



Kraków



DRZEWA
W ZIELENI
MIEJSKIEJ

LIFE  URBANGREEN



Drzewa w zieleni miejskiej

Trees in urban green spaces

Redakcja

Editors

Przemysław Szwabko

Piotr Wężyk

Kraków 2021

ProGed^{4D}



Zarząd
Zieleni Miejskiej
w Krakowie

Redakcja:

Przemysław Szwafko, Piotr Wężyk

Recenzja:

Tomasz Bergier, Krystian Pyka

Autorzy rozdziałów:

Katarzyna Bajorek-Zydroń, Urszula Cisto-Lesicka, Denise Corsini, Robert Głuszak, Piotr Kempf, Przemysław Mamuszka, Łukasz Mielczarek, Jakub Miszczyszyn, Beata Paluch, Łukasz Pawlik, Przemysław Szwafko, Irene Vigevani, Paolo Viskanic, Krzysztof Wcisło, Piotr Wężyk, Anna Żądło

Autorzy fotografii:

Katarzyna Bajorek-Zydroń, Robert Głuszak, Michał Kala, Dawid Kiedos, Adam Kulczycki, Łukasz Mielczarek, Beata Paluch, Monika Szparadowska, Przemysław Szwafko, Karolina Zięba-Kulawik

Korekta językowa:

Aleksandra Mikolaszek

Weryfikacja tekstów angielskich i tłumaczenia:

Piotr Cypryjański

Projekt okładki i layout:

Przemysław Szwafko

Opracowanie graficzne i skład:

Mirostaw Janczur „Ropuch”

Wydawca:

ProGea 4D sp. z o.o., Zarząd Zieleni Miejskiej w Krakowie

© Copyright by ProGea 4D sp. z o.o., Kraków, 2021

© Copyright by Zarząd Zieleni Miejskiej w Krakowie, 2021

ISBN 978-83-956591-4-0



Przy wsparciu finansowym Programu LIFE Unii Europejskiej w ramach projektu LIFE17 CCA/IT/000079 pt. „Innowacyjna platforma technologiczna usprawniająca zarządzanie terenami zielonymi w celu lepszej adaptacji do zmian klimatu” (LIFE URBANGREEN) oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Treści zawarte w publikacji, w tym poglądy autorów, nie są tożsame ze stanowiskiem Komisji Europejskiej i NFOŚiGW, aczkolwiek zmierzają do osiągnięcia zbieżnych celów.



Drzewa i lasy w miastach oferują spore korzyści tym, którzy w nich mieszkają i pracują, jak i tym, którzy je odwiedzają. Tworzą i podtrzymują nasz dobrostan psychiczny i fizyczny. Pobudzają możliwości rozwoju, również gospodarczego. To dlatego w strategiach rozwoju miast drzewa i publiczne tereny zielone są coraz częściej traktowane jako zasoby kluczowe. Parki, ogrody, zadrzewione ulice i wiele innych porośniętych roślinnością obszarów o przepuszczalnej powierzchni to nie tylko składowe estetyki miasta, lecz także – elementy jego publicznej infrastruktury, świadczące różnorodne usługi.

Samo zwiększenie liczby drzew czy powierzchni terenów zieleni nie jest jednak wystarczające. Jeśli chcemy osiągnąć pozytywny wpływ na środowisko, konieczne jest również stosowanie praktyk pielęgnacyjnych i konserwacyjnych, maksymalizujących usługi ekosystemów. Wypracowane w ramach projektu LIFE URBANGREEN innowacyjne narzędzia i najlepsze praktyki codziennego zarządzania terenami zielonymi pozwalają sprostać tym wyzwaniom.

Dear Reader,

Urban trees and forests are beneficial to those who live and work in cities as well as visit them. They create and sustain mental and physical well-being, and promote opportunities for growth, including economic one. That is why urban development strategies tend to identify trees and public green spaces as key resources. Parks, gardens, tree-lined streets and many other types of permeable, vegetated areas are not only elements of city aesthetics, but also components of public infrastructure and providers of a wide range of services.

However, increasing the number of trees and extending green areas is not enough in itself. Providing care and maintenance practices that maximize ecosystem services is of crucial importance if a positive impact on the environment is desired. The innovative tools and best practices in the day-to-day management of green areas developed through the LIFE URBANGREEN Project make it possible to meet these challenges.

Paolo Viskanic

Koordynator projektu LIFE URBANGREEN

Dyrektor generalny R3GIS

LIFE URBANGREEN Project coordinator

CEO R3GIS

Recenzowana publikacja stanowi bardzo ciekawy i wszechstronny przegląd tematów związanych z zarządzaniem zielenią miejską. Z jednej strony zawiera szereg treści, wpisujących się w konwencjonalną, aktualną wiedzę przyrodniczą i dendrologiczną (m.in. metody ochrony i utrzymania drzew miejskich, inwentaryzacji i oceny ich stanu, kwestie przyrodnicze i siedliskowe, tematykę gatunków inwazyjnych). Z drugiej, zawiera treści innowacyjne, rzadko stosowane w praktyce zarządzania zielenią miejską, w tym różnorodne metody teledetekcyjne, rozwiązania bazodanowe, techniki modelowania komputerowego oraz GIS. [...] Najlepszym tego dowodem jest zaprezentowany w publikacji przykład Parku Lotników Polskich – arcyciekawe studium przypadku, pokazujące jak szczegółowe i kompleksowe dane można pozyskać stosując różnorodne techniki fotogrametryczne połączone z pracami terenowymi i innymi metodami konwencjonalnymi. Jest to doskonały przykład innowacyjnego podejścia, rewolucjonizującego inwentaryzację zieleni miejskiej i obiektów towarzyszących, przenosząc ją na nowy poziom, pozwalając ją integrować z innymi sektorami gospodarki komunalnej czy wręcz szeroko rozumianym zarządzaniem miastem. [...]

Dr hab. inż. Tomasz Bergier, prof. AGH

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Katedra Kształtowania i Ochrony Środowiska

[...] Każde rozwiązanie informatyczne mające wspierać gospodarkę przestrzenną jest użyteczne tylko wtedy, gdy zgromadzone dane opisują rzeczywistość bez nadmiernych uproszczeń. A jak tu nie mówić o uproszczeniach, gdy przedmiotem jest flora cyklicznie zmieniająca się na osi czasu, złożona z setek gatunków i zajmująca zaskakująco dużą powierzchnię Krakowa. [...] W zakresie zbierania danych Autorzy projektu sięgnęli po najnowsze techniki aplikowane wielopoziomowo: wykorzystali wielospektralne obrazy satelitarne i lotnicze skanowanie laserowe, wykonali zdjęcia i skanowanie ze statków bezzałogowych oraz skanowanie z mobilnych i statycznych systemów naziemnych. Techniki te różnią się zasięgiem obszarowym, kierunkiem patrzenia, zakresem rejestrowanych fal elektromagnetycznych, każda z osobna daje tylko fragmentaryczny obraz rzeczywistości, ale razem wzięte potrafią odpowiedzieć zarówno na pytania ogólne, dotyczące całego miasta jak i szczegółowe, dotyczące pojedynczego drzewa w parku. [...]

Prof. dr hab. inż. Krystian Pyka

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Katedra Fotogrametrii, Teledetekcji Środowiska i Inżynierii Przestrzennej

Spis treści

Pomysł na projekt i jego realizacja	7
Kompleksowa inwentaryzacja terenów zieleni w Parku Lotników Polskich w Krakowie	13
Drzewa w Krakowie i gatunki wybrane do badań	21
Doskonalenie metod utrzymania i pielęgnacji drzew miejskich.	39
Monitoring satelitarny zieleni miejskiej w Krakowie	47
Monitoring teledetekcyjny zieleni miejskiej z pułapu BSP oraz satelitarnego.	65
Modelowanie 3D drzew na podstawie chmur punktów TLS LiDAR.	73
Efektywne zarządzanie zielenią miejską za pomocą platformy GreenSpaces	79
Portal dla mieszkańców – przewodnik po usługach	89
Drzewa siedliskami chronionych i zagrożonych gatunków.	97
Obce gatunki drzew oraz niepożądani goście w mieście	109
Bezpieczeństwo ludzi, ich mienia i... drzew	117
Streszczenie. Afiliacje autorów	127

Contents

The idea for the project and its implementation	7
Comprehensive inventory of green spaces in Park Lotników Polskich in Krakow	13
Trees in Krakow and species selected for the research.....	21
Improving care and maintenance methods for urban trees	39
Monitoring of Krakow greenery based on Remote Sensing.....	47
Remote sensing monitoring of urban green areas using UAVs and EO satellites	65
3D modelling of selected trees using TLS LiDAR point clouds	73
Effective management of urban greenery using GreenSpaces platform	79
Portal for citizens – a guide to services.....	89
Trees as habitats for protected and endangered species	97
Alien tree species and unwanted guests in the city.....	109
Safety of people, their property and... trees	117
Summary. Authors' affiliations	127

Pomysł na projekt i jego realizacja

The idea for the project and its implementation

Paolo Viskanic, Piotr Wężyk, Przemysław Szwałko,
Katarzyna Bajorek-Zydroń

Chociaż Kraków coraz rzadziej pojawia się w niechlubnych czołówkach światowych rankingów miast o najbardziej zanieczyszczonym powietrzu, to wciąż jeszcze zdarzają się sytuacje zmuszające do ogłoszenia alarmu smogowego. Smog, pochodzący głównie z tzw. „niskiej emisji”, potęgowany niekorzystnym ukształtowaniem terenu i presją niektórych inwestorów w deklarującym zrównoważony rozwój grodzie Kraka, jest nadal silnym bodźcem do poszukiwań wszelkich rozwiązań zmierzających ku poprawie jakości powietrza. Oprócz konieczności eliminowania paliw stałych jako głównego źródła ciepła, dostrzegano obawy przed zabudową tzw. korytarzy przewietrzania miasta i wiązano duże nadzieje z każdą formą zieleni. Kilka lat temu, z inspiracji powyższymi wyzwaniami, zrodził się pomysł projektu „Zintegrowany system monitorowania danych przestrzennych dla poprawy jakości powietrza w Krakowie” (akronim MONIT-AIR). Projekt ten, o budżecie blisko 3,5 mln złotych, realizowany był przez Gminę Miejską Kraków, we współpracy z IMGW-PIB, ProGea Consulting, R3 GIS oraz Uniwersytetem Jagiellońskim i współfinansowany w latach 2014–2016 ze środków Mechanizmu Finansowego EOG oraz Norweskiego Mechanizmu Finansowego. Analizy numerycznych modeli terenu (NMT) i jego pokrycia (NMPT) oraz wygenerowanych map pokrycia terenu, form roślinności, ruchu mas powietrza oraz dyspersji zanieczyszczeń, nie potwierdziły jednak dominującej funkcji korytarzy przewietrzania w poprawie jakości powietrza. Jednym z niewątpliwych efektów projektu była natomiast pierwsza szczegółowa inwentaryzacja zieleni miejskiej na obszarze ponad 100 ha (Bajorek-Zydroń i in. 2016). Objęła ona m.in.: Planty Krakowskie, Park Jordana, Park Krakowski i aleję Pokoju (Ryc. 1.1). Poza pozytywnym wpływem projektu na świadomość zarówno decydentów jak i mieszkańców Krakowa, niezmiernie przydatnym produktem okazały się wdrożone w ramach MONIT-AIR, specjalistyczne oprogramowania do koordynacji procesu wymiany pieców węglowych na źródła alternatywne, a także narzędzie do zarządzania zielenią miejską, tj. R3 TREES. Dzięki powstaniu baz danych morfometrycznych, Kraków, jako jedno z pierwszych miast europejskich otrzymał szczegółowe dane niezbędne w zaawansowanym modelowaniu meteorologicznym i badaniach klimatu miasta (Godłowska 2019). Wskazane główne kanały wymiany powietrza, które w ogólnym zakresie pokrywały się z wyznaczanymi poprzednio „korytarzami przewietrzania”, zdefiniowane zostały jako przestrzenie trójwymiarowe i uzupełnione

obszarami wspomagającymi wymianę powietrza. Wartością dodaną MONIT-AIR była również opracowana numeryczna mapa roślinności rzeczywistej Krakowa z jej waloryzacją, niezmiernie istotna dla skutecznej ochrony najcenniejszych pod względem przyrodniczym terenów. Najważniejsze wyniki projektu MONIT-AIR opublikowano w postaci skoncentrowanej w „Atlasie pokrycia terenu i przewietrzania Krakowa” (Bajorek-Zydroń, Wężyk 2016).

O jakości powietrza decyduje nie tylko zawartość poszczególnych zanieczyszczeń, ale także inne parametry, jak ciśnienie i temperatura, które mają bezpośredni wpływ na warunki dyspersji zanieczyszczeń (Bokwa 2011), ale również na efekt miejskiej wyspy ciepła (ang. UHI – urban heat island), potęgującej dyskomfort życia mieszkańców w okresie fal upałów, a często straty w ich bilansie zdrowotnym i ekonomicznym. W Krakowie wspomniany efekt podlega istotnemu uzależnieniu od specyficznych lokalnych warunków orograficznych, stąd mowa o RMUHI – relief-modified urban heat island (Bokwa i in. 2015). Zjawiska związane z silną inwersją termiczną powietrza występują w Krakowie znacznie częściej, a ponadto intensywność miejskiej wyspy ciepła, zwłaszcza w niektórych jego częściach, jest znacznie większa aniżeli w innych polskich miastach o porównywalnej wielkości (Bokwa 2010).

Potrzeba wyjaśnienia wielu analizowanych w ramach projektu MONIT-AIR zagadnień, a w szczególności oceny funkcji pełnionych przez zieleni miejską, doskonalenia metod zarządzania nią i monitorowania jej stanu, była impulsem dla zespołu, ubiegającego się o środki unijne w ramach programu Life UE, projektu pt. „Innowacyjna platforma technologiczna usprawniająca zarządzanie terenami zielonymi w celu lepszej adaptacji do zmian klimatu” (akronim LIFE URBANGREEN). Wartość projektu, którego polskimi partnerami są: ProGea 4D sp. z o.o. oraz Gmina Miejska Kraków (reprezentowana przez Zarząd Zieleni Miejskiej w Krakowie – ZZM), koordynatorem jest geoinformatyczna firma R3 GIS z Bolzano (Włochy), wynosi około 2,5 mln EUR. Głównym naukowym partnerem projektu, współodpowiedzialnym za pomiary umożliwiające określenie wartości oferowanych przez roślinność drzewiastą wybranych usług ekosystemów (sekwestracja CO₂, poprawa jakości powietrza i ochładzanie go w upalne dni), jest Uniwersytet Mediolański (Università degli Studi di Milano). Za wdrażanie innowacji służących utrzymaniu oraz zarządzaniu zielenią miejską w Rimini (Włochy) jest spółka Anthea s.r.l. (odpowiednik krakowskiego ZZM). Kraków i Rimini były bowiem wybrane jako 2 europejskie obszary testowe, na których badano i wdrażano innowacyjne technologie i metody utrzymania zieleni



Ryc. 1.1. Fragment mapy z zaznaczeniem (kolor zielony) parków krakowskich i pasów drogowych w centrum Krakowa zinwentaryzowanych w ramach projektu MONIT-AIR w latach 2014–2016

miejskiej (Urban Forestry; UF). Oprócz podmiotów z Polski i Włoch realizujących projekt LIFE URBANGREEN, niezmiernie zainteresowanie implementacją wyników projektu przejawiały instytucje naukowe oraz administracja dużych miast na Tajwanie. W ramach projektu wypracowano kilka ważnych z punktu widzenia komercjalizacji badań naukowych, metodyk i produktów informatycznych, które mają szansę na szerokie wykorzystanie w wielu miastach na całym świecie przy odpowiedniej ich modyfikacji.

Nie jest chyba tajemnicą, że na pozytywną ocenę wniosku aplikacyjnego (co jest podstawą szansy na uzyskanie dofinansowania projektu) wpływa jego innowacyjność połączona z doświadczeniem podczas realizacji wcześniejszych, zbliżonych tematycznie przedsięwzięć. Gotowej recepty na sukces oczywiście nie ma, ale największy potencjał zawsze tkwi w ludziach i ich determinacji w dążeniu do celu. Pomysły mogą jednak spalić na panewce bez wsparcia instytucji zatrudniających te osoby, i szybkiego, skutecznego współdziałania, niezależnie od jej wielkości – czy to niewielkiej firmy, dużej gminy, uczelni, czy państwowego instytutu. Niekiedy znaczenie mogą mieć – jak mogłoby się wydawać – drobiazgi, jak choćby sprytnie sformułowany tytuł projektu, a nawet jego akronim.

Kto wie, czy nie były to bodźce podprogowe mające wpływ na instytucje oceniające wnioski i przyznające dofinansowanie? Ponieważ pełny, zazwyczaj zbyt długi, tytuł projektu bywa trudny do zapamiętania, warto utworzyć wpadający w ucho i dobrze kojarzący się akronim, choć zazwyczaj nie ma na to zbyt wiele czasu. Również logotyp – znak graficzny projektu – nie jest naszym zdaniem bez znaczenia, choć jego symbolika nie zawsze jest jednoznaczna i zrozumiała dla odbiorców (Ryc. 1.2). Inspiracją dla logotypu MONIT-AIR były



Ryc. 1.2. Logotypy powiązanych tematycznie projektów MONIT-AIR (2014–2016) i LIFE URBANGREEN (2018–2021)

kolorowe piksele z map IMGW obrazujących stopień zanieczyszczenia powietrza – z chorągwi opartej na zarysie obowiązującego wówczas logo „KRK”, zachodni wiatr miał wywiewać część „pikseli” zastępując je kolorami stosowanymi dla czystego powietrza. Sam akronim mógł być kojarzony zarówno z monitorowaniem danych – jak w tytule projektu, a być może także z monitowaniem, czyli „ponaglaniem” lub „dopominaniem się” o czyste powietrze. Symbolika LIFE URBANGREEN jest zdecydowanie bardziej jednoznaczna, warto jednak wspomnieć, że intuicyjna zmiana w ostatniej niemal chwili przedstawionego w grafice liścia na dębowy, nastąpiła na długo przed uzyskaniem wstępnych wyników badań, które wykazały, że gatunek ten, biorąc pod uwagę wszystkie badane usługi ekosystemów, sprawdza się najlepiej zarówno w warunkach polskich jak i w północnych Włoszech.

Już w trakcie trwania projektu prezentowano uzyskane, niekiedy jeszcze wstępne, wyniki prowadzonych badań, przy okazji licznych sympozjów i konferencji o różnej tematyce

i zasięgu (np. Fini i in. 2019, 2021), podobnie jak ogólne podsumowania dostępne na poświęconych projektowi LIFE URBANGREEN stronach internetowych, np. www.lifeurbangreen.eu. Elektroniczny ‚Layman’s report’ można pobrać w języku polskim, angielskim, włoskim i niemieckim. Większość w pełni opracowanych wyników ukaże się jednak w późniejszym czasie, począwszy od stycznia 2022 roku. Wykorzystywana już w Krakowie i m.in. w Rimini platforma GreenSpaces dedykowana specjalnie do zarządzania terenami zieleni z uwzględnieniem wybranych usług ekosystemów, umożliwi użytkownikom oprócz wszelkich działań na bazie katastru drzew, raportowanie kosztów wykonawców zewnętrznych, a także kosztów wewnętrznych Gminy, co pozwala efektywnie zarządzać ograniczonymi zasobami. Pozwala na efektywne planowanie działań, terminową ich realizację oraz szczegółową dokumentację. Codzienna aktualizacja danych dotyczących terenów zieleni i prowadzonych aktywności jest przy wypracowanym stopniu szczegółowości optymalna. Śledzenie działań monitorujących drzewa (w tym tzw. ocena wizualna) poprawia bezpieczeństwo na zarządzanych terenach.

Ostatecznym celem i jednocześnie najważniejszym efektem projektu LIFE URBANGREEN jest dostarczenie innowacyjnego narzędzia technologicznego, umożliwiającego sprawniejsze zarządzanie obszarami zieleni miejskiej i reagowanie na zmiany klimatu. Poza wskazaniem do przyszłych nasadzeń gatunków wyróżniających się pożądanymi cechami, a zatem najlepiej znoszących warunki wielkomiejskiego stresu i jednocześnie najefektywniej reagujących na działania wspomagające, wdrazamy wypracowany algorytm, który wskaże, ile wody trzeba dostarczyć danemu drzewu, aby mogło ono efektywnie funkcjonować pod względem własnej fizjologii i w zakresie aktywnego ochładzania powietrza, a nie zapewniając jedynie tak ważny w upalne południe cień. Dużym wyzwaniem projektu była szczegółowa inwentaryzacja zieleni największego krakowskiego parku (Ryc. 2.1). Równoległe w tym czasie przybywało danych o zieleni miejskiej z całego obszaru miasta, a jego centrum zyskało w tym zakresie niemal pełne pokrycie (Ryc. 1.3).

Projekt był realizowany od lipca 2018 do grudnia 2021 roku. Wykonanie niemalże wszystkich założeń tego projektu, pomimo wielu, często losowych, przeciwności, nie byłoby możliwe bez zaangażowania dużej grupy osób i wielu instytucji zasługujących na podziękowania, jednak nie sposób ich wszystkich wymienić tutaj imiennie. Począwszy od osób



Ryc. 1.3. Ten sam fragment mapy z zaznaczeniem zinwentaryzowanej w centrum Krakowa zieleni miejskiej w okresie obejmującym projekty MONIT-AIR i LIFE URBANGREEN – lata 2014–2021

wykonujących często nietypowe, a zarazem mozolne prace terenowe i laboratoryjne, poprzez osoby zajmujące gromadzeniem danych i tworzeniem baz danych przestrzennych (co wymaga równie dużej fachowości i naukowego podejścia jak przy planowaniu badań przyrodniczych i opracowywaniu ich wyników czy doskonaleniu rozwiązań informatycznych), a także osoby odpowiedzialne za sprawy finansowe, w tym kadrowe, związane z planowaniem budżetu, zamówieniami publicznymi, umowami i niekiedy skomplikowanymi rozliczeniami to kilkaset osób, wzięwszy również pod uwagę wykonawców zewnętrznych i osoby zarządzające projektem na różnych szczeblach w kilku miastach europejskich, w tym również Członków Komitetu Sterującego. Tylko w Krakowie zaangażowanych w projekt było kilkanaście firm, a bez wykraczającego poza ramy umów poświęcenia, niekiedy na krawędzi ryzyka, mogło dojść do poważnych perturbacji w osiągnięciu celów z przyczyn choćby atmosferycznych, z czym w imię dobrej współpracy i osiągnięcia końcowego sukcesu borykali się dostawcy obrazowań satelitarnych, danych meteo (UBIMET) czy czujników wraz z ich montażem i obsługą przesyłu danych (Airly). Montaż finansowy LIFE URBANGREEN, bazujący na stosunkowo niewielkim, lecz kwotowo pokaźnym wkładzie własnym partnerów – miast, uczelni i firm prywatnych realny był dzięki znacznie większemu wsparciu finansowemu z Programu LIFE Unii Europejskiej oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Szczególne podziękowania należą się jednemu wymienionemu tutaj z imienia i nazwiska przedstawicielowi NEEMO i zarazem kontrolerowi opiekującemu się naszym projektem z niespotykanym osobistym zaangażowaniem, nie szczędząc rzeczowych, choć niekiedy krytycznych uwag oraz dzieląc się osobistymi pomysłami. To właśnie wsparcie ze strony Lorenzo Mengali przyczyniło się do powstania niniejszej publikacji, mającej za zadanie wypełnienie luki pomiędzy zwartymi i z tego powodu dość powierzchownymi raportami dla laików (layman's reports), a profesjonalnymi pracami naukowymi, które dla przeciętnego mieszkańca są niekiedy wręcz trudne w odbiorze. Dodatkowo, w imieniu koordynatora projektu LIFE URBANGREEN, partnerów projektu i redaktorów „Drzew w zieleni miejskiej” – pragniemy podziękować wszystkim pozostałym Autorom tekstów i rycin, Korektorom, a Panom Profesorom za przychylnie recenzje.

