkie wymienione warianty
- odporność na warunki atmosferyczne; cały system jest solidnie zaprojektowany
- komunikacja z serwerem przez sieć radiową
- zakresy stosowalności czujników umożliwiające pomiary imisyjne

Czujniki NO₂

- Zasada pomiaru: czujnik elektrochemiczny
- Minimalny zakres: 0–250 ppb
- Granica wykrywalności: ≤20 ppb
- Rozdzielczość czasowa (częstotliwość dostarczania zmierzonych danych): ≤1 min

Czujniki O₃

- Zasada pomiaru: czujnik elektrochemiczny
- Minimalny zakres: 0–5000 ppb
- Granica wykrywalności: ≤40 ppb
- Rozdzielczość czasowa (częstotliwość dostarczania zmierzonych danych): ≤1 min

Czujniki PM_x

- Zasada pomiaru: czujnik optyczny
- Zakres wielkości mierzonych cząsteczek: 0,38 – 10 µm
- Minimalna liczba kanałów: 8
- Minimalny zakres pomiaru stężenia masowego: 0 – 500 µg/m³
- Granica wykrywalności: ≤1 µg/m³

Czujniki VOC

- Zasada pomiaru: czujnik fotojonizacyjny (PID)
- Mierzone substancje: suma VOC
- Minimalny zakres: 0 – 16 ppm
- Granica wykrywalności (dla izobutyleny): ≤10 ppb

Jednostki czujników są podłączone do jednej wspólnej sieci i dostarczają dane online w sposób bezprzewodowy.

Dane są transferowane do istniejącego inteligentnego systemu informatycznego (dalej również IIS), który umożliwia:

- komunikację z systemami pomiarowymi w sieci

- wizualizację online mierzonych wartości
- wyświetlanie mierzonych danych w formie graficznej i tabelarycznej
- zarządzanie bazą danych wartości, poprawki i modyfikacje – wszystko z rejestracją
- generowanie map dla GIS w warstwach
- tworzenie i archiwizację animacji z materiałów mapowych

Powyższe parametry były częścią Zamówienia Publicznego realizowanego zgodnie z „Ustawą o zamówieniach publicznych...”.

Ze względu na problemy z siecią LORA jednostki czujnikowe zostały następnie uzupełnione o transmisję GPRS.

Do pilotażowych pomiarów zanieczyszczenia powietrza wybrano miasta Trzyniec, Opawę, Frýdek - Místek, Karwinę, Hawierzów i Rychwałd. Ich włączenie odbywa się stopniowo, a po zakończeniu każde z miast otrzyma raport analityczny z przeprowadzonych pomiarów.

Do tej pory pomiary odbywały się w miastach Trzyniec i Opawa. Monitoring w innych miastach nie służy do kontroli limitów. Jeśli jednak wykorzystamy np. pomiar tlenków azotu i ozonu do identyfikacji wpływu transportu drogowego, pomiar będzie jak najbardziej odpowiedni i umożliwi ocenę takiego wpływu.

Projekt sprawdza wpływ zieleni na redukcję zanieczyszczeń powietrza. Zdolność zieleni do zmniejszania ilości pyłu w powietrzu znana jest od dawna, projekt jednak dotyczy doboru odpowiedniej zieleni, sposobu jej sadzenia oraz specjalnej pielęgnacji przy użyciu fitohormonów. Mówiąc najprościej, chodzi o usprawnienie procesu usuwania kurzu i innych substancji poprzez sadzenie zieleni, która dobrze rozwija się w „stresującym” środowisku. Efekt zazieleniania jest nieustannie sprawdzany przez technologię czujników połączoną z referencyjną techniką analityczną. W lokalizacjach testowych w pobliżu Liberty Ostrawa znajduje się 19 jednostek czujników i 1 system referencyjny. Każde współpracujące miasto będzie mierzone tą samą technologią przy użyciu 3 jednostek czujnikowych. Monitoring odbywa się stopniowo przed nasadzeniem i po nasadzeniu zieleni. W sumie czujniki będą prowadzić pomiary przez 8 lat. W przypadku zieleni monitorowany jest jej wpływ na stężenia zawieszonych cząsteczek PM₁₀, tlenków azotu i ozonu przyziemnego. Przy korzystaniu z wyników pomiarów należy wziąć pod uwagę cel pomiaru i charakter zastosowanej metodologii oraz uświadomić sobie, że monitoring nie służy do kontroli limitów, ale do porównania. Spójność pomiarów czujników i analizatorów referencyjnych jest doskonała w przypadku PM₁₀, czyli najpoważniejszego zanieczyszczenia, i mniejsza dla NO₂ i O₃. Jeśli jednak wykorzystamy pomiar tlenków azotu i ozonu do identyfikacji np. wpływu transportu drogowego, pomiar będzie również odpowiedni do przeprowadzenia oceny.