Literatura

- Bajorek-Zydroń K., Wężyk P. (red.) 2016. Atlas pokrycia terenu i przewietrzania Krakowa. Urząd Miasta Krakowa, Wydział Kształtowania Środowiska, Kraków. 522 pp.
- Bajorek-Zydroń K., Wężyk P., Czajka K., Szerszeń K., Jędrzejczak E. 2016. Zarządzanie i monitorowanie zieleni miejskiej na przykładzie wdrożenia aplikacji R3 TREES w Zarządzie Zieleni Miejskiej w Krakowie. [W:] Pokrycie terenu i przewietrzanie Krakowa. Materiały międzynarodowej konferencji naukowo-promocyjnej podsumowującej realizację projektu MONIT-AIR, Kraków, 20 października 2016: 44–50.
- Bokwa A. 2010. Wieloletnie zmiany struktury mezoklimatu miasta na przykładzie Krakowa. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków, 258 pp.
- Bokwa A. 2011. Influence of air temperature inversions on the air pollution dispersion conditions in Krakow. *Prace Geogr. IGiGP UJ*, 126: 41–51.

- Bokwa A., Hajto M.J., Walawender J.P., Szymanowski M. 2015. Influence of diversified relief on the urban heat island in the city of Kraków, Poland. *Theoretical and Applied Climatology*, 122 (1–2): 365–382. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1577-9>.
- Fini A., Mori J., Vigevani I., Ferrini F., Pasquinelli A., Gibin M., Wezyk P., Failla O., Viskanic P. 2019. Measuring ecosystem services by urban species: the LIFE Urbangreen project. Preliminary results. Annual Conference of the International Society of Arboriculture, Knoxville (Tennessee), August 11–14, 2019. <https://air.unimi.it/retrieve/handle/2434/670823/1293744/Fini%20Urban-green%20ISA%202019.pdf> [prezentacja, dostęp: 8.12.2021].
- Fini A., I., Comin S., Ferrini F., Gibin M., Pasquinelli A., Wezyk P., Botteghi P., Cagnolati E., Mielczarek Ł., Szwafko P., Failla O., Frangi P., Viskanic P. 2021. Ecosystem services of urban trees: how can planning enhance CO₂ assimilation, microclimate improvement and air quality amelioration? IV International Symposium on Woody Ornamentals of the Temperate Zone. Torino (Italy). March 3–4, 2021. <https://air.unimi.it/handle/2434/820285> [prezentacja, dostęp: 8.12.2021].
- Godłowska J. 2019. Wpływ warunków meteorologicznych na jakość powietrza w Krakowie. *Badania porównawcze i próba podejścia modelowego. IMGW-PIB, Warszawa*, 102 pp.
-

The project “Innovative technological platform to improve management of green areas for better climate adaptation” – LIFE URBANGREEN is to a large extent a continuation of the project “Integrated monitoring system of spatial data to improve air quality in Krakow” – MONIT-AIR, implemented in 2014–2016 out of concern for air quality and green areas. Among many different activities, such as the use of a hybrid modeling system to determine wind speed and pollution dispersion in urban areas within the roughness sublayer, a detailed inventory of over one hundred hectares of urban green spaces was then carried out.

The value of the new LIFE URBANGREEN project, whose Polish partners are: ProGea 4D and Krakow Municipal Greenspace Authority, coordinated by the company R3GIS from Bolzano (Italy), amounts to approximately EUR 2.5 million. The second city, apart from Krakow, in which the project activities were implemented is the Italian Rimini, with the leading company Anthea. The main scientific partner of the project, co-responsible for the measurements enabling the determination of the value of selected ecosystem services by woody vegetation is the University of Milan. The New Central University in Taiwan is closely observing the implementation of the LIFE URBANGREEN project and adapting the results to the Asian context. The project is co-financed by the EU – with the contribution of the LIFE Programme, and in Krakow – additionally from the National Fund for Environmental Protection and Water Management.

Accomplishing nearly all of the project goals, despite many, often accidental, adversities, would not have been possible without the involvement of a large group of people and many institutions that deserve thanks, but it is impossible to list them all here by name. All these people, including the Steering Committee members as well as the institutions financing and supporting the project, are to be thanked. Special thanks are due to the NEEMO representative and project monitor Lorenzo Mengali, the only person mentioned here by name.

Kompleksowa inwentaryzacja terenów zieleni w Parku Lotników Polskich w Krakowie

Comprehensive inventory of green spaces
in Park Lotników Polskich in Krakow

Katarzyna Bajorek-Zydroń, Piotr Wężyk

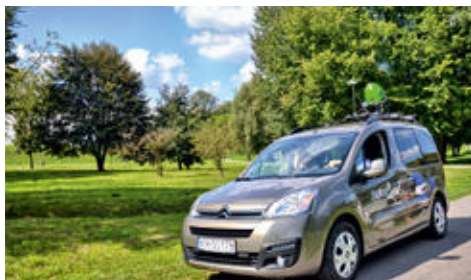
Park Lotników Polskich (Ryc. 2.1) wybrany został jako jeden z kluczowych obszarów testowych projektu LIFE URBANGREEN „Innowacyjna platforma technologiczna usprawniająca zarządzanie terenami zielonymi w celu lepszej adaptacji do zmian klimatu”, realizowanego w Krakowie oraz w Rimini (Włochy). Na wytypowanych powierzchniach pilotażowych oraz kontrolnych stosowano wybrane techniki i zabiegi utrzymania oraz pielęgnacji zieleni miejskiej. Proces wyboru powierzchni poprzedził krok wykonania szczegółowej inwentaryzacji



Ryc. 2.1. Lokalizacja Parku Lotników Polskich w centralnej części miasta Krakowa w sąsiedztwie Tauron Arena na tle zobrazowania WorldView-3 (Maxar) z roku 2021

zieleni oraz małej architektury Parku Lotników Polskich, który akurat w latach 2018–2021 objęty był również pracami z zakresu przebudowy wybranych jego fragmentów.

W celu możliwie szybkiej, a jednocześnie bardzo precyzyjnej, inwentaryzacji zieleni i pozostałych obiektów infrastruktury (np. alejki, place zabaw) zastosowano technologię skanowania laserowego znanego pod akronimem LiDAR (ang. Light Detection and Ranging). W miejscach, w których możliwy był przejazd samochodu, pozyskano chmury punktów 3D oraz obrazy cyfrowe (kamera RGB) z wykorzystaniem technologii mobilnego skanowania laserowego (ang. Mobile Laser Scanning; MLS). W tym celu zastosowano laserową platformę skanującą ROBIN (3D Laser Mapping) zintegrowaną z jednostką IMU oraz odbiornikiem GNSS. Główny element pomiarowy stanowił skaner laserowy VUX-1HA (RIEGL). Dodatkowo zastosowano kamerę cyfrową RGB do kolorowania chmur punktów MLS. Platforma zamontowana została na dachu samochodu (Ryc. 2.2, 2.3), przemieszczającego się z prędkością



Ryc. 2.2. Pozyskiwanie chmur punktów 3D z wykorzystaniem technologii mobilnego skanowania laserowego (MLS LiDAR) we wrześniu 2018 roku w Parku Lotników Polskich

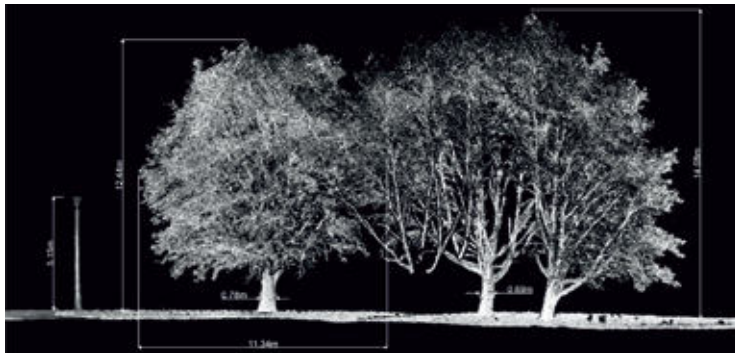


Ryc. 2.3. Platforma ROBIN (3D Laser Mapping) wykorzystana do mobilnego skanowania laserowego (MLS)

około 20 km/h. Pozyskanie chmur punktów dla obszaru głównego Parku Lotników Polskich wraz montażem i kalibracją systemu trwało poniżej 8 godzin. W celu nadania precyzyjnej georeferencji zarejestrowanej chmurze punktów MLS, dodatkowo poza zastosowaniem danych POS (zarejestrowana trajektoria GNSS + IMU), przeprowadzono pomiar GNSS RTK zasygnalizowanych wcześniej punktów kontrolnych. Chmurze punktów MLS nadano współrzędne płaskie prostokątne (XY) w obowiązującym układzie PL-2000 (strefa 7) oraz wysokościowe w układzie PL-KRON86-NH.

Dokładność wynikowa przetwarzanej chmury punktów MLS, jaka powstała z połączenia kolejnych przejazdów po alejkach Parku Lotników Polskich, określona została na drodze kontroli jakości (dodatkowe pomiary GNSS RTK) i wynosiła poniżej 0,05 m (RMS XYZ).

Wysokiej jakości chmura punktów MLS pozyskana w Parku Lotników Polskich pozwoliła na określenie m.in.: wysokości drzew, pierśnicy pnia na 130 cm od gruntu, średnicy korony drzewa, wysokości podszytów, zasięgu krzewów, czy rabat oraz szeregu innych obiektów, np. krawędzi ścieżek czy lokalizacji obiektów infrastruktury (Ryc. 2.4).



Ryc. 2.4. Przekrój poprzeczny przez chmurę punktów (odcienie intensywności sygnału MLS) opomiarowanych drzew i wybranych obiektów małej architektury

Kolejnym etapem przetwarzania chmur punktów 3D MLS LiDAR był proces jej automatycznej klasyfikacji (wg. ASPRS oraz ISOK). Wektoryzacja ekranowa 3D chmury MLS pozwoliła na uzyskanie precyzyjnej informacji geometrycznej o położeniu obiektów i jej zapis do formatu danych wektorowych CAD/GIS. Prace realizowano w środowisku oprogramowania TerraScan (Terrasolid) oraz Microstation V8i (Bentley). Podczas tzw. mappingu 3D pozyskiwano geometrię m.in. takich obiektów jak:

- środki geometryczne pni drzew na odpowiednich wysokościach nad gruntem,
- obrysy pni na wysokości 10 cm i 130 cm nad gruntem,
- obrysy zasięgu krzewów, grup krzewów, trawników, rabat i in.,
- krawędzie alejek parkowych z rozróżnieniem typu ich nawierzchni,
- obszary placów zabaw i skwerów wraz z typem nawierzchni,
- obiekty małej architektury: ławki, latarnie, kosze na śmieci, słupki, tablice i in.,
- wyposażenie placów zabaw oraz infrastruktura sportowa.

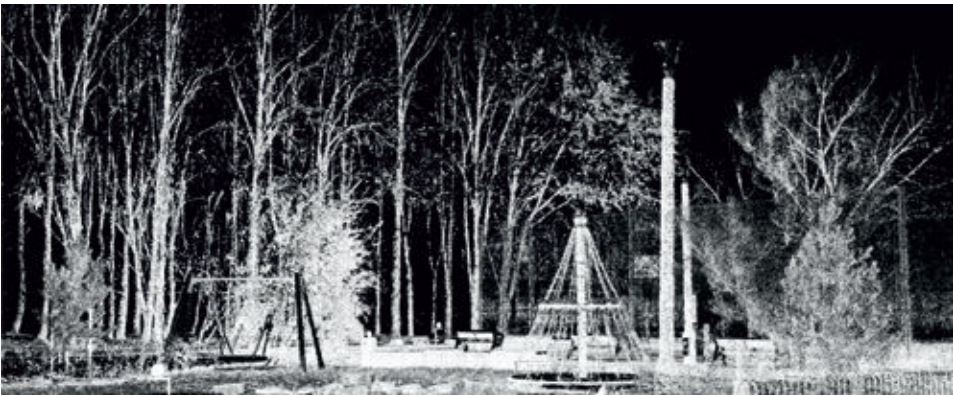
Pozyskane w ten sposób warstwy wektorowe CAD/GIS posłużyły do realizacji szczegółowych prac inwentaryzacyjnych w terenie oraz ułatwiły osobom kartującym – lokalizację poszczególnych drzew i krzewów na przygotowanym wydruku mapy cyfrowej.

W miejscach niedostępnych dla samochodu (platforma MLS), w celu uzyskania kompletnych danych inwentaryzacyjnych, zastosowano technologię naziemnego skanowania laserowego (ang. Terrestrial Laser Scanning; TLS). Rozwiązanie to co prawda wydłużyło znacznie czas pozyskania chmur punktów 3D, ale pozwoliło na uzyskanie znacznie większych dokładności szczegółów geometrycznych obiektów skanowanych z różnych stanowisk (metoda wielostanowiskowa). W pracach wykorzystano skaner fazowy FARO Focus 3D X130 (FARO; zasięg maksymalny do 130 m) oraz VZ-400i (RIEGL; zasięg maksymalny do 800 m; wyposażony w jednostkę IMU). Skanowanie TLS wykorzystano głównie dla obszarów placów zabaw (Ryc. 2.6, 2.7) oraz w całej północnej części Parku Lotników Polskich (194 stanowiska, Ryc. 2.5).

Wszystkie chmury punktów TLS zostały zintegrowane z danymi MLS poprzez nadanie im georeferencji z wykorzystaniem pomiarów GNSS RTK sygnalizowanych punktów dostosowania (ang. GCP), co pozwoliło na uzyskanie dokładności lepszych niż 5 cm XYZ.



Ryc. 2.5. Lokalizacja stanowisk skanera w północnej części Parku Lotników Polskich na tle ortofotomapy lotniczej z roku 2019 GUGiK



Ryc. 2.6. Przekrój przez chmurę punktów TLS (odcienie intensywności) placu zabaw skanerem FARO FOCUS 3D w październiku 2018 roku



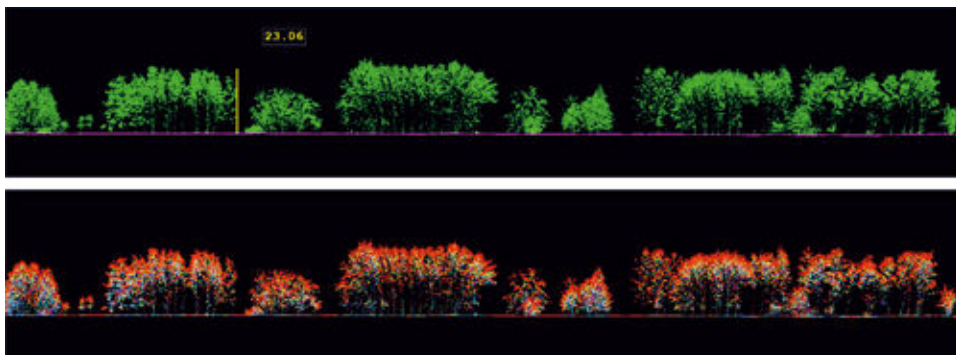
Ryc. 2.7. Pozyskiwanie chmur punktów 3D z wykorzystaniem technologii naziemnego skanowania laserowego (TLS LiDAR) na placu zabaw w Parku Lotników Polskich

Ryc. 2.8. Mapa wektorowa CAD (format DGN) opracowana na podstawie wektoryzacji 3D w chmurze punktów MLS i TLS dla części południowej Parku Lotników Polskich

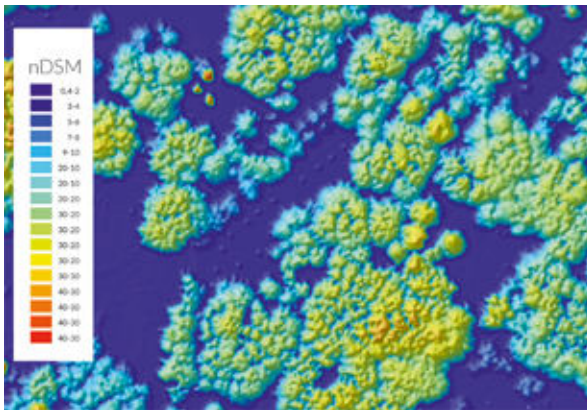


Warstwy wektorowe (format *.DGN CAD Bentley) uzyskane z wykorzystaniem technologii MLS oraz TLS LiDAR posłużyły do przeprowadzenia szczegółowych inwentaryzacji w terenie (Ryc. 2.8).

Kolejną technologią LiDAR, jaką wykorzystano w procesie inwentaryzacji zieleni miejskiej oraz infrastruktury Parku Lotników Polskich, było lotnicze skanowanie laserowe (ang. Airborne Laser Scanning; ALS). Zostało ono wykonane dla obszaru całego Krakowa w listopadzie 2017 roku w ramach projektu CAPAP (GUGiK) i charakteryzowało się wysoką gęstością min. 12 pkt/m² oraz czterema echami sygnału. Chmura ALS była też pokolorowana ze zdjęć lotniczych wykonywanych symultanicznie. Analiza chmur punktów ALS LiDAR pozwoliła przede wszystkim na poprawne określenie wysokości drzew (nie zawsze uzyskuje się poprawne wyniki z MLS co wynika z zastąpienia najwyższych partii korony, Ryc. 2.9) i określenie takich parametrów jak zwarcie koron drzew (Ryc. 2.10)



Ryc. 2.9. Przekrój przez znormalizowaną chmurę punktów ALS LiDAR. Wizualizacja na podstawie atrybutu klasy (u góry) oraz kolejności ech sygnału (u dołu)



Ryc. 2.10. Wizualizacja Modelu Koron Drzew (MKD; ang. CHM – Crown Height Model; nDSM)

i wskaźnik powierzchni projekcyjnej liści (ang. Leaf Area Index; LAI). Chmura punktów ALS LiDAR została zintegrowana z danymi TLS oraz MLS po jej wcześniejszej transformacji do układu odniesień płaskich PL-2000 (7) z układu PL-1992. Dokładności (błąd RMS) chmury ALS LiDAR zweryfikowane w terenie wynosiły poniżej 30 cm dla współrzędnych XY oraz < 10 cm dla rzędnej Z.

Pozostałe prace z zakresu inwentaryzacji zieleni miejskiej

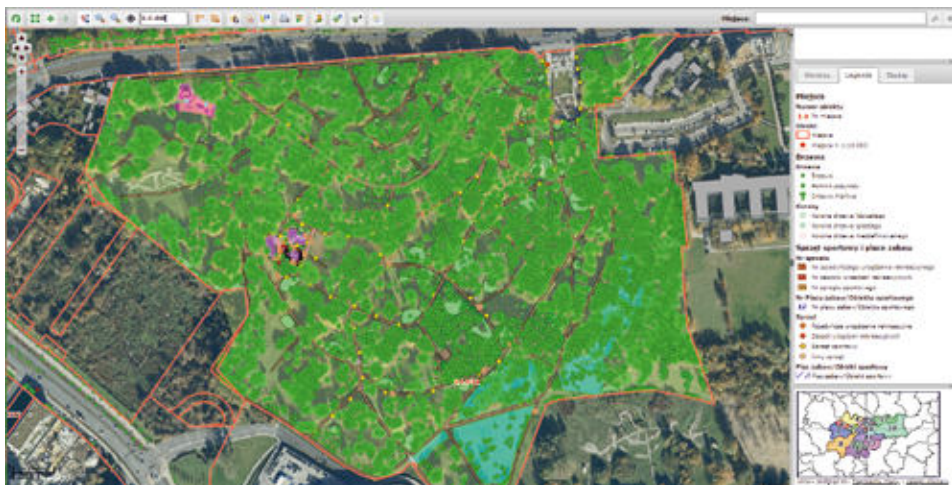
W ramach inwentaryzacji dendrologicznej uzupełniono informacje o naniesionych na szkice terenowe drzewach o takie parametry jak: gatunek drzewa, obwód pnia na wysokości 1,3 m wykonany taśmą pomiarową, średnica korony drzewa, miejsce rozwoju, obecność gniazd lub budek lęgowych oraz opis stanu zdrowotnego drzewa/krzewu. Dla wybranych drzew, rosnących w pobliżu ciągów komunikacyjnych, wykorzystano metodę VTA (Visual Tree Assessment) w celu określenia wizualnej oceny stanu drzewa. Każde zinwentaryzowane drzewo otrzymało podczas jego pomiaru unikalny numer (identyfikator), czyli tzw. ArboTag (Ryc. 2.11), pozwalający na jego ponowną identyfikację i jednoznaczne połączenie bazy



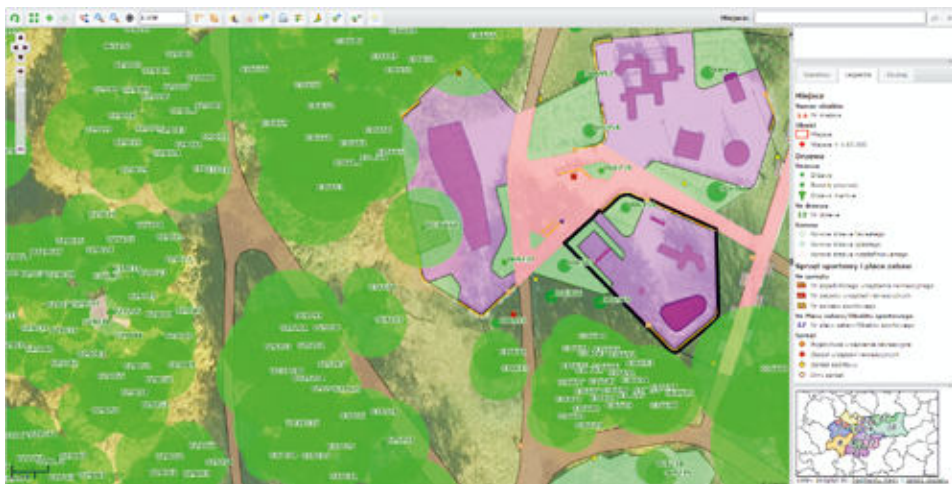
Ryc. 2.11. Przykładowy ArboTag (z dawnym logo ZZM oraz kodem paskowym) zamontowany przy pomocy opaski zaciskowej na młodym kasztanowcu w Parku Lotników Polskich

geometrycznej (lokalizacja) z bazami atrybutowymi (opisy dla drzewa i zdjęcia) w aplikacji GreenSpaces (R3GIS).

Wszystkie dane opisowe, zebrane podczas realizacji prac terenowych, posłużyły do zasilenia atrybutowych baz danych platformy GreenSpaces (R3GIS). Przykładowe wizualizacje danych cyfrowych geometrycznych i opisowych wygenerowane z modułu mapowego GreenSpaces przedstawiono na rycinach 2.12 i 2.13.



Ryc. 2.12. Mapa drzew, zasięgów alejek i placów zabaw w południowej części Parku Lotników Polskich – wynik inwentaryzacji w aplikacji GreenSpaces



Ryc. 2.13. Mapa drzew (widoczne numery ArboTag oraz zasięgi koron), układu alejek i placu zabaw z widocznymi urządzeniami rekreacyjnymi w południowej części Parku Lotników Polskich – wynik inwentaryzacji w aplikacji GreenSpaces

Dla części północnej Parku Lotników Polskich pozyskano ponad 13 mld punktów (odbić wiązki lasera) o współrzędnych XYZ oraz wartości intensywności (zapis siły sygnału odbijanego), a dla części południowej niemal 5 mld punktów. Objętość pozyskanych danych wynosiła ponad 300 GB, jednak pomimo tak obszernej ilości danych już po kilku dniach od ich pozyskania możliwe było rozpoczęcie szczegółowej inwentaryzacji dendrologicznej, a komplet danych wektorowych został opracowany w ciągu trzech tygodni.

W wyniku przeprowadzonych prac zinwentaryzowano 6100 drzew w części południowej i 1450 drzew w północnej części Parku Lotników Polskich (Tab. 2.1) oraz m.in. 134 grupy krzewów o łącznej powierzchni 12 056 m², 62 trawniki o łącznej powierzchni ponad 305 354 m², a także małą architekturę, m.in.: 83 latarnie, 54 kosze na śmieci, 38 ławek.

Tab. 2.1. Lista drzew najczęściej występujących w Parku Lotników Polskich wygenerowana z platformy GreenSpaces (moduł: Miejsca)

Nazwa naukowa	Nazwa zwyczajowa	Liczba [n]
<i>Fraxinus excelsior</i>	jesion wyniosły	1116
<i>Acer platanoides</i>	klon zwyczajny	823
<i>Acer pseudoplatanus</i>	klon jawor	668
<i>Larix decidua</i>	modrzew europejski	652
<i>Tilia cordata</i>	lipa drobnolistna	596
<i>Robinia pseudoacacia</i>	robinia akacyjowa	588
<i>Betula pendula</i>	brzoza brodawkowata	483
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	jesion pensylwański	477
<i>Acer saccharinum</i>	klon srebrzysty	459
<i>Quercus rubra</i>	dąb czerwony	239
<i>Ulmus laevis</i>	wiąz szypułkowy	203
<i>Aesculus hippocastanum</i>	kasztanowiec zwyczajny	156
<i>Malus sp.</i>	jabłoń	139

Dzięki wykorzystaniu technik skanowania laserowego do określenia położenia drzew, innych obiektów punktowych i granic pomiędzy różnymi rodzajami nawierzchni, możliwe było uzyskanie bardzo dokładnej informacji o lokalizacjach poszczególnych elementów w bardzo krótkim czasie, co z kolei pozwoliło na szybkie rozpoczęcie prac terenowych. Zebrane tą metodą dane pozwoliły na dostarczenie kompleksowej informacji o obiektach w Parku Lotników Polskich oraz na uzupełnienie bazy danych o wszystkie istotne i wymagane informacje.

Within the LIFE URBANGREEN project the inventory of greenery in Park Lotników Polskich in Krakow has been carried out. Modern technologies such as TLS, MLS and ALS have been used for LiDAR scanning of greenery and park infrastructure. As part of the dendrological inventory tree parameters have been collected, including tree species, trunk circumference, crown spread as well as tree location. For selected trees growing close to traffic routes the VTA method has been used to perform the visual assessment of the tree condition.

Drzewa w Krakowie i gatunki wybrane do badań

Trees in Krakow and species selected for the research

Denise Corsini, Przemysław Szwafko, Irene Vigevani,
Krzysztof Wciśło

Bogactwo rodzajów, gatunków i odmian

W zieleni miejskiej Krakowa zinwentaryzowano dotychczas ponad 130 tysięcy drzew (Tab. 3.1), reprezentujących 149 rodzajów, stanowiących główny przedmiot zainteresowania publikacji. Ich uzupełnieniem są pełniące równie istotne funkcje krzewy. Na potrzeby niniejszego rozdziału uwzględniono ich dwa gatunki badane w ramach projektu LIFE URBANGREEN. Dla zobrazowania krzewiastych zasobów zinwentaryzowanych w Krakowie w ramach platformy GreenSpaces wymienić należy 9970 pojedynczych krzewów, 7679 grup krzewów oraz 2620 żywopłotów o łącznej długości blisko 60 km. Krzewy reprezentowane są również przez niskie, krzewiaste formy gatunków drzewiastych (np. żywopłoty grabowe) ale przede wszystkim przez kilkadziesiąt gatunków typowych krzewów i różnych ich odmian. Roślinność drzewiastą w zieleni miejskiej uzupełnia niemała grupa gatunków i odmian krzewinek i drewniejących pnączy (np. bluszcz *Hedera* czy glicynia *Wisteria*).

Wracając jednak do drzew, to – jak już wspomniano – najliczniej reprezentowanym rodzajem w Krakowie (19,7% wszystkich zinwentaryzowanych drzew) jest występujący w ponad 30 gatunkach i odmianach klon, z których najbardziej popularny jest klon pospolity *Acer platanoides* i klon jawor *A. pseudoplatanus*, a także inne gatunki: klon polny *A. campestre*, klon ginnala *A. ginnala*, klon jesionolistny *A. negundo*, klon palmowy *A. palmatum*, klon pensylwański *A. pensylvanicum*, klon czerwony *A. rubrum*, klon srebrzysty *A. saccharinum* i klon tatarski *A. tataricum*. Rodzaj reprezentowany jest ponadto przez liczne odmiany wyżej wymienionych i innych gatunków, jak: klon polny ‚Elsrijk‘, ‚Fastigiata‘ i ‚Nanum‘ – *Acer campestre* ‚Elsrijk‘, *A. c.* ‚Fastigiata‘, *A. c.* ‚Nanum‘; klon jesionolistny ‚Auratum‘, ‚Aureovariegatum‘, ‚Flamingo‘ i ‚Variegatum‘ – *A. negundo* ‚Auratum‘, *A. n.* ‚Aureovariegatum‘, *A. n.* ‚Flamingo‘, *A. n.* ‚Variegatum‘; klon pospolity ‚Columnare‘, ‚Drummondii‘, ‚Faassen’s Black‘, ‚Globosum‘, ‚Princeton Gold‘, ‚Royal Red‘ i ‚Schwedleri‘ – *A. platanoides* ‚Columnare‘, *A. p.* ‚Drummondii‘, *A. p.* ‚Faassen’s Black‘, *A. p.* ‚Globosum‘, *A. p.* ‚Princeton Gold‘, *A. p.* ‚Royal Red‘, *A. p.* ‚Schwedleri‘; klon jawor ‚Atropurpureum‘, ‚Aureum‘, ‚Erectum‘, ‚Leopoldii‘, ‚Negenia‘, ‚Purpureum‘ i ‚Rotterdam‘ – *A. pseudoplatanus* ‚Atropurpureum‘,

A. p. ‚Aureum‘, *A. p. ‚Erectum‘*, *A. p. ‚Leopoldii‘*, *A. p. ‚Negenia‘*, *A. p. ‚Purpureum‘*, *A. p. ‚Rotterdam‘*; klon czerwony ‚Red Sunset‘ – *A. rubrum* ‚Red Sunset‘, klon srebrzysty ‚Pyramidale‘ – *A. saccharinum* ‚Pyramidale‘, oraz odmiana klonu zamszowatego – *A. velutinum* var. *vanvolxemii*.

Tab. 3.1. Liczba zinventaryzowanych w Krakowie drzew reprezentujących poszczególne rodzaje, z wyszczególnieniem liczniejszych (o udziale powyżej 1%) oraz drzew pozostałych, należących do 129 różnych, mniej licznie reprezentowanych rodzajów

Nazwa naukowa	Nazwa zwyczajowa	Liczba drzew [n]	Udział [%]
<i>Acer</i>	klon	25831	19,7
<i>Tilia</i>	lipa	11912	9,1
<i>Fraxinus</i>	jesion	11141	8,5
<i>Robinia</i>	robinia	8763	6,7
<i>Prunus</i>	śliwa	8643	6,6
<i>Populus</i>	topola	5908	4,5
<i>Salix</i>	Wierzba	5715	4,3
<i>Quercus</i>	dąb	5593	4,3
<i>Betula</i>	brzoza	4938	3,8
<i>Ulmus</i>	wiąz	3571	2,7
<i>Crataegus</i>	głóg	3258	2,5
<i>Alnus</i>	olcha	2936	2,2
<i>Sorbus</i>	jarząg	2779	2,1
<i>Malus</i>	jabłoń	2533	1,9
<i>Carpinus</i>	grab	2396	1,8
<i>Aesculus</i>	kasztanowiec	2285	1,7
<i>Picea</i>	świerk	2276	1,7
<i>Larix</i>	modrzew	2170	1,6
<i>Juglans</i>	orzech	1936	1,5
<i>Pinus</i>	sosna	1486	1,1
Pozostałe, w tym niesprawdzone		15385	11,7
Łącznie		131455	100,0

Drugim pod względem liczebności (11 912 drzew) jest rodzaj lipa *Tilia* reprezentowany głównie przez trzy gatunki – lipę drobnolistną *T. cordata*, szerokolistną *T. platyphyllos* i srebrzystą *T. tomentosa*, a także gatunki, podgatunki, mieszańce i odmiany takie jak lipa amerykańska *T. americana*; odmiany lipy drobnolistnej: ‚Green Globe‘, ‚Greenspire‘, ‚Rancho‘ – *T. cordata* ‚Green Globe‘, *T. c. ‚Greenspire‘*, *T. c. ‚Rancho‘*; lipa holenderska *T. xeuropaea* i jej odmiany: ‚Pallida‘ i „krymska” – *T. xeuropaea* ‚Pallida‘, *T. xeuropaea* ‚Euchlora‘; odmiany lipy srebrzystej: ‚Brabant‘ i „warszawska” – *T. tomentosa* ‚Brabant‘, *T. t. ‚Varsaviensis‘*; podgatunek lipy szerokolistnej *T. platyphyllos* subsp. *cordifolia* oraz odmiany: ‚Fastigiata‘, ‚Laciniata‘, ‚Pyramidalis‘ i ‚Vitifolia‘ – *T. p. ‚Fastigiata‘*, *T. p. ‚Laciniata‘*, *T. p. ‚Pyramidalis‘*, *T. p. ‚Vitifolia‘*.

Trzecim rodzajem pod względem liczby zinwentaryzowanych drzew (8,5%) jest jesion *Fraxinus* reprezentowany głównie przez dwa gatunki: jesion wyniosły *Fraxinus excelsior* i jesion pensylwański *F. pennsylvanica* oraz sporadycznie występujący jesion amerykański *Fraxinus americana*. W Krakowie rosną również odmiany jesionu pensylwańskiego – *Fraxinus pennsylvanica* ‚Crispa’, oraz wyniosłego – *Fraxinus excelsior* ‚Altena’, *F. e.* ‚Nana’, i *F. e.* ‚Pendula’.

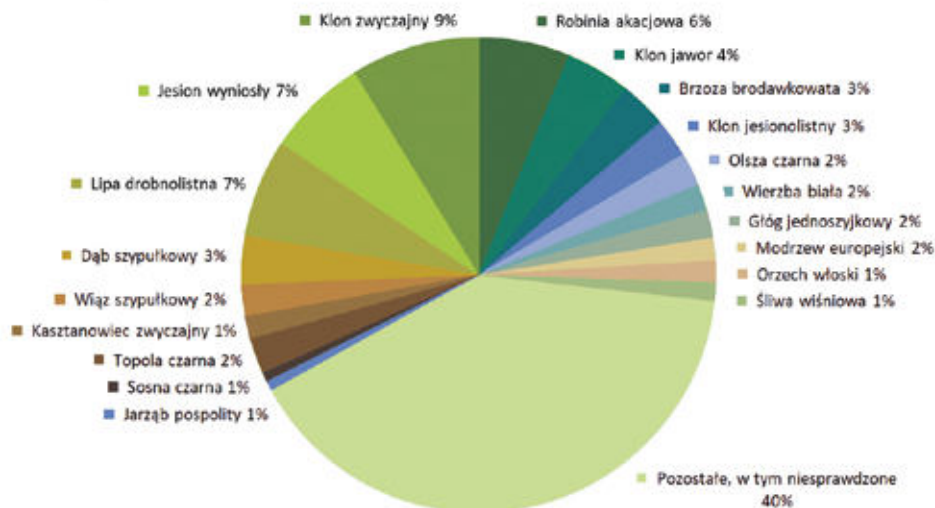
Czwartym pod względem liczebności (8763 drzewa) jest rodzaj robina *Robinia* reprezentowany przez jeden gatunek – robinie akacjową *R. pseudoacacia*. W Krakowie grocho-drzew spotykany jest bardzo często, m.in. ze względu na wykorzystanie w przeszłości do nasadzeń w otoczeniu fortów, a później doceniony ze względu na swoje walory ozdobne i użytkowe w odmianach: *R. p.* ‚Bessoniana’, *R. p.* ‚Frisia’, *R. p.* ‚Pyramidalis’, *R. p.* ‚Lace Lady’, *R. p.* ‚Unifoliola’ i *R. p.* ‚Umbraculifera’.

Kolejnym pod względem ilościowym (6,6% udziału) jest rodzaj śliwa *Prunus*. Należą do niego krzewy i drzewa z rodziny różowatych (Rosaceae). W obecnie dominującym, szerokim ujęciu, obejmuje ponad 200 gatunków. Występują one w strefie umiarkowanej i ciepłej półkuli północnej, przy czym odmiany uprawne i ozdobne rozpowszechnione są na całym świecie. Do rodzaju tego należą drzewa i krzewy określane zwyczajowymi nazwami: brzoskwinia, czeremcha, czereśnia, laurowiśnia, migdałek, morela, tarnina, wiśnia, śliwa.

Lista gatunków dla kilkudziesięciu tysięcy drzew z pozostałych piętnastu rodzajów (wyszczególnionych w Tab. 3.1), a także dla ponad 15 tysięcy drzew należących do 129 niewymienionych tutaj rodzajów, byłaby bardzo długa. Niektóre gatunki występują w Krakowie bardzo licznie (Ryc. 3.1), a szereg innych spotyka się znacznie rzadziej lub wręcz sporadycznie.

Gatunki wybrane do badań

Szczegółowe zbadanie tak dużej liczby gatunków roślin drzewiastych w ramach projektu LIFE URBANGREEN nie byłoby możliwe. Zgodnie z założeniami w obu miastach objętych projektem wybrano jedynie po dziesięć, co do zasady najczęściej występujących gatunków, reprezentatywnych dla Krakowa i dla Rimini. Jednakże dla umożliwienia porównania wyników i szerszego wnioskowania, starano się wyłonić kilka gatunków, lub przynajmniej rodzajów wspólnych dla obu miast, a jednocześnie objąć badaniami po jednym zimozielonym gatunku iglastym i po jednym gatunku krzewu. W Krakowie wyselekcjonowano 9 gatunków drzew: klon zwyczajny, lipa drobnolistna, jesion wyniosły, topola czarna, dąb szypułkowy, wiąz szypułkowy, jarząb pospolity, kasztanowiec zwyczajny, sosna czarna oraz krzew – dereń biały *Cornus alba* (Ryc. 3.1). Trzy gatunki (kasztanowiec biały, topola czarna i dąb szypułkowy) oraz trzy rodzaje, chociaż z różnymi gatunkami (klon jesionolistny *Acer negundo*, lipa holenderska *Tilia x europaea* i sosna pinią *Pinus pinea*) powtarzały się w Rimini, natomiast pozostałe badane tam drzewa reprezentowały odrębne taksony: dąb ostrolistny *Quercus ilex*, platan *Platanus x acerifolia* i ligustr lśniący *Ligustrum lucidum*, podobnie jak w przypadku odrębnego gatunku, aczkolwiek rosnącego również w Krakowie, krzewu – laurowiśni *Prunus laurocerasus*.



Ryc. 3.1. Udział procentowy osobników badanych gatunków drzew (lewa strona diagramu: klon zwyczajny *Acer platanoides*, jesion wyniosły *Fraxinus excelsior*, lipa drobnolistna *Tilia cordata*, dąb szypułkowy *Quercus robur*, wiąz szypułkowy *Ulmus laevis*, kasztanowiec zwyczajny *Aesculus hippocastanum*, topola czarna *Populus nigra*, sosna czarna *Pinus nigra*, jarząb pospolity *Sorbus aucuparia*) oraz innych, nieobjętych badaniami gatunków drzew rosnących w zieleni miejskiej Krakowa

Metody badań wybranych usług ekosystemu w zarysie

W celu określenia akumulacji i depozycji pyłów – cząstek stałych (ang. Particulate Matter; PM) pobrano kilka tysięcy próbek liści w Rimini i Krakowie z 10 gatunków wybranych dla każdego miasta, rosnących w pasach drogowych (przy ulicach) oraz w parkach. W Krakowie liście pobierano w latach 2018–2021 o różnych porach roku za wyjątkiem zimy, z trzech części korony – jej podstawy, części środkowej i wierzchołkowej. Do pomiaru akumulacji PM na powierzchni liści wykorzystano szeroko stosowane techniki laboratoryjne (ilość PM_x zaadsorbowana na jednostkowej powierzchni liścia w czasie pobierania próbek, $\mu g\ cm^{-2}$), z kilkoma modyfikacjami (Dzierżanowski i in. 2011; Mori i in. 2018), polegające na płukaniu zebranych liści w wodzie destylowanej, frakcjonowaniu PM przez zestaw sit i membran, ważeniu oraz przeliczeniu na cm^2 powierzchni liścia. Aby porównać pochłanianie dwutlenku węgla i utratę wody poprzez aparaty szparkowe liści, wykonano w Krakowie w latach 2018–2020 około 2300 pomiarów rocznie za pomocą analizatora gazów na podczerwień (Ryc. 3.2). Pomiary te, podobnie jak w przypadku poboru prób nad depozycją PM, również prowadzono o różnych porach roku, z podziałem na drzewa rosnące przy ulicach i w parkach oraz na poszczególne części korony z uwzględnieniem naturalnych fluktuacji poziomu światła. Konieczne było zatem wykorzystanie podnośnika koszowego, aby w relatywnie krótkim czasie wykonywać pomiary w obrębie tego samego drzewa, powtarzane o różnych porach dnia, badając wymianę gazową liści nasłonecznionych oraz rosnących we wnętrzu korony – liści zacienionych.

Na okładce niniejszej publikacji widoczny jest pomiar nastłonecznionego liścia kasztanowca, z dolnej części korony, rosnącego na Plan-tach Krakowskich. Dziewięć opisanych niżej gatunków (poza sosna czarna, której wąskie igły nie pozwalały na uzyskanie miarodajnych wyników przy pomocy stosowanego urządzenia), wykorzystano do oszacowania wartości usług ekosystemu, po przeliczeniu danych na jednostkę powierzchni liści, a następnie na całe drzewo z uwzględnieniem łącznej powierzchni wszystkich liści w jego koronie. Różnice w ilości pochłanianego przez liść CO_2 , czy też w odpowiednio skal-kulowanym efekcie schładzania powietrza w wyniku ewapotranspiracji, służyły m.in. ocenie wpływu dodatkowych zabiegów pielęgnacyjnych na wydajność usług ekosystemu, stosowanych na powierzchniach pilotażowych (pod-lewanie, mulczowanie, pozostawianie pokosu), względem powierzchni kontrolnych.

Badane gatunki znacząco różnią się od siebie w świadczeniu usług ekosystemu, choć nie zawsze były to różnice istotne statystycznie, czy to w zakresie poprawy jakości powietrza poprzez wychwytywanie pyłów, czy obniżanie temperatury w upalne dni poprzez ewapotranspirację. Jednakże gatunki te na tyle się od siebie różnią w zakresie wymagań siedliskowych, gabarytów, odporności na stres miejski i czynniki chorobotwórcze czy też, co również ważne, w zakresie przeciętnej długości życia drzewa, że wymagają bliższego omó-wienia i przynajmniej zasygnalizowania najciekawszych wyników przeprowadzonych badań.

Badane gatunki znacząco różnią się od siebie w świadczeniu usług ekosystemu, choć nie zawsze były to różnice istotne statystycznie, czy to w zakresie poprawy jakości powietrza poprzez wychwytywanie pyłów, czy obniżanie temperatury w upalne dni poprzez ewapotranspirację. Jednakże gatunki te na tyle się od siebie różnią w zakresie wymagań siedliskowych, gabarytów, odporności na stres miejski i czynniki chorobotwórcze czy też, co również ważne, w zakresie przeciętnej długości życia drzewa, że wymagają bliższego omó-wienia i przynajmniej zasygnalizowania najciekawszych wyników przeprowadzonych badań.

Klon zwyczajny *Acer platanoides* (klon pospolity) jest gatunkiem rodzimym w Euro-pie, rozpowszechnionym od Hiszpanii po Skandynawię. Jako jeden z trzech rodzimych ga-tunków klonu w Polsce (obok jawora i polnego), jest u nas najbardziej rozpowszechniony (zwłaszcza na nizinach; w górach ustępuje jaworowi). Posiada niemal 100 odmian ozdoby-nych. Jest szybko rosnącym drzewem liściastym, dorastającym w Polsce do 30 m wysokości, wykształcający w dojrzałym wieku, w zależności od odmiany, koronę szeroką i zaokrągloną, lub też węższą i stożkową. W miastach średnio osiąga wiek 75 lat, ale żywotność jest często skracana przez czynniki stresowe, takie jak grzyby i nadmierne zasolenie gleby. W lasach osiąga wiek 150 lat, a pojedyncze egzemplarze potrafią dożyć sędziwego wieku 250 lat. Liście naprzeciwległe, dłoniasto-klapowane, o pięciu, rzadziej siedmiu klapach z ostrymi wierzchołkami (klon jawor posiada liście o klapach zaokrąglonych). Niektóre od-miany wykazują trwałe lub przejściowe czerwone zabarwienie liści. Niezwykle atrakcyjne jest przebarwienie liści jesienią na jasnożółty, wręcz złoty kolor. Kwitnienie rozpoczyna w kwietniu, przed rozwojem liści. Okres ten jest długi (około trzech tygodni) i kończy się w maju, kiedy rozwijają się liście (Ryc. 3.3). Żółtozielone kwiaty zapylane są przez owady.



Ryc. 3.2. Urządzenie do pomiaru wymiany gazowej liści



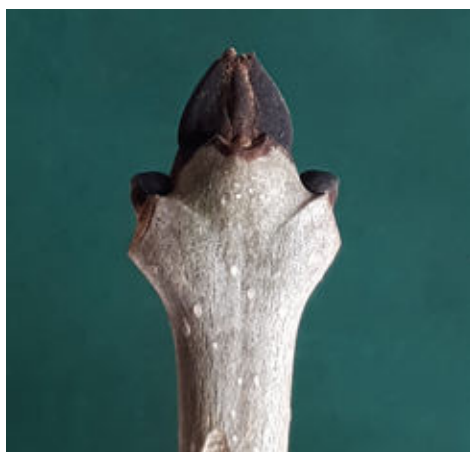
Ryc. 3.3. Kwiaty i liście klonu zwyczajnego *Acer platanoides*

Owocami są podwójne skrzydlaki (ulistnione orzeszki), o szerokim kącie rozwarcia ($>120^\circ$). System korzeniowy najczęściej sercowaty, jednak w miastach często wykształca mniej odporny na wywrócenie płaski system korzeniowy, z gęstą siecią cienkich korzeni. Klon zwyczajny nie lubi powierzchni utwardzonych, zabetonowanych. Ma jasne, lekko żółtawe lub różowawe drewno, przeważnie bez widocznej twardzieli (jeśli posiada twardziel, to jest ona zwykle stosunkowo niewielka i słabo zaznaczona, jasnobrązowa). Pomimo całkiem dobrych właściwości mechanicznych drewna, gałęzie klonu dość

często bywają łamane przez wiatr. Rośnie dobrze w pełnym słońcu lub w półcieniu. Jest niezwykłe mrozoodporny (do -40°C) i dobrze przystosowany do ubogich i zagęszczonych gleb w zakresie pH 5,5–8,0. Jest gatunkiem łatwym do przesadzania. Spośród badanych w Krakowie gatunków, klon zwyczajny wyróżniał się słoneczne dni najniższą asymilacją CO_2 w przeliczeniu na jednostkę powierzchni liścia (średnio około $7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), prawie dwukrotnie niższą w porównaniu z topolą i dębem, co przekłada się również na efekt chłodzenia. Przypuszczalnie aparaty szparkowe w liściach klonu zwyczajnego dla ochrony przed utratą turgoru (wędnięciem liści) w upalne popołudnia zamykały się. Efekt aktywnego chłodzenia powietrza poprzez ewapotranspirację radykalnie się zmniejszał, aczkolwiek gęste korony klonów nadal mogły zapewniać mieszkańcom przyjemny cień. W dni pochmurne różnice nie były tak wyraźne. Pod względem depozycji pyłów klon wykazywał wobec pozostałych dziewięciu gatunków wartości pośrednie, przy czym wychwytywał zdecydowanie więcej PM przy ulicach aniżeli w parkach, w których np. lipy i jesiony wyróżniały się podobną depozycją PM w porównaniu z lipami i jesionami rosnącymi w pasach drogowych.