Można więc wyciągnąć następujące wnioski:

- czujniki są odpowiednie do dodatkowego pomiaru, łatwe w montażu i obsłudze
- słabym punktem jest nadal transmisja danych, co w przypadku przejścia na GPRS zwiększa koszty
- czujniki potrafią wykryć „niestandardowe” sytuacje na terenie lokalizacji i określić czas konkretnych zdarzeń
- czujniki różnią się od siebie częściami i należy je sprawdzać
- w okresie monitorowania nie odnotowano spadku czułości w przypadku żadnego czujnika
- stabilność 1 rok i dłużej, przy spadającej cenie to doskonały wynik

- wyniki muszą być zawsze interpretowane przez specjalistę, online są dostępne tylko dane „niewalidowane”
- czujniki nadają się do identyfikacji lokalnego problemu

Przetwarzanie danych

Stężenia mierzonych substancji będą w celu dalszego przetwarzania online przesyłane do bazy danych Inteligentnego Systemu Identyfikacji - IIS, który powstał w Wyższej Szkole Górniczej w ramach projektu IIS. System ten może odbierać dowolne przesyłane dane, przechowywać je w ustrukturyzowanej bazie danych i pracować z nimi dalej według określonych algorytmów.

Dane są zawsze przechowywane w pierwotnie przesyłanym formacie. W przypadku kontroli kalibracji system IIS umożliwia walidację zmierzonych wartości za pomocą współczynnika korekcyjnego. Jest to zapisane w systemie. W przypadku metod referencyjnych wykorzystujących przyrządy kalibrowane zazwyczaj nie przeprowadza się walidacji. Wyjątkiem może być PM_{10} wyznaczony metodą równoważną, którego współczynnik korekcyjny może się nieznacznie różnić w zależności od okresu i miejsca. Wyższa Szkoła Górnicza regularnie kontroluje pyłomierze w swoich analizatorach za pomocą metod grawimetrycznych.

System IIS został opracowany w celu uproszczenia identyfikacji źródeł zanieczyszczenia powietrza w skali lokalnej. Dostęp do systemu jest możliwy poprzez portal airsens.eu.



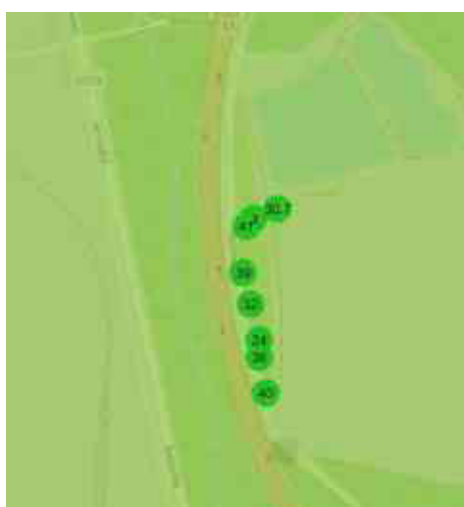
Ryc.16: Dostęp do systemu IIS przez portal airsens.eu

System IIS umożliwia wybór substancji, lokalizacji i czasu oraz przeprowadza podstawowe oceny statystyczne. W ramach zmierzonych stężeń sprawdza prawidłowość pomiaru, oblicza średnie i znajduje maksima. Zmierzone stężenia są wyświetlane na wykresie. Dane te są wykorzystywane do wstępnej kontroli spójności danych lub do porównania z innymi pomiarami.



Ryc. 17: Podstawowe dane statystyczne pomiarów

Dzięki krótkotrwałym stężeniom można oznaczyć czas i miejsce występowania „nietypowych, ew. niepożądanych” stężeń imisyjnych. System IIS wskazuje według określonych zasad, gdzie i kiedy został przekroczony (podwyższony) ustawiony poziom stężenia. System umożliwia automatyczną animację mierzonych stężeń.



Ryc. 18: Wycinek mapy s interpolacją stężenia (PM₁₀)

Wszystkie charakterystyki statystyczne dla wybranego okresu są wyświetlane w ten sam sposób. Można znaleźć miejsca z najwyższym średnim stężeniem, najwyższym maksimum, najczęstszym przekraczaniem limitu itp.