Jesion wyniosły *Fraxinus excelsior* jest gatunkiem liściastym, rodzimym w Europie, o średnim tempie wzrostu, ale osiągającym w wieku dojrzałym wyjątkowo pokaźne rozmiary, ponieważ może dorastać do 45 m (Puszcza Białowieska), rozwijając stożkową lub kopulastą, ażurową koronę. Uważany jest za gatunek długowieczny, w sprzyjających warunkach może osiągnąć ponad 400 lat. W warunkach miejskich może żyć dłużej niż 120 lat. Ma nieparzystopierzście złożone zazwyczaj z 9–11 listków liście, które są osadzone naprzeciwległe. Liście jesienią opadają zielone, bez wyraźnego przebarwienia się. Pączki w odróżnieniu od innych gatunków jesionów są czarne (Ryc. 3.4). Zakwita w kwietniu, przed rozwojem liści. Owocami są pojedyncze skrzydlaki – samary, skupione w obfitych pęczkach. Rośnie dobrze w pełnym słońcu i w umiarkowanym cieniu. Jest dość wytrzymały na mrozy (do -30°C) i dobrze rozwija się w glebach alkalicznych. Gatunek ten słabo

toleruje suszę i ciepło, ale jest tolerancyjny względem zanieczyszczeń. Drewno jesionu wyniosłego jest bardzo twarde, choć mocno wrażliwe na rozkład. Z tego względu powinno się usuwać martwe gałęzie drzew rosnących na terenach publicznych. Jesion wyniosły jest gatunkiem słabo grodziującym, czyli ma niewielkie zdolności do zasklepiania ran, przez które łatwo wnikają grzyby. Dotyczy to zwłaszcza grubszych konarów, cięcia drobnych gałązek znosi dobrze. Należy zwrócić szczególną uwagę na czynnik chorobowy stanowiący jeden z najważniejszych patogenów jesionów (*Fraxinus* spp.), który może doprowadzić



Ryc. 3.4. Czarne pączki jesionu wyniosłego *Fraxinus excelsior*

do znacznych strat w drzewostanie. Powoduje on zamieranie zarówno drzewostanów dojrzałych, jak i młodych osobników, które są bardzo podatne na porażenie. Choroba jesionu wyniosłego powodująca jego zamieranie (ang. ash dieback, dieback of ash) wywoływana jest przez grzyb *Hymenoscyphus fraxineus*. Objawy zamierania jesionów obserwowano już wcześniej. Początkowo jednak sądzono, że przyczyną są czynniki środowiska, jesion wyniosły bowiem charakteryzuje się dużą wrażliwością na wszelkie zmiany wilgotności i temperatury. Jednak stale rozszerzający się obszar występowania i natężenie choroby zaczęły wskazywać na jej infekcyjny charakter, co potwierdziły prowadzone od lat 90. badania prof. Tadeusza Kowalskiego z Wydziału Leśnego w Krakowie. W Polsce choroba stała się tak poważnym problemem, że nadleśnictwa rezygnują już z uprawy jesionu wyniosłego, pomimo tego, że do niedawna stanowił jeden z gatunków lasotwórczych. W Europie choroba rozprzestrzeniła się na prawie wszystkie kraje. Ze względu na wielkość i ilość drzew nie jest możliwe ich uratowanie metodą oprysków chemicznych. Działania o ograniczonej skuteczności można podejmować jedynie w niektórych przypadkach. W parkach pomaga, stosowane również w Krakowie, grabienie i niszczenie liści, na których zimuje patogen. Pozwala to na zmniejszenie natężenia choroby, nie eliminuje jej jednak. Najwięcej nadziei wiąże się z odnalezieniem odmian i szczepów jesionu wyniosłego odpornych na tę chorobę (obecnie za najbardziej odporną odmianę uważany jest jesion wyniosły w odmianie 'Atlas' – *Fraxinus excelsior*, 'Atlas'). Jesion pensylwański *Fraxinus pennsylvanica* wykazuje się wysoką odpornością na porażenie, a ponadto jest gatunkiem ekspansywnym, a nawet inwazyjnym. Przy obecnym tempie sukcesji i szybkim zanikaniu jesionu wyniosłego w Krakowie gatunkiem dominującym rodzaju może stać się jesion pensylwański. W badaniach nad depozycją pyłów jesion wyniosły na tle innych gatunków nie wykazywał się wysoką skutecznością w ich wychwytywaniu – prawie dwukrotnie wyższe wartości depozycji PM_{10} wykazywała lipa drobnolistna. Jednakże biorąc pod uwagę zestawienie sumarycznych wartości usług ekosystemów zieleni miejskiej Krakowa

zapewnianych przez drzewa w ciągu całego cyklu życia (por. Ryc. 9.5), gatunek ten uzyskując 22 na 30 możliwych umownych punktów, przewyższał lipę aż o 9 punktów.

Lipa drobnolistna *Tilia cordata* jest gatunkiem rodzimym w Europie. Jest to gatunek liściasty o średnim tempie wzrostu, który w wieku dojrzałym może dorastać do 35 m. Korona może być owalna lub stożkowata, w zależności od odmiany. Drzewo długowieczne, średnio szybko rosnące. W miastach może przeżyć ponad 120 lat, ale znane są egzemplarze 300–500 letnie. Proste, sercowate liście osadzone są na pędach skrętolegle. Liście są nagie, z wyjątkiem widocznych na spodniej stronie kilku brązowawych kępek włosków u zbiegu unerwienia. Kwitnie w czerwcu i lipcu. Kwiaty są kremowe, silnie pachnące i bardzo atrakcyjne dla pszczoł. Są one często stosowane w medycynie. Kwiaty są zorientowane w górę w odniesieniu do liścia osadzonego w tym samym węźle (Ryc. 3.5), co pozwala odróżnić ten gatunek od mieszańców (*Tilia × europaea*) i lipy szerokolistnej *T. platyphyllos*. Owocem jest filcowato omszony niemal kulisty orzeszek bez wyraźnych żeberek, które u lipy szerokolistnej (Ryc. 3.6) są ostro zarysowane. Rośnie dobrze w umiarkowanym ocienieniu. Jest wytrzymała na mróz (do -30°C) i dobrze rośnie w glebach o dowolnej strukturze w zakresie pH 5,5–7,5. Jest niezwykle łatwa do przesadzania i mało wrażliwa na zanieczyszczenia powietrza. Wysoką efektywność w poprawie jakości powietrza może dodatkowo podnosić pokrycie powierzchni liści spadznią, która stabilizuje depozycję PM, przynajmniej do czasu intensywnych opadów.



Ryc. 3.5 Pączki kwiatowe i liście lipy drobnolistnej *Tilia cordata*



Ryc. 3.6. Owoc lipy szerokolistnej *Tilia platyphyllos*

Topola czarna *Populus nigra* jest gatunkiem rodzimym w Europie. Jest niezwykle szybko rosnącym drzewem liściastym, o wysokości oscylującej w granicach 25–30 m, ale sporadycznie może dorastać nawet do 40 m. Korona może być szeroka lub kolumnowa w przypadku odmiany 'Italica' czyli tzw. topoli włoskiej. W warunkach miejskich jest drzewem krótkowiecznym, tu rzadko przekracza 40 lat, ale na żyznych siedliskach nadrzecznych topola czarna w formie naturalnej osiąga wiek nawet do 300 lat. Topolę czarną, w przeciwieństwie do

mieszkańców kanadyjskich, charakteryzuje nierówny pień i liczne guzowate narośla z odrostami, choć można spotkać również drzewa o prostym pniu i braku narośli. Liście ma pojedyncze, trójkątne do romboidalnych (Ryc. 3.7). Kwitnie od lutego do kwietnia. Męskie i żeńskie kwiaty pojawiają się na różnych osobnikach, więc sadzenie osobników męskich pozwala uniknąć uciążliwości związanych z obfitującymi w puch nasionami. Rośnie dobrze w pełnym słońcu. Jest wytrzymała na spadki temperatury (do -30°C) i dobrze przystosowana do gleb podmokłych i zbitych, w zakresie pH 5,0–8,5. Korzenie mogą wypierać nawierzchnie pobliskich chodników. W projekcie LIFE URBANGREEN przeanalizowano pod



Ryc. 3.7. Młody liść topoli czarnej *Populus nigra*

względem korzyści ekosystemowych głównie drzewa należące do odmiany kolumnowej Topola włoska *Populus nigra* ‚*Italica*‘, stanowiącej ok. 10% wszystkich zinwentaryzowanych dotychczas odmian i gatunków topoli w Krakowie. Topola włoska idealnie sprawdza się w warunkach miejskich. Jej wąska i zwarta sylwetka zajmuje stosunkowo małą powierzchnię, a dodatkowo sprawia, że drzewo jest bardziej odporne na przewrócenie przez wiatr. Także niemal pionowo wzniesione konary topoli włoskiej stwarzają mniejsze zagrożenie niż rozłożyste konary innych drzew. Wymienione cechy powodują, że topole włoskie są dość popularną odmianą przydrożnych topoli zarówno w Krakowie, jaki w Rimini.

Dąb szypułkowy *Quercus robur* jest gatunkiem rodzimym w Europie. Jest to gatunek liściasty o średnim tempie wzrostu, który może osiągnąć wysokość 40 m. Naturalnie rozwinięta korona dębu jest szeroka i zaokrąglona, ale w miastach sadzona jest odmiana kolumnowa ‚*Fastigiata*‘. Jest gatunkiem wybitnie długowiecznym, w warunkach miejskich jego wiek może przekraczać 500 lat, ale zdarzają się osobniki, które dożywają ponad 1000 lat. Ma pojedyncze, klapowane liście, z dwoma charakterystycznymi okrągłymi „uszkami” w pobliżu ogonka (Ryc. 3.8), co pozwala odróżnić ten gatunek od podobnego dębu bezszypułkowego *Q. petraea*. Kwitnie w kwietniu i maju, jednocześnie z powolnym rozwojem liści. Owocami są żołędzie utrzymywane na długich



Ryc. 3.8. Liście dębu szypułkowego *Quercus robur*

szypułkach. Rośnie dobrze w pełnym słońcu, podczas gdy w zacienionych warunkach jest często infekowany przez patogeny liści (tj. mączniaka). Wytrzymały na mroz do -30°C . Preferuje gleby piaszczyste lub gliniaste, o pH między 6,5 a 7,5. Po adaptacji toleruje dobrze suszę, zasolenie, podtopienia i zanieczyszczenie powietrza, ale cierpi z powodu długotrwałego i ciężkiego stresu po przesadzeniu. Drewno jest bardzo gęste i odporne na próchnienie.

Wiąz szypułkowy *Ulmus laevis* (limak) jest gatunkiem rodzimym w Europie środkowej i Północnej. Jest to gatunek liściasty o szybkim tempie wzrostu, który może dorastać do 25 m. Korona w zarysie owalna. W miastach jest to drzewo na ogół długowieczne, osiągając 200–300, a nawet 400 lat, ale żywotność może być skrócona przez infekcje, które mogą powodować rozległe straty drzew tego gatunku. Liście są pojedyncze, jajowate, o podwójnie piłkowanym brzegu, delikatnie owłosione na dolnej stronie. Liście są wyraźnie asymetryczne w pobliżu krótkiego ogonka. Zakwita przed rozwojem liści pod koniec marca



Ryc. 3.9. Liście i nasiona wiązu szypułkowego *Ulmus laevis*



Ryc. 3.10. Kwiatostan jarzębu pospolitego *Sorbus aucuparia*

lub w kwietniu. Kwiaty nie mają płatków, to też nie są zbyt dekoracyjne. Owoc zwisający na długiej szypułce jest okrągłym skrzydlakiem, zwykle o średnicy około 1 cm, ze spłaszczonym orzeszkiem pośrodku i widocznymi krótkimi rzęskami wzdłuż brzegów skrzydełka (Ryc. 3.9). Rośnie dobrze w pełnym słońcu. Jest niezwykle wytrzymały na mrozy (do -40°C) i dobrze rośnie w każdym rodzaju gleby w zakresie pH 5,5–8,0. Jest bardzo łatwy do przesadzania i bardzo tolerancyjny na zanieczyszczenia powietrza.

Jarząb pospolity *Sorbus aucuparia* (jarzębina) jest gatunkiem rodzimym w Europie, gdzie rośnie głównie w zimnym klimacie i w obszarach górskich. Jest wolno rosnącym gatunkiem liściastym, który w wieku dojrzałym może osiągać do 12 m wysokości i wytwarzać zaokrągloną koronę. W warunkach miejskich jest krótkowieczny i rzadko osiąga 60 lat. Pojedyncze okazy żyją jednak znacznie dłużej, na przykład wiek jednej z jarzębin w Świnoujściu przekroczył 130 lat. Posiada liście złożone najczęściej z siedmiu piłkowanych listków, przebarwiające się jesienią na kolor żółty. Kwitnie od maja do czerwca. Białe kwiaty tworzą baldachogrona (Ryc. 3.10).

Koralowo-czerwone owoce rzekome posiadają wysokie walory ozdobne oraz duże znaczenie dla bioróżnorodności. Rośnie w różnych warunkach nasłonecznienia. Jest wytrzymały na mrozy (do -30°C) i dobrze przystosowany do gleb płytkich, piaszczystych i gliniastych, w zakresie pH 5,0–7,5. Drzewo stosunkowo łatwe do przesadzania, ale wykazuje słabą tolerancję na typowe czynniki stresowe warunków miejskich, w tym suszę, zasolenie i podtapianie. Wrażliwe ponadto na biotyczne czynniki stresowe, które mogą powodować wczesny i rozległy spadek liczby drzew tego gatunku. Rosnące w parkach jarząby pospolite charakteryzowały się 1,8 razy wyższymi wartościami depozycji PM w porównaniu z drzewami przyulicznymi.

Kasztanowiec biały *Aesculus hippocastanum* (kasztanowiec zwyczajny, kasztanowiec pospolity) jest popularnym, ozdobnym drzewem miejskim. Endemit bałkański, obecnie szeroko zdomowiony w Europie (w Polsce od XVI wieku). Jest to szybko rosnące drzewo liściaste, dorastające w Polsce zazwyczaj do około 20–25 m wysokości (maksymalnie 30 m), o koronie w młodości stożkowatej, a wieku dojrzałym szeroko zaokrąglonej. Zwykle w warunkach miejskich żyje do 75 lat (najstarszy kasztanowiec w Polsce liczy ponad 260 lat). Liście są naprzeciwległe o długich (do 20 cm) ogonkach, dłoniastodzielne, złożone z 5–7 listków. Kwitnienie rozpoczyna na przełomie kwietnia i maja, wykształcając efektowne, owadopylne kwiatostany (Ryc. 3.11). Z poszczególnych kwiatostanów rozwija zaledwie kilka kolczastych owoców, zawierających po jednym kulistym, rzadziej po dwa lub po trzy (maksymalnie cztery) bocznie spłaszczone nasiona we wspólnej torebce. Ewentualne spożycie owoców przez człowieka, w odróżnieniu od kasztanów jadalnych, może powodować dolegliwości układu pokarmowego. W medycynie, ze względu na właściwości lecznicze kasztanowca, stosowane są na ogół zewnętrznie preparaty zawierające wyciągi z różnych części tej rośliny. Rośnie dobrze w pełnym słońcu. Jest wytrzymały na mroź (do -30°C) i dobrze przystosowany do ubogich gleb w zakresie pH 5,5–8,0, za wyjątkiem gleb bardzo suchych. Gatunek ten jest dość trudny do przesadzania, słabo toleruje suszę i podtopienia. Jest podatny na szkodniki i patogeny, które mogą powodować przedwczesną defoliację. Słabo toleruje przycinanie ze względu na niską zdolność do kompartmentacji (grodziowania), źle znosi uszkodzenia korzeni. Zbyt mocne lub niewłaściwe cięcie kasztanowców może nawet doprowadzić do ich szybkiego zniszczenia. Kasztanowcom bardziej niż innym drzewom szkodzi susza i zanieczyszczenie środowiska. Wtórna produkcja liści i kwiatów jesienią stanowi dla drzewa znaczny wysiłek, a czasami może doprowadzić do obumarcia całego drzewa. W przeprowadzonych badaniach



Ryc. 3.11. Kwiatostan kasztanowca białego *Aesculus hippocastanum*

człowieka, w odróżnieniu od kasztanów jadalnych, może powodować dolegliwości układu pokarmowego. W medycynie, ze względu na właściwości lecznicze kasztanowca, stosowane są na ogół zewnętrznie preparaty zawierające wyciągi z różnych części tej rośliny. Rośnie dobrze w pełnym słońcu. Jest wytrzymały na mroź (do -30°C) i dobrze przystosowany do ubogich gleb w zakresie pH 5,5–8,0, za wyjątkiem gleb bardzo suchych. Gatunek ten jest dość trudny do przesadzania, słabo toleruje suszę i podtopienia. Jest podatny na szkodniki i patogeny, które mogą powodować przedwczesną defoliację. Słabo toleruje przycinanie ze względu na niską zdolność do kompartmentacji (grodziowania), źle znosi uszkodzenia korzeni. Zbyt mocne lub niewłaściwe cięcie kasztanowców może nawet doprowadzić do ich szybkiego zniszczenia. Kasztanowcom bardziej niż innym drzewom szkodzi susza i zanieczyszczenie środowiska. Wtórna produkcja liści i kwiatów jesienią stanowi dla drzewa znaczny wysiłek, a czasami może doprowadzić do obumarcia całego drzewa. W przeprowadzonych badaniach

kasztanowiec wykazywał 2,5-krotnie wyższą depozycję $PM_{2,5}$ przy ulicach aniżeli w parkach. Wygrabianie jesienią opadłych liści kasztanowca skutkowało zauważalnym zmniejszeniem, w porównaniu z powierzchniami kontrolnymi, liczebności szrotówka kasztanowcowiaczka *Cameraria ohridella* w roku następnym do czasu pojawienia się postaci doskonałych drugiego pokolenia. Jesienią różnice w stopniu porażenia liści stawały się jednak niewidoczne.

Sosna czarna *Pinus nigra* jest gatunkiem rodzimym w Europie południowej. Jest to zimozielone drzewo iglaste o szerokiej, stożkowatej koronie i średnim tempie wzrostu. Może osiągnąć 25 m wysokości, a często i więcej, jest długowieczne – szacuje się, że pojedyncze egzemplarze osiągają wiek 500 lat. Podwójne, ciemnozielone igły mają do 18 cm długości, a osadzone prostopadle do pędów na krótkich trzonkach szyszki – do 8 cm (Ryc. 3.12). Sosna czarna uznawana jest dziś za gatunek reliktowy, który rozwijał się w ostatniej epoce lodowcowej, a który obecnie zanika z powodu zmian



Ryc. 3.12. Szyszka sosny czarnej *Pinus nigra*



Ryc. 3.13. Zabarwienie kory pędów derenia białego *Cornus alba* w okresie bezlistnym

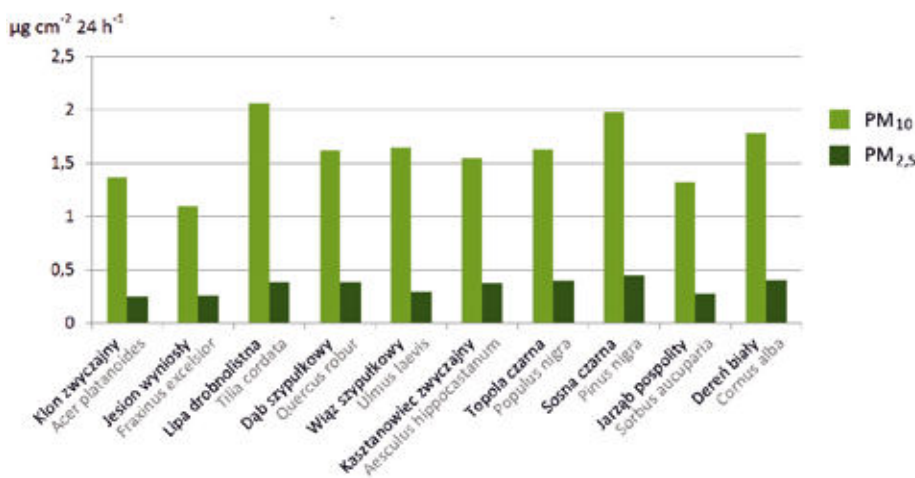
klimatycznych. Na południu Europy sosna ta słabo toleruje ciepło i zwykle nie jest uprawiana na obszarach miejskich, za wyjątkiem Alp. U nas woli stanowiska nasłonecznione i dobrze znosi upały. Nie należy do gatunków łatwych do przesadzania. W warunkach miejskich Europy środkowo-wschodniej radzi sobie obecnie nie najgorzej, toleruje zasolenie i zanieczyszczenia powietrza. Dane dotyczące usług ekosystemu świadczonych przez sosny odbiegają od pozostałych badanych gatunków, gdyż wąski aparat asymilacyjny (kształt igieł) uniemożliwiał zbadanie intensywności procesu asymilacji posiadanym urządzeniem i stąd brak danych o pochłanianiu CO_2 i efektu chłodzenia w upalne dni, wyrażonego w postaci zaoszczędzonej energii. Interesujące natomiast okazały się wyniki badań depozycji pyłów w odniesieniu do tego gatunku. Sosna czarna wykazała znacznie wyższą depozycję $PM_{2,5}$ w porównaniu z klonem pospolitym, który był prawie dwukrotnie mniej wydajny, przy czym sosny rosnące w parkach charakteryzowały się ponad 1,5 razy wyższymi wartościami depozycji PM_{10} i $PM_{2,5}$ w porównaniu z drzewami tego gatunku, rosnącymi w pasach drogowych (Ryc. 3.13).

Dereń biały *Cornus alba* jest gatunkiem egzotycznym, pochodzącym z Syberii i północnych Chin, wprowadzonym w Europie do celów ozdobnych. Jest to szybko rosnący krzew liściasty, który może dorastać do 3 m wysokości i w dojrzałym wieku wykształcać szeroko zaokrągloną koronę. Zwykle w warunkach miejskich osiąga wiek 40 lat. Jego czerwona kora, niezwykle jaskrawa w zimie (Ryc. 3.13), jest istotną cechą ozdobną tego gatunku. Ma proste, jajowate lub eliptyczne liście z nerwami zbiegającymi się u wierzchołka liścia. Liście osadzone są naprzeciwległe. Małe, kremowe kwiaty zebrane w baldachogrona, pojawiają się późną wiosną, a kuliste niebieskawobiałe owoce dojrzewają pod koniec lata. Rośnie dobrze w umiarkowanym ocienieniu. Jest bardzo wytrzymały na mrozy (do -40°C) i dobrze przystosowany do gleb ubogich, ale o właściwej strukturze i uwilgotnieniu.

Wnioski z badań w pigułce

W Krakowie na depozycję PM_{10} i $\text{PM}_{2,5}$ istotny wpływ miały gatunki i pory roku, podczas gdy lokalizacja drzewa – w parku, czy przy ulicy – istotna była tylko dla depozycji PM_{10} . Lipa drobnolistna wykazywała średnio dwukrotnie wyższe wartości depozycji PM_{10} aniżeli jesion wyniosły. Dla pozostałych gatunków były to wartości pośrednie (Ryc. 3.14), przy czym klony zwyczajne, kasztanowce białe, dęby szypułkowe i wiąz szypułkowe w pasach drogowych wykazywały średnio około 1,6 razy wyższą depozycję PM_{10} niż te rosnące w parkach.

Trend akumulacji PM w ciągu roku, również w rozbiciu na poszczególne frakcje (PM_{10-100} , $\text{PM}_{2,5-10}$, $\text{PM}_{0,2-2,5}$) był w Krakowie, w porównaniu do Rimini, odwrotny, co wskazuje,



Ryc. 3.14. Średnie dzienne wartości depozycji pyłów PM_{10} i $\text{PM}_{2,5}$ wyrażone w mikrogramach na 1 cm^2 powierzchni liści badanych gatunków (klon zwyczajny, jesion wyniosły, lipa drobnolistna, dąb szypułkowy, wiąz szypułkowy, kasztanowiec zwyczajny, topola czarna, sosna czarna, jarząb pospolity i dereń biały) rosnących przy ulicach oraz w parkach Krakowa na podstawie analizy prób zebranych wiosną, latem i jesienią 2019 roku

że na akumulację PM na liściach większy wpływ mają specyficzne dla miejsca czynniki meteorologiczne i środowiskowe (np. opady, prędkość wiatru i stężenie PM w powietrzu), aniżeli sama ontogeneza liści. Drzewa uliczne niektórych gatunków (np. jesion wyniosły *Fraxinus excelsior* i wiąz szypułkowy *Ulmus laevis*) były szczególnie skuteczne w wychwytywaniu PM, ale w przypadku tych gatunków, których zdrowie zostało nadszarpnięte przez warunki życia przy ulicy (np. sosna czarna *Pinus nigra*), usuwanie PM było mniejsze w porównaniu z roślinami tych samych gatunków rosnących w parkach. Aby zmaksymalizować stosunek korzyści do kosztów utrzymania roślinności w środowisku miejskim, wymagane jest staranne planowanie nasadzeń i odpowiednia ich pielęgnacja.

Biorąc pod uwagę złożony i dynamiczny cykl PM w krajobrazach miejskich, należy podkreślić, że cykl ten nie kończy się w momencie dotarcia cząstek do powierzchni roślin. Aby zapewnić skuteczną rolę roślinności w poprawie jakości powietrza, potrzebne są zarówno środki planowania, jak i zarządzania, aby usuwać PM ze środowiska definitywnie. Większą akumulację dużych cząstek stałych (PM₁₀ i większych) stwierdzono w dolnej jednej trzeciej części korony, co uzasadnia potrzebę sadzenia oprócz drzew z wolnymi pniami również krzewów i małych drzew rozgałęzionych nisko przy ziemi, aby uniknąć problemów z ponownym unoszeniem i rozpraszaniem PM na poziomie pieszych, zwłaszcza wzdłuż dróg o dużym natężeniu ruchu kołowego i związanych z nim emisji. Znajomość właściwości poszczególnych gatunków drzew i krzewów daje urbanistom i architektom zieleni większe możliwości optymalnego projektowania i aranżacji przestrzeni w kontekście problemów zanieczyszczenia powietrza w miastach.

Na poziomie planowania ważne jest zintegrowanie projektu nasadzeń z projektowaniem w otaczającym zieleń środowisku odpowiednich powierzchni przepuszczalnych, z wykorzystaniem na przykład stabilizowanych gleb, systemów odwadniających lub porowatych nawierzchni. Na poziomie zarządzania należy preferować częste usuwanie opadłych liści. Skoncentrowanie na tym temacie przyszłych badań może przynieść odpowiedź na pytanie, jak bardzo techniki planowania i zarządzania terenami zieleni, wpływają na potencjał roślinności w zakresie filtrowania powietrza i innych korzyści we współczesnych miastach. Uzyskane już teraz wyniki, które będą szczegółowo publikowane w odrębnych pracach naukowych, pomocne będą – jak przypuszczamy – przy ulepszaniu istniejących i projektowaniu nowych założeń zieleni, dla bardziej ekologicznych, zrównoważonych miast.

Badania wykazały, że spośród 10 wybranych w Krakowie i Rimini gatunków (w tym kilku wspólnych lub blisko spokrewnionych) pod względem efektywności wszystkich ocenianych usług ekosystemów, najlepiej wypadł w obu miastach dąb szypułkowy. Ranking pozostałych gatunków sprawdzić można na wskazanym i wciąż aktualizowanym portalu dla mieszkańców „Krakowskie drzewa i ich zalety” pod adresem krakow.lifeurbangreen.eu, w zakładce „DRZEWA” (Ryc. 9.1), na którym prezentowane dane są pobierane i na bieżąco aktualizowane wprost z platformy GreenSpaces.

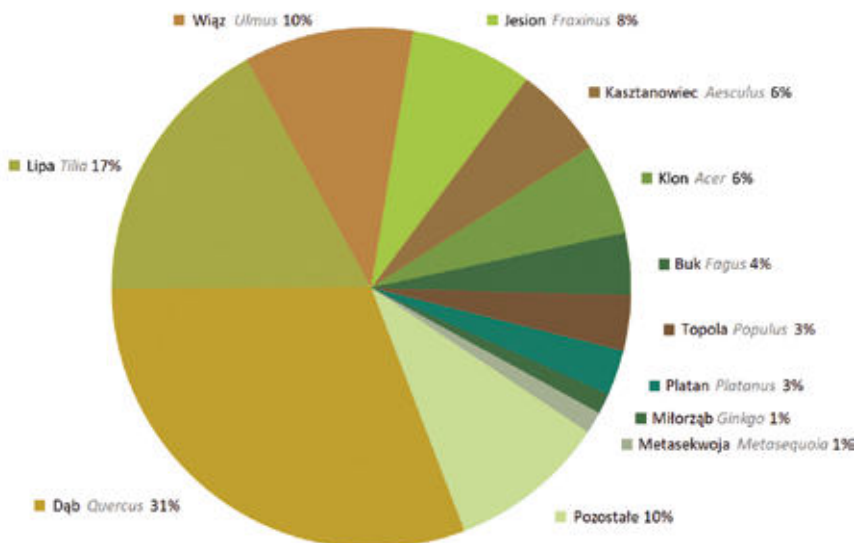
Drzewa pomnikami przyrody

Jedną z ustawowych form ochrony przyrody, stwarzającą drzewom szczególne warunki prawne, zwiększające możliwości długiego życia i osiągnięcia przez nie ponadprzeciętnych rozmiarów jest „pomnik przyrody”. Nobilitacja drzew, poprzez dodatkową ochronę prawną, nie jest wyłącznie aktem oddania takim drzewom, zazwyczaj już sędziwym, należnego szacunku. Z jednej strony skłania do zwiększenia troski i nakładów na zapewnienie drzewom pomnikowym jak najlepszych warunków, z drugiej strony ułatwia uzyskanie środków finansowych na niezbędne zabiegi pielęgnacyjne, wynikające najczęściej z konieczności zapewnienia bezpieczeństwa osobom, mieniu i samym drzewom. Nie każde jednak drzewo może zostać uznane za pomnik przyrody. Wymiary drzew oraz inne przesłanki dające podstawę radom gmin do podejmowania uchwał w tym zakresie zostały unormowane w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 4 grudnia 2017 r. Rozpatrywany jest zespół cech, a w szczególności wyróżnianie się wśród innych drzew tego samego rodzaju lub gatunku w skali kraju, województwa lub gminy, ze względu na obwód pnia, wysokość, szerokość korony, wiek, występowanie w skupiskach, w tym w alejach lub szpalerach, pokrój lub inne cechy morfologiczne, a także inne wyjątkowe walory przyrodnicze, naukowe, kulturowe, historyczne lub krajobrazowe.

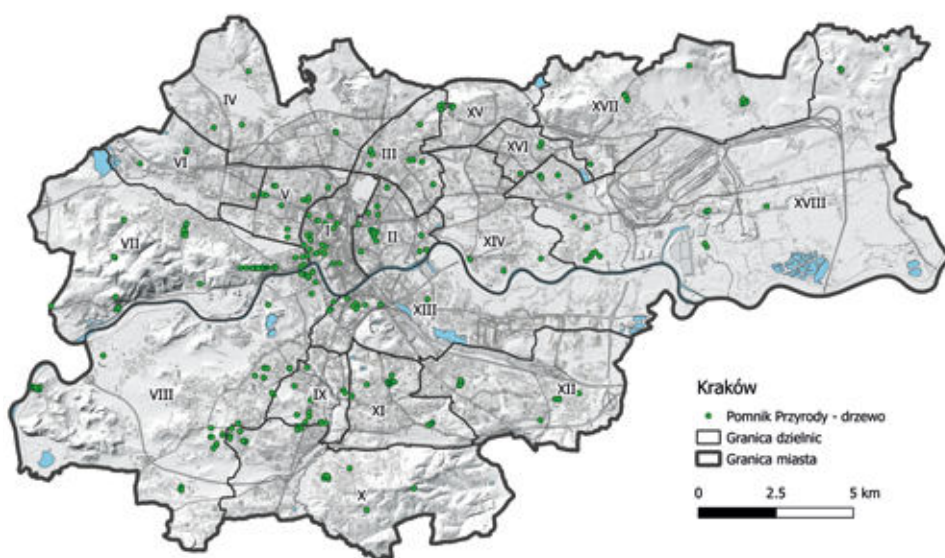
W Krakowie ochroną pomnikową objętych było pod koniec 2021 roku 368 drzew, jednak liczba ta wydaje się precyzyjna tylko z pozoru i nie jest równoznaczna z liczbą pomników przyrody wynoszącą 342 obiekty. Pomijając dwa pomniki przyrody nieożywionej – głąz narzutowy „Rapa Kiwi” i krasowe „Źródło Świętojańskie”, pomnikiem jest aleja lipowa składająca się z wielu drzew objętych ochroną. Pozostałe pomniki to pojedyncze drzewa, natomiast część okazów rosnących w Ogrodzie Botanicznym Uniwersytetu Jagiellońskiego, może budzić wątpliwości interpretacyjne. Dwa derenie jadalne *Cornus mas* mają formę krzewiastą, a sagowiec podwinięty *Cycas circinalis* i daktylowiec kanaryjski *Phoenix canariensis* w istocie nie są drzewami, gdyż nie mają pnia, lecz kłodzinę (drzewo z definicji tworzy pień, koronę i system korzeniowy), dodatkowo kłodzina stangerii dziwnej *Stangeria eriopus* znajduje się pod ziemią. Z uwzględnieniem powyższych zastrzeżeń przedstawiono uproszczoną analizę (Ryc. 3.15), z której wynika, że w Krakowie drzewami uznawanymi za pomnik przyrody są najczęściej dęby, lipy i wiązy (łącznie około 58% drzew).

W Krakowie od kilkunastu lat pomniki przyrody ustanawiane są uchwałami Rady Miasta Krakowa, a sprawującym nad nimi nadzór jest Prezydent Miasta Krakowa. Z uwagi na ten fakt oraz na szczególne znaczenie drzew – pomników przyrody, w bazie danych GreenSpaces uwzględnione są również pomniki rosnące na terenach niezarządzanych przez Miasto. Rozmieszczenie wszystkich drzew objętych aktualnie tą formą ochrony przedstawiono na mapie (Ryc. 9.16).

Drzewa sędziwe, w tym pomniki przyrody, stanowią wizytówkę miasta i powód do dumy jego mieszkańców. Drzewa takie wymagają szczególnej troski i niekiedy generują liczne problemy wywołując szeroką dyskusję i poważne wyzwania. Do takich drzew należy rosnący na Plantach Krakowskich buk pospolity w odmianie czerwonej *Fagus sylvatica* f. *purpurea*, który już w chwili uznania go za pomnik przyrody, nie miał najlepszych rokowań.



Ryc. 3.15. Rozkład procentowy drzew uznanych za pomnik przyrody należących do poszczególnych rodzajów, rosnących na terenie Krakowa w 2021 roku



Ryc. 3.16. Rozmieszczenie 368 drzew - pomników przyrody na terenie Krakowa

Obumierające korzenie i nabiegi (Ryc. 3.17) rozkładane były przez flagowca olbrzymiego *Meripilus giganteus* - objętego wówczas ochroną gatunkową.

Buki należą do drzew dożywających zazwyczaj 150-200 lat, a niekiedy nawet ponad 300 lat. Natomiast odmiana purpurowa, a z jej kultywarem mamy do czynienia na Plantach, nie cechuje się długowiecznością. Przy drzewach rozmnażanych wegetatywnie sadzonka

już za młodu „obarczona” jest wiekiem swojego protoplasty. Być może ma to związek z większą wrażliwością naczyń ksylemu takiego buka na kawitację wywołaną stresem wodnym (znane, choć dotychczas lekceważone zjawisko, stosunkowo niedawno ponownie odkryte, wciąż jednak słabo zbadane). Stres powodowany brakiem dostępności wody dla drzewa, oprócz oczywistego czynnika jakim jest niedobór wody w podłożu czy też pochodzącej bezpośrednio z opadów, zależy od temperatury i wilgotności powietrza, ciśnienia oraz siły wiatru, ale przede wszystkim od wydolności systemu korzeniowego zaopatrującego tak dużą koronę drzewa przy konieczności jednoczesnego utrzymania właściwej temperatury liści. Przy splocie niekorzystnych warunków środowiska z pogorszonym



Ryc. 3.17. Owocniki flagowca olbrzymiego *Meripilus giganteus* wyrastające u podstawy pnia i przy nabiegach korzeniowych pomnikowego buka *Fagus sylvatica* f. *purpurea* rosnącego na Plantach Krakowskich (ArboTag nr 001093)

funkcjonowaniem aparatów szparkowych podczas wysokich letnich temperatur powietrza, dochodzi do upośledzenia przewodzenia w naczyniach, prowadzącego do tzw. zatorowości ksylemowej, która w skrajnych przypadkach staje się zjawiskiem nieodwracalnym i część gałęzi lub nawet konarów czy całych partii korony zamiera (Herbette i in. 2010; Stojnic i in. 2018). Badania naukowe wskazują, że przy buku tej odmiany może dochodzić do zatoru już przy obniżeniu potencjału ciśnienia o 1,9 MPa. W upalne popołudnia potencjał ciśnienia w tkankach przewodzących drewna często zbliża się do dolnych wartości progowych.

W opiece nad drzewami brak wpływu na pogodę może być chociaż w pewnym stopniu niwelowany przez pośrednie oddziaływania na mikroklimat miejski, ograniczające niekorzystny efekt tzw. miejskiej wyspy ciepła. Mulczowanie i podlewanie, poza udokumentowanym, istotnym z punktu widzenia człowieka, zwiększaniem wartości usług ekosystemów, może znacząco przeciwdziałać skutkom suszy i poprawiać wydolność systemów korzeniowych poszczególnych drzew, zapewniając im większą dostępność wody, substancji organicznych i powietrza. Takie zabiegi wykonywano względem omawianego buka. W trosce o bezpieczeństwo, ale i ochronę powierzchni gleby, w zasięgu rzutu korony drzewa wykonano ponadto ogrodzenie.

Przeprowadzone badania gleby potwierdziły poprawę warunków życia drzewa, jednak jego statyka z uwagi na bardzo powolną regenerację uszkodzonych korzeni jest zagrożona. Rozważana jest stopniowa, aczkolwiek kontrowersyjna redukcja korony drzewa, a także zabezpieczenia techniczne, które ograniczą ryzyko wywrócenia się drzewa przy silnych porывach wiatru.

Literatura

- Dzierżanowski K., Popek R., Gawrońska H., Sæbø A., Gawroński S.W. 2011. Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species. *International journal of phytoremediation*, 13 (10): 1037–1046.
- Herbette S., Wortemann R., Awad H., Huc R., Cochard H., Barigah T.S. 2010. Insights into xylem vulnerability to cavitation in *Fagus sylvatica* L.: Phenotypic and environmental sources of variability. *Tree physiology*. 30 (11): 1448–1455. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq079> [dostęp: 8.12.2021].
- Mori J., Fini A., Galimberti M., Ginepro M., Burchi G., Massa D., Ferrini F. 2018. Air pollution deposition on a roadside vegetation barrier in a Mediterranean environment: combined effect of evergreen shrub species and planting density. *Science of the total environment*, 643: 725–737.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 grudnia 2017 r. w sprawie kryteriów uznawania tworów przyrody żywej i nieożywionej za pomniki przyrody. Dz. U. poz. 2300.
- Stojnić S., Suchocka M., Benito-Garzón M., Torres-Ruiz J.M., Cochard H., Bolte A., Cocozza C., Cvjetković B., de Luis M., Martínez-Vilalta J., Ræbild A., Tognetti R., Delzon S. 2018. Variation in xylem vulnerability to embolism in European beech from geographically marginal populations, *Tree Physiology*, 38 (2): 173–185. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpx128> [dostęp: 8.12.2021].
- Vigevani I., Corsini D., Mori J., Pasquinelli A., Gibin M., Comin S., Szwajko P., Cagnolati E., Ferrini F., Fini A. [w przygotowaniu]. Particulate Pollution Capture by Seventeen Woody Species Growing in Parks or along Roads in Two European Cities.

Out of 131,455 trees, belonging to 149 genera, so far inventoried in Krakow, 10 species were selected for detailed research on the ecosystem services they provide. As a rule, they were the most numerous species, but to enable the comparison of the results obtained in Krakow and Rimini, efforts have been made to identify several species, or at least genera common to both cities, and to include one evergreen conifer and one shrub: Norway maple *Acer platanoides*, European ash *Fraxinus excelsior*, little-leaf linden *Tilia cordata*, pedunculate oak *Quercus robur*, European white elm *Ulmus laevis*, horse chestnut *Aesculus hippocastanum*, black poplar *Populus nigra*, Austrian pine *Pinus nigra*, rowan *Sorbus aucuparia* and white dogwood *Cornus alba*. The research has shown that among the 10 species selected in Krakow and Rimini (including several common or closely related ones) in terms of the effectiveness of all assessed ecosystem services, the pedunculate oak *Quercus robur* ranked among the highest in both cities. The ranking of other species can be consulted on the constantly updated portal created for residents “Trees of Krakow and their benefits”. It can be found on the website: <https://krakow.lifeurbangreen.eu/en/>, under the “TREES” tab. The data presented there is gathered directly from the GreenSpaces platform and updated on a regular basis.

Doskonalenie metod utrzymania i pielęgnacji drzew miejskich

Improving care and maintenance methods for urban trees

Łukasz Mielczarek

Jednym z głównych celów projektu LIFE URBANGREEN jest stosowanie innowacyjnych praktyk w pielęgnacji zieleni. W ramach projektu skupiono się na drzewach, które uważane są za kluczowy element środowiska, zapewniający wiele korzyści ekosystemowych. Poniżej przedstawiono charakterystykę prowadzonych działań. Wstępne wyniki badań uzyskane w projekcie LIFE URBANGREEN ukazują bardzo duży wpływ mulczowania oraz nawadniania na zwiększenie asymilacji dwutlenku węgla oraz na transpirację drzew (Fini i in., w przygotowaniu).

Mulczowanie

W trakcie projektu na powierzchniach pilotażowych na bardzo dużą skalę stosowano uprzednio przygotowany mulcz (Ryc. 4.1, 4.2). Zastosowanie ściółkowania spełnia kilka istotnych funkcji takich jak ochrona gleby przed wydeptywaniem, czy zwiększenie retencji wody i aktywności biologicznej. Wszystkie te zalety wpływają na poprawę kondycji fizjologicznej drzew, a co za tym idzie również na świadczone przez nie usługi ekosystemów. W skład ściółki, rozkładanej warstwą o miąższości około 10 cm, wchodziły głównie pre-kompostowane zrębki drzew liściastych z dodatkiem kory sosnowej.



Ryc. 4.1. Mulczowanie drzew przy al. Pokoju



Ryc. 4.2. Mulczowana powierzchnia w Parku Lotników Polskich

Funkcję mulczu mogą pełnić również opadłe liście (Ryc. 4.3) których pozostawienie ma bardzo dobry wpływ na glebę wokół drzew. Takie działanie powinno być jednak zawsze przemyślane, szczególnie w przypadku gatunków, których liście silnie oddziałują allelopacyjnie na sąsiednie rośliny lub stanowią rezerwuár organizmów, mogących mieć negatywny wpływ na zdrowie drzewa. Dobrze poznane przykłady to chociażby liście kasztanowca białego z poczwarkami motyla szrotówka kasztanowcowiaczka *Cameraria ohridella*, czy jesionu wyniosłego z grzybem *Hymenoscyphus fraxineus*, powodującym jego zamieranie.

Zebrane liście zawierające szkodliwe organizmy, nie powinny być wywożone natychmiast. Pozostawienie ich na dłuższy czas, spowoduje zmniejszenie objętości, a tym samym obniży koszty transportu i związanego z nim śladu węglowego. Intensywne procesy rozkładu podczas kompostowania, powodują znaczny wzrost temperatury kompostowanej materii, co skutkuje śmiercią niepożądanych organizmów lub co najmniej zaburza ich cykl rozwojowy.



Ryc. 4.3. Powierzchnia pilotażowa z pozostawionymi liśćmi (w głębi) oraz usuniętymi liśćmi kasztanowca (przy alejce) w Parku Lotników Polskich

Napowietrzanie gleby

W celu poprawy warunków w strefie korzeniowej drzew, w szczególnych przypadkach, można zastosować napowietrzanie gleby poprzez AirSpade (Ryc. 4.4). Jest to lanca, za pomocą której do podłoża można wprowadzić powietrze pod bardzo dużym ciśnieniem. Narzędzie to może być stosowane do spulchnienia ubitej gleby, która zmieniła swoje właściwości w wyniku prac ziemnych, wydeptania czy działania wprowadzanej do gleby soli, jako wysoce



Ryc. 4.4. Zabieg napowietrzania gleby prowadzony przy al. Pokoju

negatywnego skutku ubocznego zabiegów stosowanych podczas zimowego utrzymania dróg. AirSpade może być stosowany w celu przygotowania gleby przed posadzeniem drzew w nowym miejscu oraz do wprowadzenia nawozu. Takie działanie jest łatwiejsze do przeprowadzenia niż kosztowne dostarczenie nowego podłoża, które dodatkowo niesie duże ryzyko rozprzestrzeniania się niepożądanych organizmów. Umożliwia jednocześnie wprowadzenie infrastruktury w sposób zapewniający uniknięcie kolizji z ważniejszymi korzeniami, stanowiąc jednocześnie alternatywę dla wykorzystania sprzętu budowlanego, który powoduje kompresję gleby. Ze względu na ryzyko negatywnych skutków, AirSpade stosowano w Krakowie jedynie pilotażowo. Po badaniach wykonanych penetrometrem, zabieg wykonano w miejscach o silnie przekształconej glebie na niewielkiej grupie drzew, rosnących przy drogach.

W amerykańskich badaniach nad napowietrzaniem podłoża w obrębie korzeni klonu czerwonego *Acer rubrum* rosnącego w zróżnicowanych warunkach miejskich z wykorzystaniem AirSpade (Fite i in. 2011), istotnie pozytywny efekt wykazano po upływie 2–3 lat od zabiegu. Działania przeprowadzano w połączeniu z mulczowaniem lub – w mniejszym stopniu – z nawożeniem mineralnym. Samo napowietrzanie (czyli bez połączenia z nawożeniem, mulczowaniem lub w kombinacji wszystkich zabiegów) nie tylko nie przyniosło oczekiwanych efektów, ale nawet spowodowało na jednym z czterech stanowisk statystycznie istotny spadek zawartości substancji organicznej w glebie, względem powierzchni kontrolnej. Dla interpretacji efektów napowietrzania w Krakowie, gdzie zabieg przeprowadzony w 2020 roku połączony był z mulczowaniem i podlewaniem, wyniki badań amerykańskich mogą być pomocne jedynie częściowo, gdyż tam na wszystkich stanowiskach, w tym kontrolnych, do zwalczania chwastów stosowano herbicydy (Roundup) na 2 tygodnie przed

zabiegiem, a w razie potrzeby w trakcie całego doświadczenia. W Krakowie roślin wokół drzew nie zwalczano, a jedynie wykaszano trawę przed rozłożeniem mulczu, jednak w przypadku drzew zakwalifikowanych do napowietrzania podłoża, takiej konieczności nie było.

Cenną natomiast informacją z cytowanej wyżej publikacji jest udokumentowanie na jedynym badanym w tym zakresie stanowisku, utrzymującego się przez cały okres badań istotnego zwiększenia zawartości wody w glebie w porównaniu z powierzchnią kontrolną, szczególnie w okresie suszy letniej. Obserwowane w Krakowie pod koniec lata 2020 roku pierwsze pozytywne efekty przeprowadzonego wiosną tegoż roku napowietrzania (połączonego z mulczowaniem i podlewaniem) na powierzchniach pilotażowych nie potwierdziły się w kolejnym roku ze względu na nietypowe warunki pogodowe. Wyjątkowo deszczowe miesiące późną wiosną i latem były równoznaczne z brakiem konieczności podlewania jakichkolwiek drzew, zgodnie zresztą ze wskazaniem modułu Smart Irrigation na platformie GreenSpaces. Różnice pomiędzy efektami połączonego z innymi zabiegami spulchniania podłoża drzew rosnących na powierzchniach pilotażowych i kontrolnych wzdłuż dróg były w 2021 roku niewielkie.