Na podstawie tego procesu można więc dokonać oceny, kiedy i gdzie dochodzi do naruszenia ustalonych zasad (limit, granica kontrolna, granica monitorowania, tempo wzrostu stężeń, korelacja z innymi atrybutami itp.).

4. ZAKOŃCZENIE

Innowacyjny projekt zielonych nasadzeń określa podstawowe zasady tworzenia zielonej infrastruktury na obszarach przemysłowych w celu złagodzenia wpływu zmian środowiskowych poprzez zarządzanie przyjazne naturze. Zieleni przyczynia się do poprawy stanu środowiska za pośrednictwem funkcji chłodzących, filtrujących, ochronnych i społecznych. W związku z tym, iż zielona infrastruktura powinna przynosić szereg korzyści na obszarach przemysłowych, jej uprawa jest skuteczna zwłaszcza przy zastosowaniu metod monitorowania i zrównoważonego wykorzystywania ekosystemów.

Zrównoważona uprawa zielonej infrastruktury na terenach przemysłowych opiera się na opisie stanu aktualnych warunków wzrostu, projektowaniu zielonej struktury oraz dyferencjacji pielęgnacji. Opis istniejącego stanu składa się z charakterystyki warunków wzrostu i stanu roślinności. Charakterystyka warunków wzrostu obejmuje badanie podłoża geologicznego, rzeźby terenu i właściwości gleby. Za pomocą zależności przestrzennych między typem podłoża, rzeźbą i rodzajem gleby zostaje określona lokalna asocjacja glebowa w występujących warunkach klimatycznych. Asocjacja glebowa stanowi podstawę zarówno do projektowania struktury zieleni, jak i oceny wpływu zmian klimatycznych. Charakterystyka stanu roślinności obejmuje inwentaryzację składu gatunkowego zbiorowisk roślinnych, w tym ocenę stanu zdrowotnego.

Projektowanie struktury zieleni jest uwarunkowane dyferencjacją funkcji stanu docelowego. Mimo że zróżnicowanie wpłynie najbardziej na długookresową pielęgnację zielonej infrastruktury, projekt zawiera założenia wspólne dla wszystkich jej form. Do tych wspólnych założeń należą klasyfikacja istniejącego typu roślinności (biotopu) i potencjalnego typu roślinności (typ leśny), charakterystyka warunków wzrostu i wymagania rozwojowe drzew. Klasyfikacja biotopów pochodzi z systemu międzynarodowej oceny różnorodności biologicznej. Klasyfikacja potencjalnej roślinności jest zróżnicowana wzdłuż dominujących biomów, z których najbardziej rozległe na terenach zagospodarowanych przemysłowo są typy leśne. Średnia ważona między reprezentacją drzewiastą biotopu a typu leśnego wyraża stopień stabilności ekologicznej (SES) jako kryterium oceny intensywności przebudowy istniejącego stanu zieleni oraz określenia intensywności działań adaptacyjnych związanych ze zmianą klimatu. Charakterystyka warunków wzrostu służy do doboru składu gatunkowego roślin drzewiastych za pomocą porównania z klasyfikacją wymagań wzrostowych i biogeografią w przeglądowej bazie danych. Porównanie wymagań wzrostowych i rozmieszczenia drzew polega na uwzględnieniu klasyfikacji wskaźników środowiskowych na podstawie indywidualnych właściwości warunków wzrostu (ekoelementów) oraz ekowalencji drzew. Wymagania rozwojowe i biogeografia są niezbędne do oceny pochodzenia geograficznego proponowanego składu zgodnie z przepisami dotyczącymi ochrony przyrody. Skład gatunkowy roślin drzewiastych jest rozmieszczony przestrzennie w taki sposób, aby odpowiadał pozycji gatunku w naturalnym zbiorowisku.

5. LITERATURA

Currie, B.A., Bass, B., 2008. Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. *Urban Ecosyst.* 11, 409–422.

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.*

Freer-Smith, P.H., Beckett, K.P., Taylor, G., 2005. Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides* × *trichocarpa* 'Beaupré', *Pinus nigra* and × *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. *Environ. Pollut.* 133, 157–167.

Janhäll, S., 2015. Review on urban vegetation and particle air pollution - Deposition and dispersion. *Atmos. Environ.*

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

Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C., 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban For. Urban Green.* 4, 115–123.

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. *Environ. Sci. Technol.* 46, 7692–7699.

Zapletal, M. (2006). Atmospheric deposition of nitrogen and sulphur in relation to critical loads of nitrogen and acidity in the Czech Republic. *J. Forest Sci.* 52, 92–100.