W oczekiwaniu na bardziej jednoznaczne wyniki prowadzonych w Krakowie zabiegów spulchniania zbitego podłoża w obrębie drzew z zastosowaniem lancy AirSpade, z całą pewnością – w oparciu o zdobytą wiedzę i praktyczne doświadczenie – można stwierdzić, że wykorzystanie tego sprzętu może przynieść pozytywne efekty, wymaga jednak rozważań i umiejętności oraz przestrzegania zasady „po pierwsze nie szkodzić”.

Podlewanie

Podlewanie drzew jest wyjątkowo ważnym zabiegiem w przypadku nowych nasadzeń. Szczególnie przez pierwsze trzy do pięciu lat kiedy drzewo, mimo trudnych warunków miejskich, musi wykształcić odpowiednio duży system korzeniowy. Aklimatyzacja drzewa



Ryc. 4.5. Podlewanie drzewa rosnącego przy al. Pokoju z zastosowaniem worka do podlewania

do nowego miejsca jest procesem kosztownym z ekonomicznego oraz środowiskowego punktu widzenia. W procesie sadzenia drzewa często mamy do czynienia z pewnym paradoksem. Sadzimy drzewa m.in. by zwiększyć retencję wody czy obniżyć temperaturę otoczenia, jednak w okresie nawet kilku lat od posadzenia, poświęcamy drogocenną wodę oraz energię do podlewania. Aby inwestycja w drzewa była efektywna, w ramach projektu stworzono moduł do nawadniania drzew, zintegrowany z platformą GreenSpaces. Na podstawie danych meteorologicznych oraz indywidualnych potrzeb drzew, wynikających z cech gatunkowych oraz biometrycznych, ogrodnik poprzez platformę do zarządzania terenami zieleni informowany jest o aktualnym zapotrzebowaniu drzewa na wodę. Jest to narzędzie umożliwiające osiągnięcie niezbędnego balansu pomiędzy zachowaniem zdrowia drzew, a poniesionymi kosztami na ich podlewanie. Dodatkową metodą służącą optymalnemu wykorzystaniu zasobów wodnych, jest stosowanie specjalnych worków do powolnego uwalniania wody (Ryc. 4.5). Worki oddają wodę w sposób, który zapewnia głębsze, jednostajne nawodnienie gleby.

Z powodu zmian klimatycznych, coraz ważniejsza jest retencja wody, również na potrzeby związane z podlewaniem drzew. Dobrą praktyką jest tworzenie rezerwuarów wody, zasilanych wodą deszczową, np. pochodzącą z dachów obiektów zlokalizowanych w pobliżu terenów zieleni. Tego typu podejście daje możliwość efektywniejszego wykorzystania zasobów wodnych, a poprzez zmniejszenie odległości od źródła wody, minimalizuje koszty związane z jej transportem do potrzebujących roślin. Przykładem takiego rozwiązania jest wybudowany w Parku Lotników Polskich staw (Ryc. 4.6), przy którym stworzono specjalny punkt do czerpania wody na potrzeby podlewania. Jest to wzór obiektu, który łączy potrzeby związane ze zmianami klimatycznymi, funkcje społeczne (miejsce rekreacji), stwarzając jednocześnie duży potencjał dla zwiększania lokalnej bioróżnorodności.



Ryc. 4.6. Staw w Parku Lotników Polskich

Prace na drzewach

Wraz z postępowaniem wiedzy o drzewach, szczególnie ich fizjologii, diametralnie zmienia się podejście do czynności związanych z ingerencją w ich budowę i formę. Dendrolodzy i arborysty mają coraz większą świadomość przystosowań, które drzewa wykształciły przez miliony lat ewolucji. Musimy pamiętać, że to właśnie sprawdzone przystosowania sprawiają, że organizmy te rosną w określony sposób, pozwalają na rozkład swych tkanek przez grzyby, przybierają charakterystyczne dla gatunku formy, które często odbiegają od przyjętych przez nas założeń.

Należy pamiętać, że każde cięcia w obrębie drzewa mogą mieć negatywny wpływ na jego fizjologię i zwiększają ryzyko infekcji różnymi patogenami. W związku z powyższym korekta korony drzew, powinna być prowadzona w uzasadnionych przypadkach np. zwiększenia poziomu bezpieczeństwa użytkowników szlaków komunikacyjnych, kolizji z infrastrukturą lub by zminimalizować skutki poważnych uszkodzeń, mogących powstać podczas gwałtownych zjawisk pogodowych.

Aby zminimalizować wpływ na fizjologię drzewa, w ramach projektu przyjęto, by cięcia w obrębie korony nie przekraczały 10–15% jej objętości oraz były wyznaczone tylko na najmłodszych gałęziach. W podejściu tym najczęściej gałęzie nie są całkowicie usuwane a jedynie osłabiana jest ich dominacja wierzchołkowa. Dobrze wykonane prace są bardzo trudne do dostrzeżenia, a ich efekt jest często niezauważalny dla niespecjalisty (Ryc. 4.7). Prace te wymagają wiedzy i cierpliwości. W perspektywie czasu są jednak mniej inwazyjne dla zdrowia drzewa, umożliwiając stopniową przebudowę jego korony oraz skuteczne zarażanie powstałych ran. Tak zaplanowane działania zmniejszają ryzyko wykonania prac powodujących powstawanie zbyt dużych uszkodzeń drzewa. Prace w koronie drzew powinny być wykonywane zawsze przez wykwalifikowanych arborystów lub pod ich ścisłym nadzorem i tylko w sytuacjach, gdzie jest rzeczywista potrzeba takich działań.

W praktyce działania takie najczęściej wynikają z uzasadnionej potrzeby wyprowadzenia drzew, które wraz z upływem lat nadal będą stwarzały możliwe niskie ryzyko wyłamania, zwłaszcza wzdłuż intensywnie użytkowanych dróg. Zaniechania i błędy z okresu młodości drzewa bardzo trudno jest później naprawić, a zazwyczaj w ogóle nie jest możliwe, aby oczekiwany efekt uzyskać w krótkim czasie. Z tego względu wszelkie cięcia, a zwłaszcza mające na celu kształtowanie pokroju pnia i korony, powinny być zaplanowane od chwili posadzenia drzewa (o ile wadliwe sadzonki nie zostały sprowadzone już ze szkółki) i odpowiednio rozciągnięte w czasie – w zależności od gatunku – na kilka lub częściej na kilkanaście lat. Struktura korony, w tym docelowa wysokość jej podstawy, zależna od zakładanej skrajni drogi, a także niepożądana przy drogach i innych intensywnie uczęszczanych przez ludzi obiektach, wielopniowość (lub wyżej położone rozwidlenie pnia pod ostrym kątem) istotnie wpływa na bezpieczeństwo i tym samym na możliwość osiągnięcia przez drzewo optymalnego wieku. Aby sprostać powyższym zasadom i prowadzić niezbędne prace na drzewach w sposób najmniej ryzykowny, w Krakowie stosowano się nie tylko do ustaleń i szczegółowych wskazówek profesora Alessio Fini z Uniwersytetu w Mediolanie, zresztą w uzasadnionych przypadkach na



Ryc. 4.7. Grab pospolity *Carpinus betulus* przed (po lewej) i po przeprowadzeniu cięć korygujących

bieżąco modyfikowanych, ale również opracowywanych właśnie przez Fundację EkoRozwoju standardów. Wymiana doświadczeń w ramach realizowanego równolegle projektu LIFE15 GIE/PL/000959 pt. "Trees for Europe's Green Infrastructure" przyczyniła się bowiem m.in. do opracowania i wdrożenia tak potrzebnego dokumentu jakim jest „Standard cięcia i pielęgnacji drzew” (Borkowski, Witkoś-Gnach 2021).

Koszenie trawników

Trawnik to bardzo powszechna forma zieleni. Utrzymanie wymagające jego systematycznego koszenia jest jednak działaniem, które powoduje często obniżenie bioróżnorodności oraz generuje wysokie koszty środowiskowe. Powoduje hałas, a używany sprzęt dodatkowo emituje spaliny. W związku z powyższym do dobrych praktyk należy ograniczanie powierzchni oraz częstotliwości koszenia, szczególnie w okresach suszy lub przekształcanie trawników w bardziej przyjazne środowiskowo formy zieleni jak np. łąki kwietne. W przypadku powierzchni koszonych intensywniej należy stosować sprzęt umożliwiający równomierne pozostawienie rozdrobnionego pokosu na koszonej powierzchni. Pozostawiony pokos (Ryc. 4.8) pełni funkcje podobne jak mulczowanie drzew – chroni glebę przed nadmiernym przesuszeniem, a powstająca próchnica staje się nawozem zasilającym rośliny.



Ryc. 4.8. Trawnik w Parku Lotników Polskich z pozostawionym pokosem

Literatura

- Borkowski J, Witkoś-Gnach K. 2021. Standard cięcia i pielęgnacji drzew. Fundacja EkoRozwoju, Wrocław, 44 pp.
- Fini A., Vigevani I., Corsini D., Pasquinelli A., Cagnolati E., Szwatko P., Wężyk P., Failla O., Gibin M., Viskanec P., Ferrini F. [w przygotowaniu]. How trees improve cities: CO₂ uptake, cooling, air quality amelioration.
- Fite K., Smiley E.T., McIntyre J., Wells C.E. 2011. Evaluation of a Soil Decompaction and Amendment Process for Urban Trees. *Arboriculture & Urban Forestry* 37(6): 293–300.

The main objective of the LIFE URBANGREEN project has been to implement the innovative practices in the maintenance of greenery, e.g. mulching, watering, soil aeration and reduction of pruning. These activities are believed to be crucial for bringing higher benefits in ecosystem services. Preliminary results of the research have shown that mulching and irrigation of trees positively affect the increase of the transpiration and carbon sequestration. On the other hand, in anticipation of final effects of soil aeration treatment performed in Krakow using AirSpade, we can affirm that the tool may be beneficial but special attention should be paid to its use.

Monitoring satelitarny zieleni miejskiej w Krakowie

Monitoring of Krakow greenery based on Remote Sensing

Urszula Cisto-Lesicka, Przemysław Mamuszka, Piotr Wężyk

Przeciwdziałanie negatywnym skutkom zmian klimatu opierać się musi nie tylko na odpowiednim monitorowaniu i zarządzaniu publicznymi terenami zieleni miejskiej, ale także wszelkimi jej typami znajdującymi się w posiadaniu innych podmiotów, w tym prywatnych właścicieli lub np. związków wyznaniowych czy fundacji. Tereny zieleni miejskiej współcześnie definiowane jako Urban Forestry lub greenery infrastructure to obszary, do których zaliczamy nie tylko tereny zieleni przyjmujące formę zorganizowanych zespołów zieleni o przeznaczeniu publicznym (takie jak parki czy lasy miejskie), ale również wszelkie inne tereny pokryte roślinnością. Do tych ostatnich zaliczyć możemy: ogródki działkowe, przydomowe ogrody, zieleń osiedlową, parki kieszonkowe, zieleń wzdłuż linii kolejowych, ogrody dachowe, zielone torowiska tramwajowe, skwery pokryte roślinnością, obszary cmentarzy pokryte drzewami czy krzewami, ogrody klasztorne, ogrody botaniczne czy zieleń forteczna. Tereny zieleni miejskiej, w zależności od konkretnej aglomeracji, występują zwykle na obszarze całego miasta, ale z różnym udziałem powierzchniowym w poszczególnych dzielnicach. Z tego też powodu bardzo dobrymi metodami monitorowania stanu zieleni miejskiej są technologie teledetekcji satelitarnej.

Współcześnie technologie z zakresu obserwacji Ziemi (ang. Earth Observation; EO) umożliwiają nawet codzienne pozyskiwanie obrazów satelitarnych z wysoką (ang. HR; High Resolution; Ground Sample Distance, GSD < 5,0 m) lub bardzo wysoką rozdzielczością przestrzenną (ang. VHR, Very High Resolution; GSD < 1,0 m). Obrazy rejestrowane w kilku (4–8) kanałach spektralnych można z powodzeniem wykorzystywać do monitorowania stanu zdrowotnego oraz bieżącego zarządzania terenami zieleni miejskiej. Ogromną zaletą stosowania obrazów satelitarnych jest obrazowanie całego obszaru miasta najczęściej podczas jednego przelotu satelity. Tereny niepublicznej zieleni miejskiej zwykle są niedostępne dla inspektorów wykonujących czynności inwentaryzacyjne metodami tradycyjnymi. W przypadku zastosowania danych EO, działania związane z inwentaryzacją zieleni na takich terenach nie wiążą się z koniecznością uzyskania zezwoleń.

Niewątpliwe zalety obrazów satelitarnych w monitorowaniu zmian zachodzących w publicznej i niepublicznej zieleni miejskiej Krakowa, zadecydowały o wyborze tej

technologii do implementacji w projekcie LIFE URBANGREEN. Nowoczesny monitoring zieleni miejskiej bazuje na wysokim stopniu automatyzacji procesów przetwarzania obrazów satelitarnych, wspieranych innymi geodanymi jak chmury punktów lotniczego skanowania laserowego czy dane GIS (miejskie bazy danych przestrzennych). W tym celu wykorzystuje się innowacyjne podejście analizy obrazów satelitarnych zwane GEOBIA (ang. Geographical Object Image Analysis), wykorzystujące zarówno właściwości odbicia spektralnego promieniowania Słońca od różnych typów zieleni miejskiej, jak również kształt i wielkość czy kompaktowość obiektów oraz ich relacje przestrzenne (asocjacje) często bazujące na związkach logicznych. Analiza obiektowa (GEOBIA) obrazu pozwala w procesie segmentacji i klasyfikacji na jednoczesną integrację cech spektralnych obiektów oraz ich właściwości geometrycznych (np. wysokości drzew na podstawie chmury punktów ALS LiDAR), semantycznych czy też danych kontekstowych (Bajorek-Zydroń, Wężyk 2016; Hejmanowska, Wężyk, 2020).

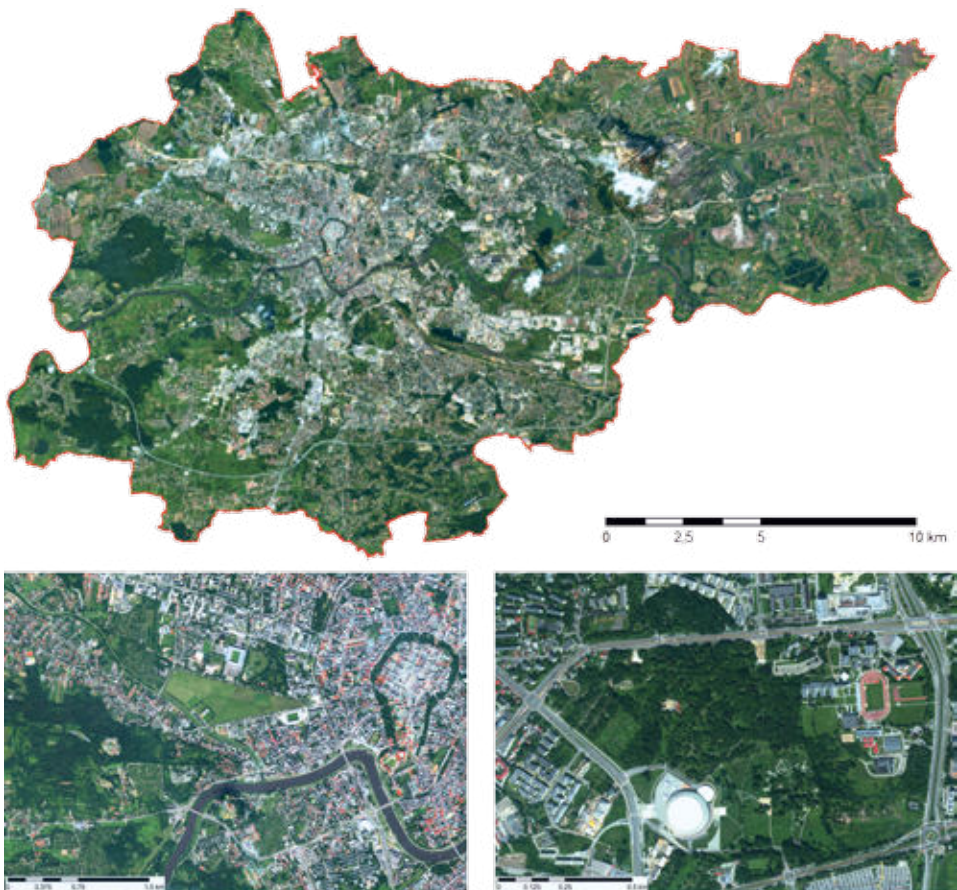
W procesie analizy obiektowej wykorzystano bardzo wysokorozdzielcze zobrazowania satelitarne WorldView-2 (Maxar). Charakteryzują się one jednoczesną rejestracją 8 kanałów spektralnych (kanały MS; ang. Multi Spectral) o GSD 2,0 m oraz 1 kanału panchromatycznego (ang. PAN; Panchromatic) o GSD 0,5 m. Projekt LIFE URBANGREEN zakładał przeprowadzenie analizy czasoprzestrzennej przemian zieleni miejskiej Krakowa w okresie realizacji projektu, tj. w okresie trzech lat:

- rozpoczęcie projektu: akwizycja obrazu 21.07.2018 r. (Ryc. 5.1),
- faza zakończenia projektu: akwizycja obrazu: 5.07. oraz 24.07.2021 r. (Ryc. 5.2).

W celach przeprowadzenia poprawnych analiz przemian klas pokrycia i użytkowania terenu (ang. LULC; Land Use Land Cover) w terenach przesłoniętych (np. wysokimi budynkami co wynikało z dużego kąta rejestracji) i zacienionych przez chmury – zestaw obrazów VHR VW-2 z 2021 roku uzupełniony został obrazami HR PlanetScope Dove (Planet Labs; GSD 3,0 m).

W procesie klasyfikacji obrazów satelitarnych VHR (2018 oraz 2021) zastosowano metodę GEOBIA, w której poza kanałami MS oraz PAN wykorzystano pochodne danych rastrowych wskaźnika roślinności (ang. Normalised Difference Vegetation Index; NDVI), znormalizowany numeryczny model pokrycia terenu (zNMPT) wygenerowany na podstawie przetworzenia chmury punktów lotniczego skanowania laserowego (ALS LiDAR) oraz dane wektorowe GIS (obrysy budynków, drogi i koleje, wody i in.). W przypadku analizy GEOBIA dla obrazów VHR z roku 2021, dane ALS LiDAR mogły być wykorzystane tylko częściowo ze względu na datę ich pozyskania (listopad 2017 r.). W procesie analizy GEOBIA terenów rolnych Krakowa wspomagano się seriami czasowymi wielospektralnych (13 kanałów MS) zobrazowań satelitarnych Sentinel-2 (ESA) dla sezonów wegetacyjnych 2018 i 2021 (Ryc. 5.3).

W procesie analizy GEOBIA wykorzystywano zaawansowane algorytmy segmentacji obrazów rastrowych, które w pierwszym etapie tworzą tzw. segmenty (obiekty), charakteryzujące się pewną homogenicznością kontrolowaną przez operatora. W drugim etapie analizy segmenty są klasyfikowane na podstawie tzw. sygnatur klas (np. wartości spektralnych, odchylenia standardowego reflektancji w segmencie, właściwości geometrycznych –



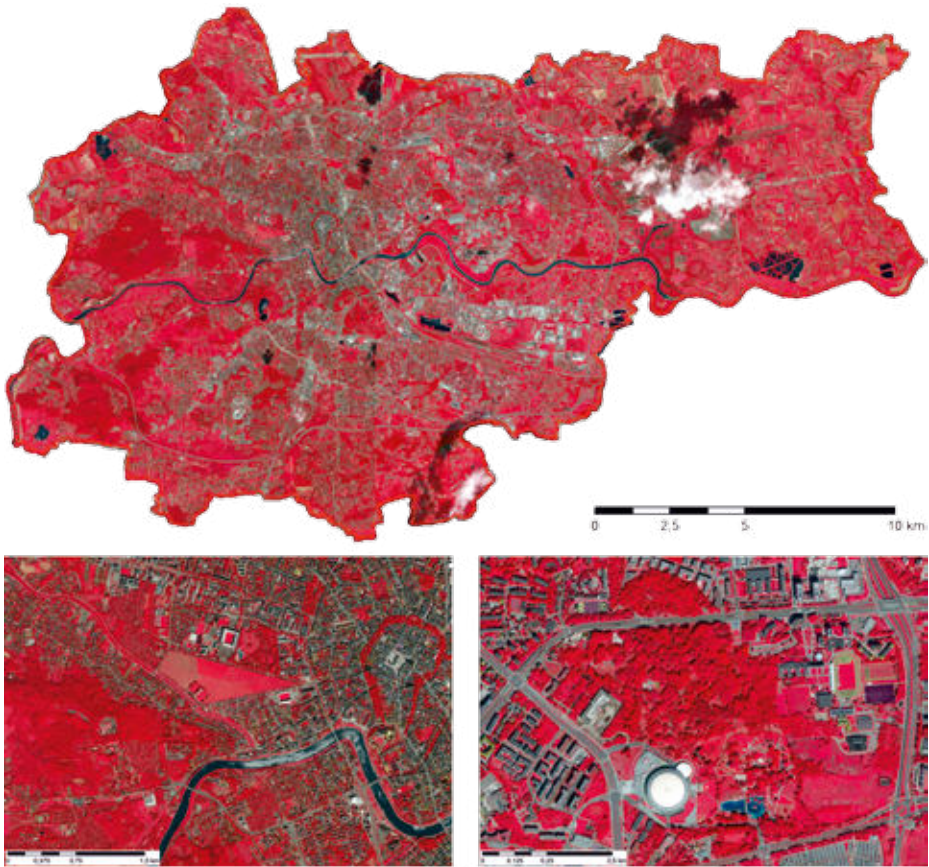
Ryc. 5.1. Kompozycja w barwach rzeczywistych RGB Krakowa obrazów VHR WorldView-2 (Maxar) z 2018 roku: na dole po lewej – centrum miasta, na dole po prawej – Park Lotników Polskich w Krakowie

np. powierzchnia, wskaźnik powierzchnia/długość granic i in., relacji między obiektami itp. (Ryc. 5.4, 5.5).

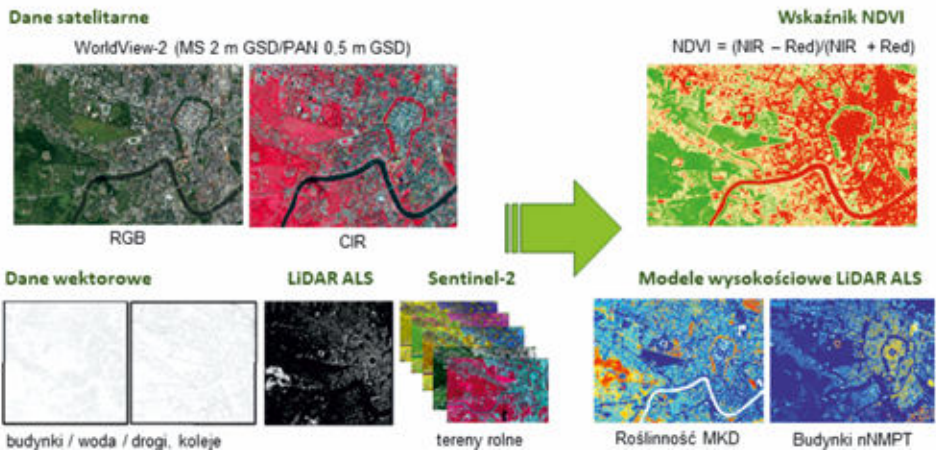
Dla celów projektu LIFE URBANGREEN przyjęto 10 klas LULC (Tab. 5.1) dla danych pozyskanych w 2018 roku (Ryc. 5.6) oraz 2021 roku (Ryc. 5.7). Kontrola jakości warstw wynikowych analizy GEOBIA wykazała osiągniętą dokładność średnią (ang. Overall Accuracy) na poziomie 93% (2018 r.) i 87% (2021 r. – brak aktualnej chmury punktów LiDAR ALS).

Analiza GEOBIA wykonana na podstawie danych pozyskanych w lipcu 2018 roku wykazała, iż największą powierzchnię miasta Krakowa zajmowała klasa zieleni niskiej (27,8%; ID 232), a najmniejszą wody śródlądowe (1,8%; ID 300) (Tab. 5.2; Ryc. 5.8 po lewej).

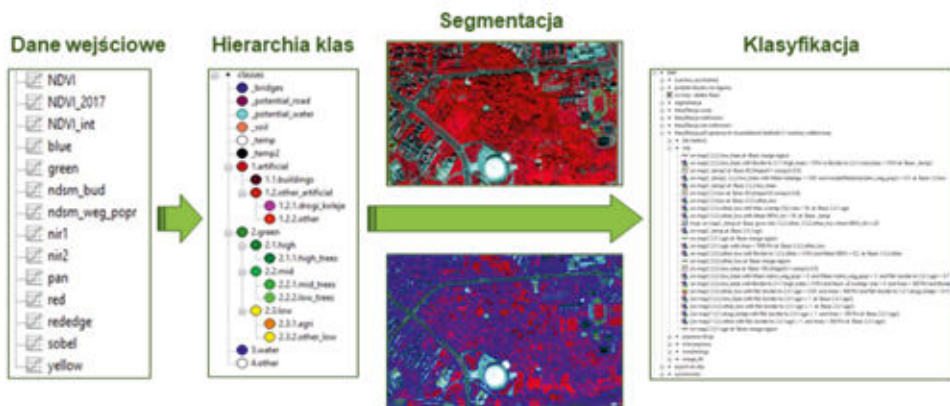
Dane satelitarne obszaru Krakowa z lipca 2021 roku wykazały natomiast, iż największą powierzchnię tworzą 2 klasy zieleni, czyli: zieleni niska (16,9%; ID 232) oraz klasa drzew niskich i krzewów (17,4%; ID 222; Tab. 5.3). Ta dość duża zmiana w zakresie klasy niskiej



Ryc. 5.2. Kompozycja spektrastrefowa CIR (Colour InfraRed) Krakowa obrazów VHR WorldView-2 (Maxar) z 2021 roku: na dole po lewej – centrum miasta, na dole po prawej – Park Lotników Polskich w Krakowie



Ryc. 5.3. Geodane wykorzystane w klasyfikacji obiektowej GEOBIA



Ryc. 5.4. Schemat przebiegu procesu GEOBIA



Ryc. 5.5. Przykład mapy pokrycia i użytkowania terenu (po prawej) opracowanej na drodze analizy obrazu GEOBIA obrazów wielospektralnych VHR WorldView-2 (Maxar; po lewej; kompozycja CIR)

zieleni spowodowana została przede wszystkim brakiem aktualnych chmur punktów ALS LiDAR, co skutkowało brakiem szczegółowego modelu wysokościowego zNMPT dla rocznika obrazów z lipca 2021 r. Najmniejszą powierzchnię w przypadku analizy dla danych z 2021 r. zajęła klasa wód śródlądowych (1,8%; ID 300), której powierzchnia w zasadzie nie zmieniała się w przeciągu trzech lat (Tab. 5.3; Ryc. 5.8 po prawej). Inną klasą, która nie zmieniła przez ostatnie trzy lata znacząco swojej powierzchni, jest klasa tereny rolne (ID 231), której powierzchnia zajęła odpowiednio: 18,0% (w 2018; Tab. 5.2) i 18,3% (w 2021; Tab. 5.3).

O ile cała powierzchnia klasy tereny antropogeniczne (ID 1) w przeciągu trzech lat nie wykazała żadnych znaczących zmian (25,2% w 2018; Tab. 5.2; 25,1% w 2021; Tab. 5.3) to jednak w klasach niższej hierarchii stwierdzono niewielkie różnice. Dotyczyły one: klasy zabudowa (9,7% w 2018; Tab. 5.2; 8,1% w 2021; ID 110; Tab. 5.3), klasy drogi, koleje i tereny powiązane (8,1% w 2018; Tab. 5.2; 7,9% w 2021; ID 121, Tab. 5.3) oraz klasy otwarte obszary zainwestowane (7,4% w 2018, Tab. 5.2; 9,1% w 2021, ID 122; Tab. 5.3). Należy jednak zwrócić uwagę na fakt rejestracji zobrazowania satelitarnego WorldView-2 (2021 r.) pod większym

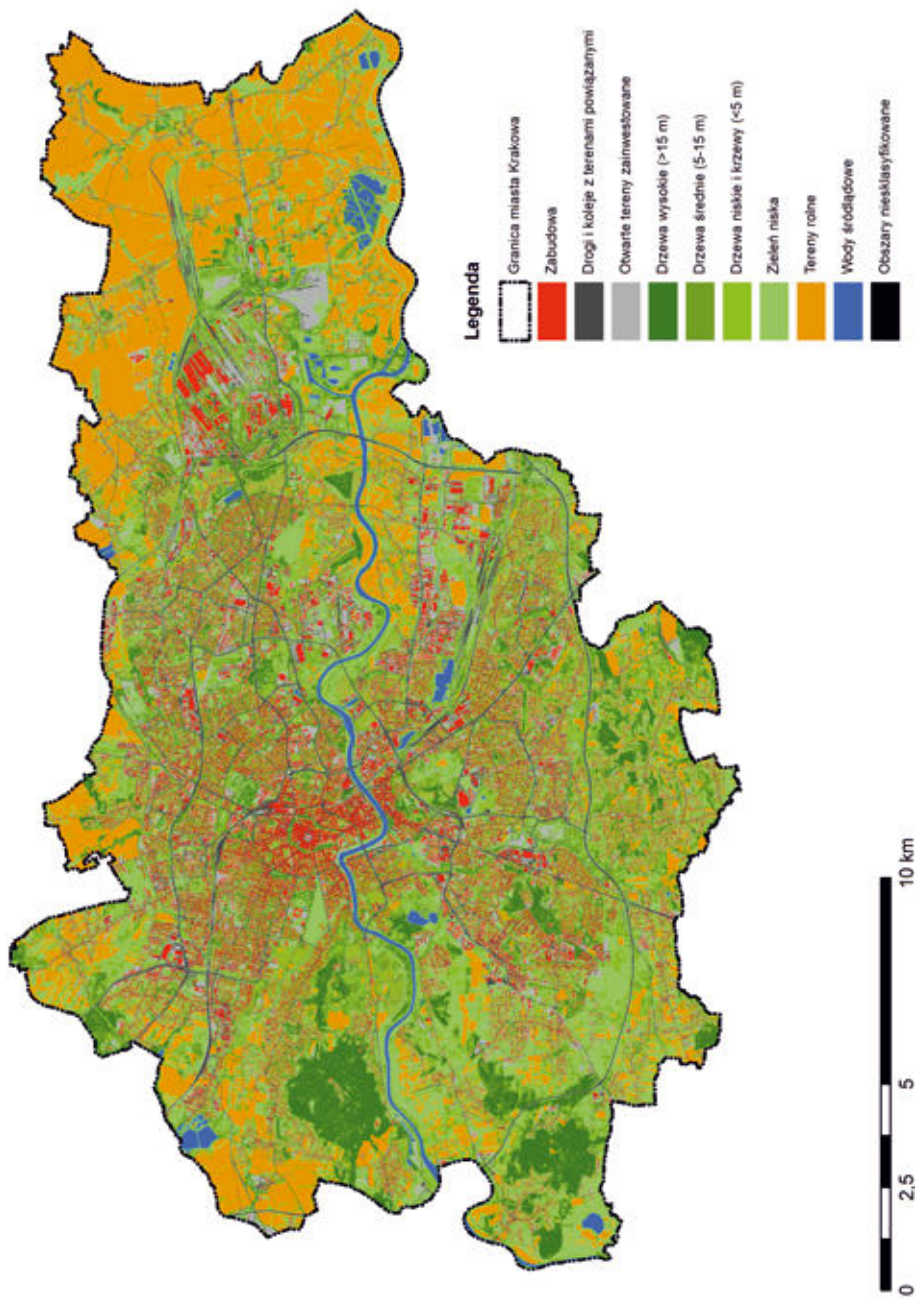
Tab. 5.1. Hierarchia klas pokrycia i użytkowania terenu (LULC; GEOBIA)

Poziom 1		Poziom 2		Poziom 3		Opis
1	Tereny antropogeniczne	11	Zabudowa miejska	110	Zabudowa	Budynki mieszkalne, przemysłowe i handlowe, inne budowle, itp.
		12	Tereny przemysłowe, handlowe i komunikacyjne	121	Drogi i koleje z terenami powiązanymi	Drogi, ulice, torowiska, perony, itp.
				122	Otwarte obszary zainwestowane	Parkingi, place, alejki, podjazdy, itp.
2	Tereny zieleni miejskiej	21	Roślinność wysoka	211	Drzewa wysokie ≥ 15 m	Drzewa liściaste i iglaste o wysokości ponad 15,0 m
		22	Roślinność średnia	221	Drzewa średnie od 5–15 m	Drzewa liściaste i iglaste o wysokości w przedziale 5,0±15,0 m
				222	Drzewa niskie i krzewy < 5 m	Drzewa i krzewy do 5,0 m wysokości
		23	Roślinność niska	232	Zielen niska	Pozostałe obszary zieleni niskiej jak: trawniki, przydomowe ogródki, boiska trawiaste, zielone skwery itp.
				231	Tereny rolne	Obszary użytków rolnych obejmujących grunty orne, trwałe użytki zielone (łąki i pastwiska), sady, winnice, szklarnie, itp.
3	Obszary wód	30	Wody śródlądowe	300	Wody śródlądowe	Wody powierzchniowe płynące i stojące
4	Obszary niesklasyfikowane	40	Obszary niesklasyfikowane	400	Obszary niesklasyfikowane	Głębokie cienie, chmury

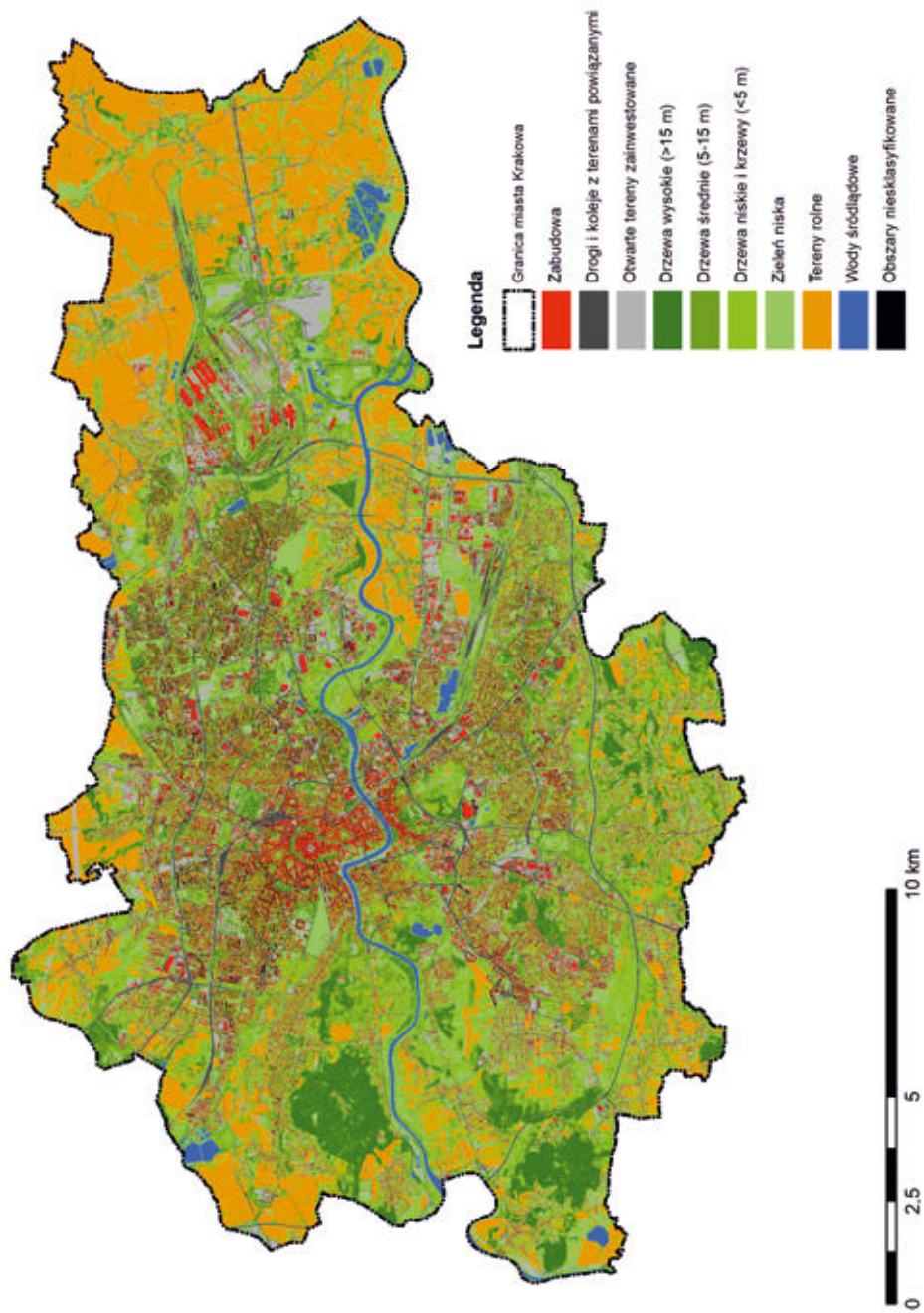
wychyleniem od nadiru (off_nadir) i przy trochę niższej pozycji Słońca w stosunku do danych z 2018 r. Parametry techniczne zobrazowania (2021 r.) skutkowały wzrostem powierzchni obszarów niesklasyfikowanych (głębokie cienie, „pochylone” budynki), które wystąpiły głównie w obrębie zabudowy wysokiej rzucającej cienie. Mogło się to przyczynić do niewielkiego spadku powierzchni klasy zabudowa (ID 110) oraz klasy drogi, koleje i tereny powiązane (ID 121), a także wzrostu powierzchni klasy otwarte obszary zainwestowane (ID 122; Ryc. 5.8).

Powierzchnia Biologicznie Czynna

Innym podejściem do wyników udziału poszczególnych klas LULC w obszarze Krakowa jest zakwalifikowanie części z nich do nadrzędnej klasy Powierzchni Biologicznie Czynnej (PBC). Zakłada się, iż każda powierzchnia obiektu (segmentu) analizy GOEBIA zdolna do procesu fotosyntezy może być zaliczona do klasy PBC. Powierzchnie te poza pochłanianiem CO₂ charakteryzują się możliwościami retencji wód opadowych, pochłanianiem innych zanieczyszczeń, a także ewapotranspiracji prowadzącej do obniżenia temperatury miasta. Część z nich (roślinność wysoka) przyczynia się też do tworzenia cienia własnego i zmniejszenia tym samym odparowania oraz obniżenia temperatury powierzchni.



Ryc. 5.6. Mapa klas pokrycia i użytkowania terenu (LULC) Krakowa wykonana w oparciu o analizę GEOBIA. Stan lipiec 2018 roku



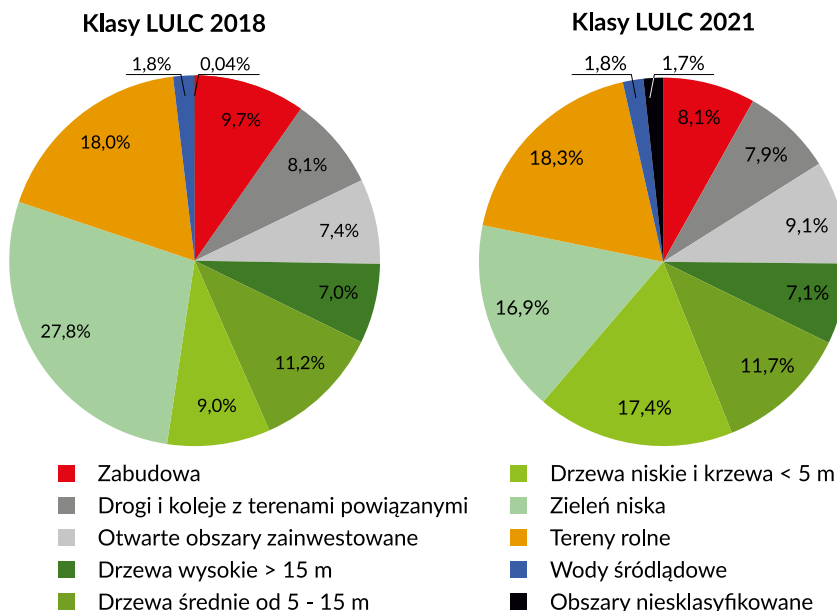
Ryc. 5.7. Mapa klas pokrycia i użytkowania terenu (LULC) Krakowa wykonana analizą GEOBIA. Stan lipiec 2021 roku

Tab. 5.2. Zestawienie powierzchni klas LULC określonych na drodze analizy GEOBIA obrazów WorldView-2 (Maxar). Stan: lipiec 2018 roku

Kod	Poziom 1			Poziom 2			Poziom 3				
	Klasa	[ha]	[%]	Kod	Klasa	[ha]	[%]	Kod	Klasa	[ha]	[%]
1	Tereny antropogeniczne	8 259,41	25,3	11	Zabudowa miejska	3 171,73	9,7	110	Zabudowa	3 171,73	9,7
				12	Tereny przemysłowe, handlowe i komunikacyjne	5 087,68	15,6	121	Drogi i koleje z terenami powiązanymi	2 661,89	8,1
				21	Roślinność wysoka	2 275,80	7,0	122	Otwarte obszary zainwestowane	2 425,79	7,4
2	Tereny zieleni miejskiej	23 815,96	72,9	22	Roślinność średnia	6 586,38	20,2	211	Drzewa wysokie > 15 m	2 275,80	7,0
				23	Roślinność niska	14 953,78	45,8	221	Drzewa średnie od 5–15 m	3 647,73	11,2
3	Obszary wód	597,08	1,8	30	Wody śródlądowe	597,08	1,8	232	Zielen niska	9 073,27	27,8
4	Obszary niesklasyfikowane	11,45	0,0	40	Obszary niesklasyfikowane	11,45	0,0	231	Tereny rolne	5 880,51	18,0
								300	Wody śródlądowe	597,08	1,8
								400	Obszary niesklasyfikowane	11,45	0,0

Tab. 5.3. Zestawienie powierzchni klas LULC określonych na drodze analizy GEOBIA obrazów WorldView-2 (Maxar). Stan lipiec 2021 roku

Kod	Poziom 1			Poziom 2			Poziom 3				
	Klasa	[ha]	[%]	Kod	Klasa	[ha]	[%]	Kod	Klasa	[ha]	[%]
1	Tereny antropogeniczne	8 220,05	25,2	11	Zabudowa miejska	2 652,93	8,1	110	Zabudowa	2 652,93	8,1
				12	Tereny przemysłowe, handlowe i komunikacyjne	5 567,12	17,0	121	Drogi i koleje z terenami powiązanymi	2 597,19	7,9
				21	Roślinność wysoka	2 316,80	7,1	122	Otwarte obszary zainwestowane	2 969,92	9,1
2	Tereny zieleni miejskiej	23 312,33	71,3	22	Roślinność średnia	9 494,70	29,1	211	Drzewa wysokie > 15 m	2 316,80	7,1
				23	Roślinność niska	11 500,83	35,2	221	Drzewa średnie od 5–15 m	3 815,65	11,7
3	Obszary wód	590,28	1,8	30	Wody śródlądowe	590,28	1,8	222	Drzewa niskie i krzewy < 5 m	5 679,05	17,4
4	Obszary niesklasyfikowane	561,24	1,7	40	Obszary niesklasyfikowane	561,24	1,7	232	Zielen niska	5 524,60	16,9
								231	Tereny rolne	5 976,23	18,3
								300	Wody śródlądowe	590,28	1,8
								400	Obszary niesklasyfikowane	561,24	1,7

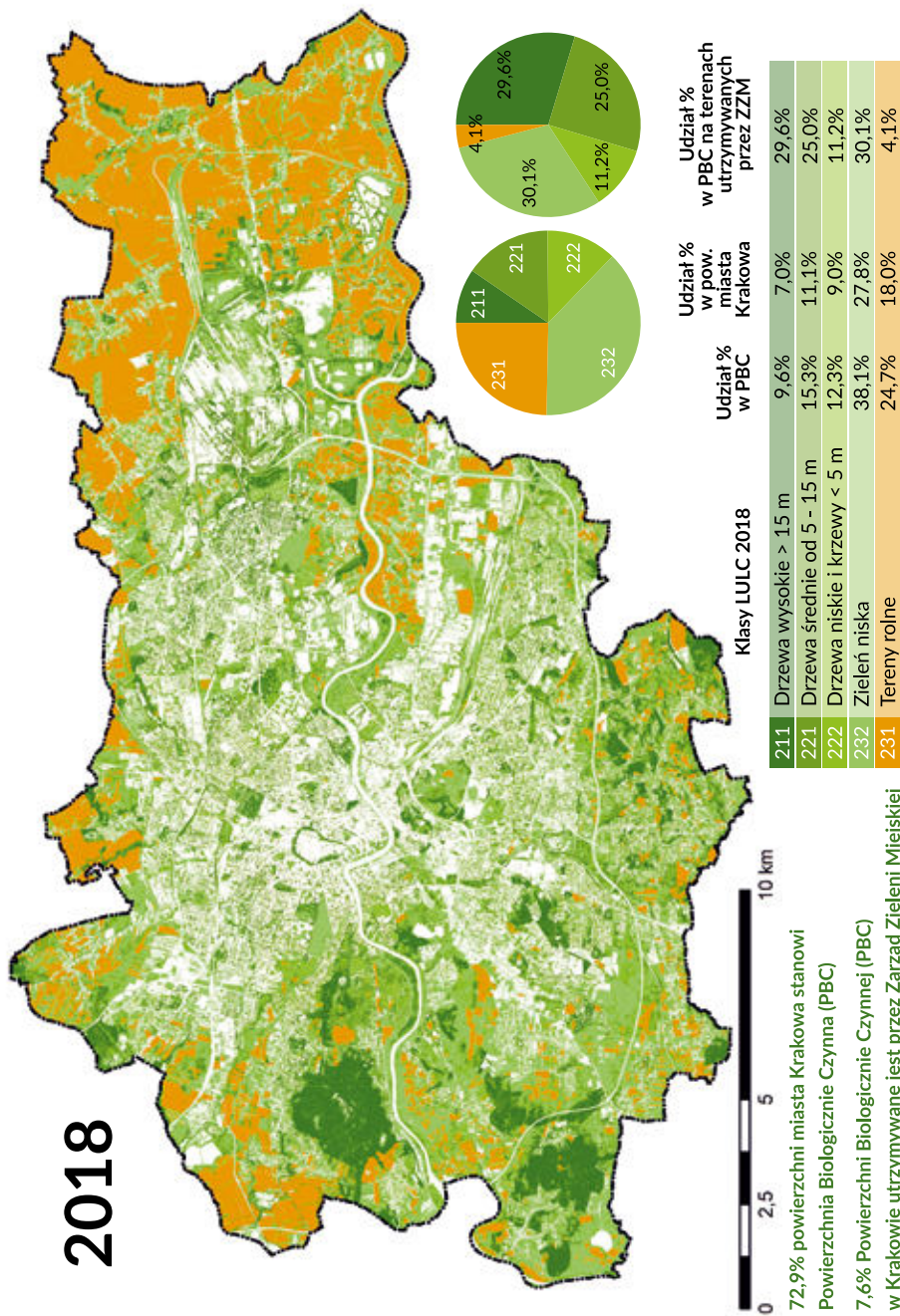


Ryc. 5.8. Udział klas LULC w powierzchni miasta Krakowa określony na podstawie analizy GEOBIA dla danych z 2018 r. (z lewej) oraz z 2021 r. (z prawej)

Na podstawie danych VHR pozyskanych w sezonie wegetacyjnym 2018 roku udział PBC w granicach administracyjnych miasta Krakowa określono na poziomie 72,9%, z czego 7,6% powierzchni utrzymywane (w tym zarządzane) jest przez Zarząd Zieleni Miejskiej w Krakowie (ZZM) (Ryc. 5.9). Największy udział w tej wyodrębnionej klasie nadrzędnej (PBC) miała klasa zieleni niska (38,1% PBC; ID 232) jednocześnie pokrywając aż 27,8% całej powierzchni miasta. Tereny zieleni niskiej (ID 232) w 2018 roku stanowiły 30,1% terenów zieleni (PBC) utrzymywanej przez ZZM. Kolejne klasy LULC o największym udziale powierzchniowym stanowiły: klasa tereny rolne (ID 231) – 24,7% PBC (18,0% powierzchni miasta; 4,0% terenów zieleni (PBC) utrzymywanej przez ZZM), klasa drzewa średniej wysokości (ID 221) – 15,3% PBC (11,1% powierzchni miasta; 25,0% terenów zieleni (PBC) utrzymywanych przez ZZM) oraz klasa drzewa niskie i krzewy (ID 222) – 12,3% PBC (9,0% powierzchni miasta; 11,2% terenów zieleni (PBC) utrzymywanej przez ZZM). Najmniejszy udział w klasie PBC stanowiła klasa drzewa wysokie (zaledwie 9,6%; ID 211) stanowiąc jednocześnie zaledwie 7,0% całej powierzchni miasta. Z kolei obszary porośnięte drzewami o wysokości ponad 15 m (ID 211) stanowiły w 2018 roku aż 29,6% powierzchni terenów zieleni (PBC) utrzymywanej przez ZZM (Ryc. 5.9).

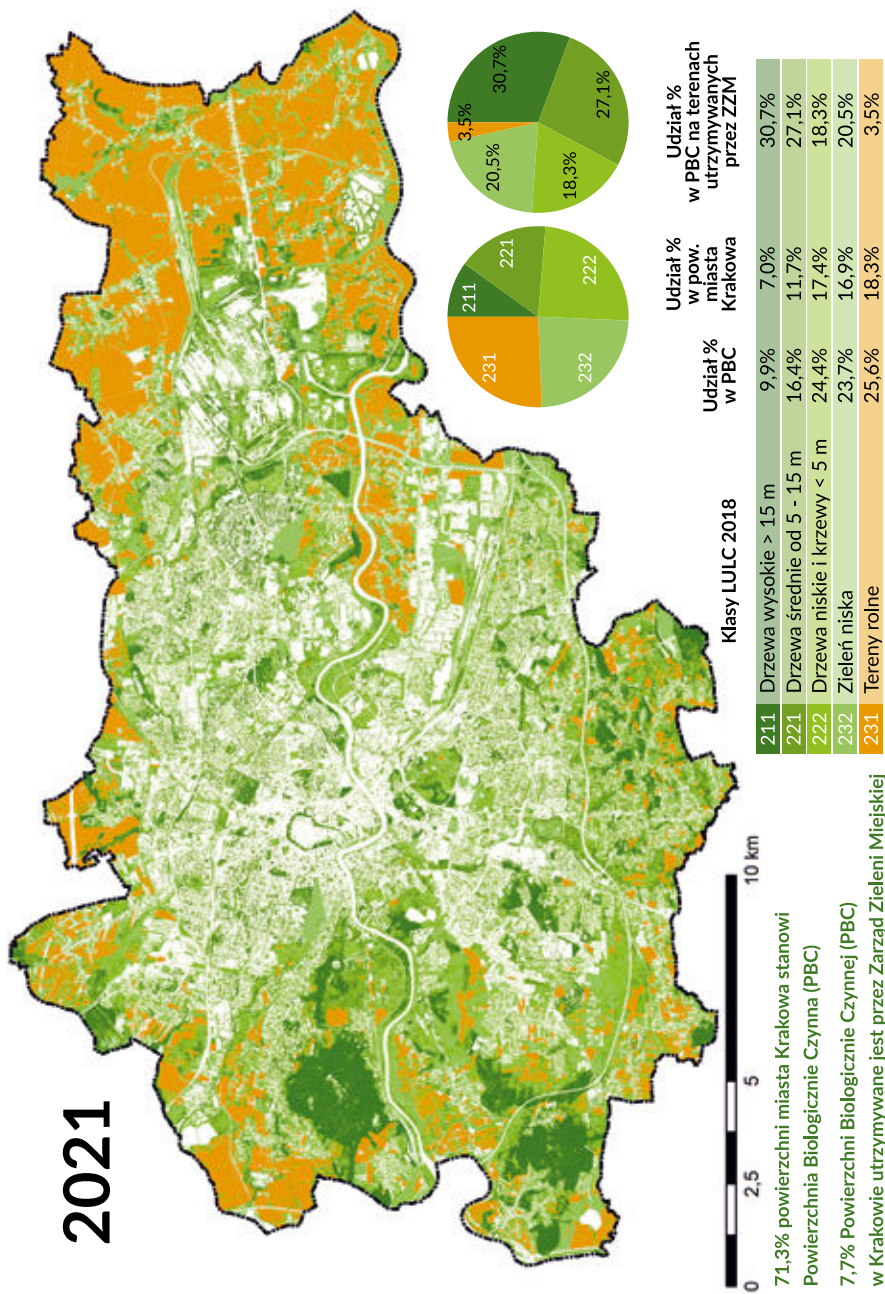
Na podstawie danych VHR pozyskanych w sezonie wegetacyjnym 2021 roku udział PBC w granicach administracyjnych miasta Krakowa określono na poziomie 71,3%, z czego 7,7% powierzchni utrzymywane (w tym zarządzane) jest przez ZZM (Ryc. 5.10). Największy udział w 2021 roku w powierzchni biologicznie czynnej miała klasa terenów rolnych (25,6% PBC, 18,3% powierzchni miasta; ID 231) oraz klasa niskich drzew i krzewów (24,4%

2018



Ryc. 5.9. Mapa Powierzchni Biologicznie Czynnej (obszary zieleni miejskiej; Urban Forestry) opracowane na podstawie analizy GEOBIA obrazów VHR z roku 2018

2021



Ryc. 5.10. Mapa Powierzchni Biologicznie Czynnej (obszary zielni miejskiej; Urban Forestry) opracowane na podstawie analizy GEOBIA obrazów VHR z roku 2021

PBC, 17,4% powierzchni miasta; ID 222). Klasa niskiej zieleni stanowiła 23,7% PBC (16,9% powierzchni miasta; ID 232), a klasa drzew średnich 16,4% PBC (11,7% powierzchni miasta; ID 221). Natomiast najmniej było obszarów klasy drzew wysokich (9,9% PBC, 7,0% powierzchni miasta; ID 211). W 2021 roku największą część terenów zieleni (PBC) utrzymywanej przez ZZM stanowiły obszary porośnięte drzewami wysokimi (30,7%; ID 211) i średnimi (27,1%; ID 221). Obszary zieleni niskiej (ID 232) stanowiły 20,5% terenów zieleni (PBC) utrzymywanej przez ZZM, a obszary porośnięte drzewami niskimi i krzewami (ID 222) – 18,3%. Podobnie jak w 2018 roku najmniej liczne tereny zieleni (PBC) utrzymywanej przez ZZM to tereny rolne (3,5%; ID 231; Ryc. 5.10).

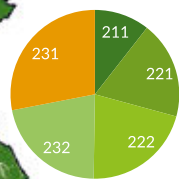
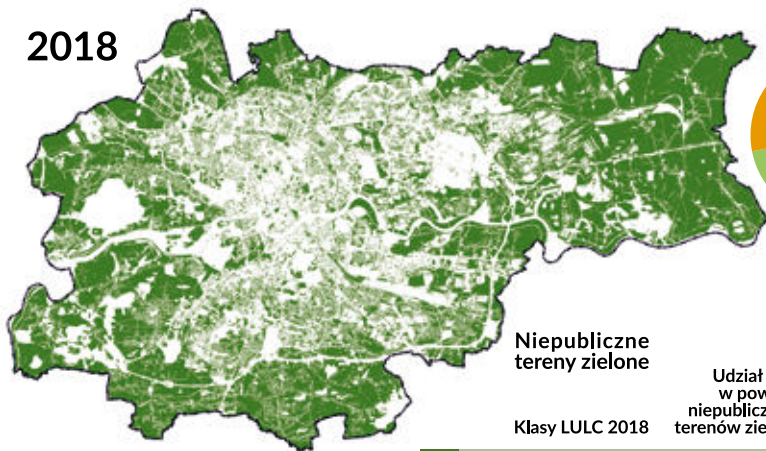
Analizy przestrzenne GIS bazujące na wynikach GEOBIA obrazów satelitarnych z lat 2018 oraz 2021 wykazały, iż w okresie trzech lat (2018–2021) zanotowano niewielki spadek Powierzchni Biologicznie Czynnej o około –1,6% (–503,6 ha). Na obszarach utrzymywanych przez ZZM zanotowano minimalny wzrost powierzchni terenów zieleni (PBC +0,1%). Największe zmiany w udziale powierzchni poszczególnych klas LULC nastąpiły w klasie zieleni niska (ID 232) charakteryzującej się bardzo dużą dynamiką (spadek udziału o: 14,4% w PBC, o 10,9% w powierzchni całego miasta oraz o 9,7% na terenach zieleni (PBC) utrzymywanej przez ZZM). Kolejną znaczącą zmianą dotyczyła klasy drzew niskich i krzewów (do 5 m wysokości; ID 221) notując wzrost aż o: 12,0% w udziale PBC a tym samym 8,4% w powierzchni miasta Krakowa i 7,1% w na terenach zieleni (PBC) utrzymywanej przez ZZM.

Niepubliczna zielenie miejska

Jak już wspomniano na początku rozdziału, tereny zieleni miejskiej występują zwykle na obszarze całego miasta i często na terenach niedostępnych dla inspektorów. Dlatego w ramach projektu LIFE URBANGREEN wykonano dodatkową analizę GIS w oparciu o wyznaczoną Powierzchnię Biologicznie Czynną i dane wektorowe terenów niepublicznych w granicach miasta Krakowa. Tereny niepubliczne określono na podstawie warstwy wektorowej Struktura Własności pozyskanej z bazy Miejskiego Systemu Informacji Przestrzennej Krakowa. Jako tereny niepubliczne przyjęto wszystkie tereny, których właścicielami są osoby fizyczne i/lub osoby prawne oraz tereny, których właścicielem jest gmina Kraków, powiat Kraków, województwo małopolskie lub Skarb Państwa, a które zostały oddane w użytkowanie (współużytkowanie) wieczyste osobom fizycznym i/lub prawnym (ale nie gminie Kraków). Do terenów niepublicznych zaliczono również wszystkie obszary z nieuregulowanym stanem prawnym.

Na podstawie obrazów satelitarnych z sezonu wegetacyjnego 2018 roku oraz analiz przestrzennych GIS wykazano, iż 71,5% terenów zieleni (PBC) miasta Krakowa znajdowało się poza własnością publiczną. Wśród tej zbiorczej klasy niepublicznej PBC największy udział miała klasa zieleni niskiej (38,2%; ID 232) oraz klasa terenów rolnych (31,9%; ID 231). Klasa drzew średnich (ID 221) oraz drzew niskich i krzewów (ID 222) stanowiły odpowiednio 13,2% i 12,0% powierzchni niepublicznej PBC. Najmniejszy udział w niepublicznej powierzchni PBC miała klasa drzew wysokich (ID 211), bo zaledwie 4,7% (Ryc. 5.11 na górze).

2018



Niepubliczne tereny zielone

Udział % w pow. niepublicznych terenów zielonych

Udział % w pow. klasy LULC

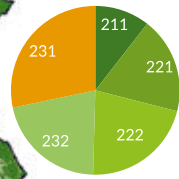
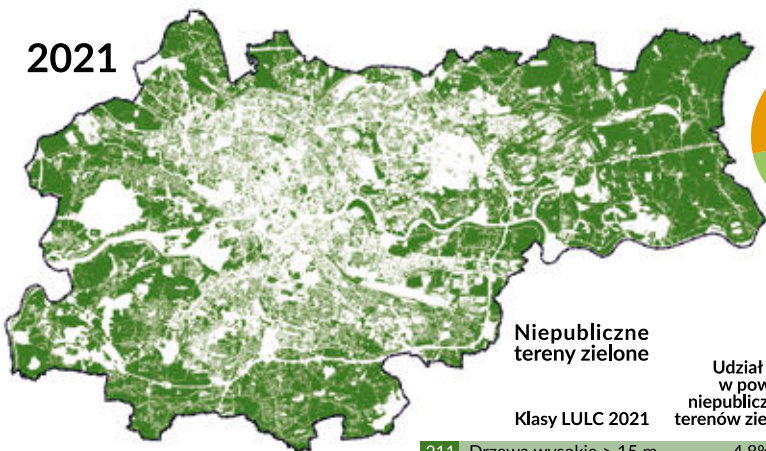
Klasy LULC 2018

211	Drzewa wysokie > 15 m	4,7%	34,9%
221	Drzewa średnie od 5 - 15 m	13,2%	61,6%
222	Drzewa niskie i krzewy < 5 m	12,0%	69,3%
232	Zieleń niska	38,2%	71,8%
231	Tereny rolne	31,9%	92,6%

71,5% Powierzchni Biologicznie Czynnej (PBC) miasta Krakowa stanowią tereny niepubliczne



2021



Niepubliczne tereny zielone

Udział % w pow. niepublicznych terenów zielonych

Udział % w pow. klasy LULC

Klasy LULC 2021

211	Drzewa wysokie > 15 m	4,8%	34,8%
221	Drzewa średnie od 5 - 15 m	14,0%	61,0%
222	Drzewa niskie i krzewy < 5 m	24,2%	70,8%
232	Zieleń niska	23,4%	70,3%
231	Tereny rolne	33,6%	93,5%

71,3% Powierzchni Biologicznie Czynnej (PBC) miasta Krakowa stanowią tereny niepubliczne



Ryc. 5.11. Niepubliczne tereny zieleni opracowane na podstawie analizy GEOBIA obrazów VHR z roku 2018 (u góry) i z 2021 roku (na dole)

Na podstawie obrazów satelitarnych z sezonu wegetacyjnego 2021 roku oraz analiz przestrzennych GIS wykazano, iż 71,3% terenów zieleni (PBC) miasta Krakowa znajdowało się poza własnością publiczną. Wśród tej zbiorczej klasy niepublicznej PBC największy udział miała klasa terenów rolnych (33,6%; ID 231). Klasa drzew niskich i krzewów (ID 222) oraz klasa zieleni niskiej (ID 232) stanowiły podobny procent powierzchni niepublicznej PBC

(odpowiednio: 24,2% i 23,4%), a klasa drzew średnich (ID 221) – 14,0%. Najmniejszy udział w niepublicznych terenach PBC, podobnie jak w 2018 roku, posiadała klasa drzew wysokich (ID 211), bo zaledwie 4,8% (Ryc. 5.11 na dole).

Analiza GEOBIA wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych wykazała, że w badanym okresie trzech lat (2018–2021) PBC na terenach niepublicznych (głównie prywatnych) w zasadzie nie uległa zmianie (–0,2%). Zdecydowana większość terenów rolnych w obrębie granic administracyjnych Krakowa to tereny niepubliczne (92,6% w 2018 r. oraz 93,5% w 2021 r.), z czego większość terenów stanowią tereny prywatne (własność lub użytkowanie /współużytkowanie/ wieczyste osób fizycznych). Większość terenów zieleni niskiej występuje na terenach niepublicznych (z reguły prywatnych) stanowiąc 71,8% dla danych z 2018 roku i 70,3% dla danych zarejestrowanych w 2021 r. Podobnie jest z terenami porośniętymi niskimi drzewami i krzewami, które w 69,3% (w 2018 r.) i 70,8% (w 2021 r.) znajdują się na terenach niepublicznych (z reguły prywatnych).

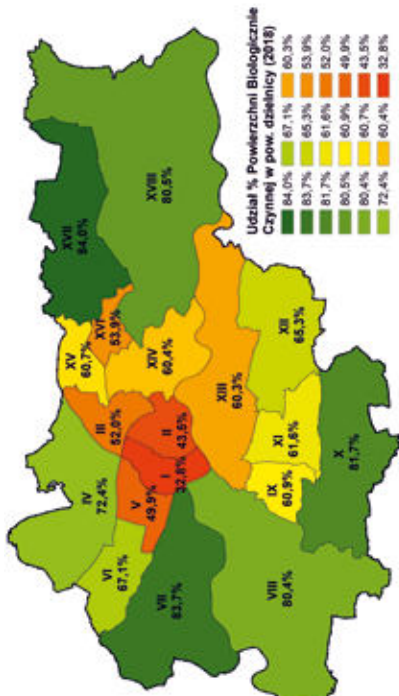
Tereny niepubliczne porośnięte drzewami średnimi stanowiły odpowiednio 61,6% (w 2018 r.) oraz 61,0% (w 2021 r.) klasy PBC. Najmniejszy udział terenów niepublicznych posiada klasa drzew wysokich, której zaledwie 34,9% (w 2018 r.) i 34,8% (w 2021 r.) powierzchni to tereny niepubliczne (z czego ponad połowa znajduje się na terenach prywatnych) (Ryc. 5.11).

Obszary zieleni miejskiej w poszczególnych dzielnicach miasta Krakowa

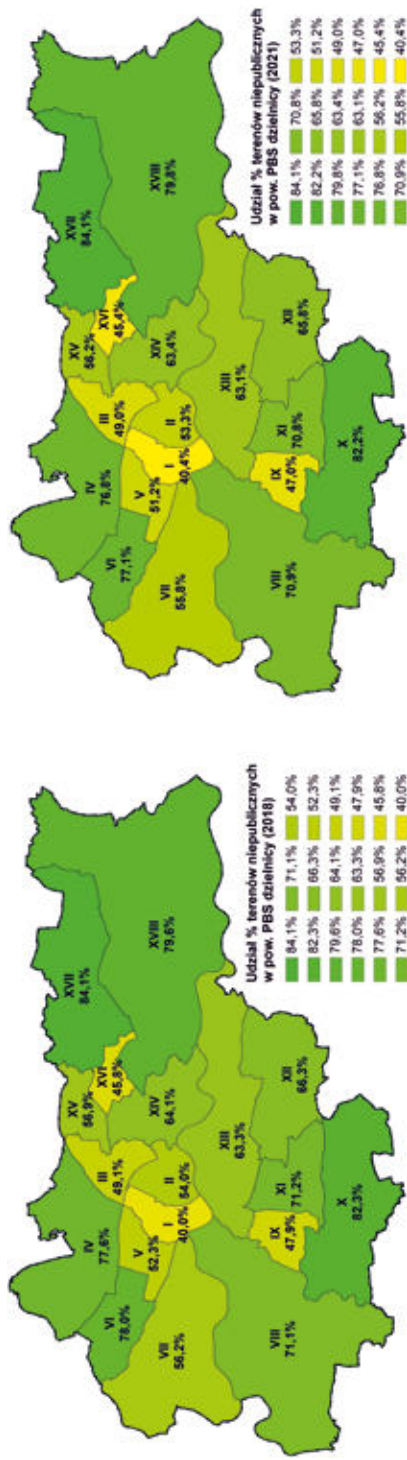
Analizy GIS oparte na wynikach klasyfikacji GEOBIA posłużyły również do określenia, które dzielnice Krakowa mają najwięcej terenów zieleni (PBC). Dzielnicami charakteryzującymi się największą powierzchnią zieleni miejskiej (PBC) są: dzielnica XVII Wzgórza Krzesławickie (2018: 84,0%, 2021: 82,7% pow. dzielnicy), dzielnica VII Zwierzyniec (2018: 83,1%, 2021: 83,7% pow. dzielnicy) i dzielnica X Swoszowice (2018: 81,7%, 2021: 80,3% pow. dzielnicy). Dzielnica XVII Wzgórza Krzesławickie i dzielnica X Swoszowice charakteryzują się również największą powierzchnią niepublicznych terenów zieleni (odpowiednio: 84,1% i 82,3% w 2018 r. oraz 84,1% i 82,2% pow. PBC w dzielnicy). Natomiast dzielnice: V Krowodrza (2018.: 49,9%, 2021: 48,1% pow. dzielnicy), II Grzegórzki (2018: 43,5%, 2021: 42,4% pow. dzielnicy) i I Stare Miasto (2018: 32,8%, 2021: 32,4% pow. dzielnicy) posiadają najmniejszy udział Powierzchni Biologicznie Czynnej w powierzchni dzielnicy. Najmniejszy udział powierzchni terenów niepublicznych, a co za tym idzie największy udział terenów publicznych, w powierzchni zieleni miejskiej (PBC) występuje w dzielnicy I Stare Miasto (odpowiednio: 40,0% niepub. i 60,0% publ. w 2018 r. oraz 40,4% niepubl. i 59,6% publ. w 2021 r.), dzielnicy XVI Bieńczyce (odpowiednio: 45,8% niepubl. i 54,2% publ. w 2018 r. oraz 45,4% niepubl. i 54,6% publ. w 2021 r.) i dzielnicy IX Łagiewniki-Borek Fałęcki (odpowiednio: 47,9% niepubl. i 52,1% publ. w 2018 r. oraz 47,0% niepubl. i 53% publ. w 2021 r.). Największe zmiany w Powierzchni Biologicznie Czynnej w ciągu ostatnich lat zanotowano w dzielnicy IV Prądnik Biały (–3,7%), VIII Dębniki (–2,3%) oraz IX Łagiewniki-Borek Fałęcki i XI Podgórze Duchackie (po –2,2%). Najmniejsze zmiany w powierzchni zieleni w okresie 2018–2021 zanotowano

Tab. 5.4. Zestawienie Powierzchni Biologicznie Czynnej oraz niepublicznych terenów zieleni w dzielnicach miasta Krakowa w 2018 i 2021 roku.

Nr	Dzielnica	2018						2021					
		Nazwa		PBC	Udział % PBC w pow. dzielnicy	Niepubliczne tereny zieleni (PBC)	Udział % PBC w pow. dzielnicy	PBC		Udział % PBC w pow. dzielnicy	Niepubliczne tereny zieleni (PBC)	Udział % terenów niepublicznych w pow. PBC	
		[ha]	[ha]					[ha]	[ha]				[ha]
I	Stare Miasto	556,76	182,82	32,8	73,11	40,0	180,19	32,4	72,76	40,4			
II	Grzegórzki	584,52	254,51	43,5	137,53	54,0	248,09	42,4	132,12	53,3			
III	Prądnik Czerwony	643,79	334,51	52,0	164,33	49,1	328,44	51,0	160,96	49,0			
IV	Prądnik Biały	2 341,87	1 696,02	72,4	1 315,36	77,6	1 609,00	68,7	1 236,19	76,8			
V	Krowodrza	561,90	280,34	49,9	146,61	52,3	270,12	48,1	138,20	51,2			
VI	Bronowice	955,96	641,33	67,1	500,14	78,0	638,46	66,8	492,52	77,1			
VII	Zwierzyniec	2 873,10	2 404,05	83,7	1 349,96	56,2	2 388,56	83,1	1 331,78	55,8			
VIII	Dębniki	4 618,87	3 715,07	80,4	2 640,67	71,1	3 608,82	78,1	2 559,98	70,9			
IX	Łagiewniki-Borek Fałęcki	541,51	329,80	60,9	157,85	47,9	317,90	58,7	149,44	47,0			
X	Swoszowice	2 560,40	2 091,84	81,7	1 722,08	82,3	2 056,39	80,3	1 690,27	82,2			
XI	Podgórze Duchackie	954,00	587,50	61,6	418,02	71,2	566,94	59,4	401,37	70,8			
XII	Bieżanów-Prokocim	1 847,39	1 206,88	65,3	800,15	66,3	1 180,24	63,9	776,16	65,8			
XIII	Podgórze	2 566,71	1 548,24	60,3	979,46	63,3	1 510,91	58,9	953,21	63,1			
XIV	Czyżyny	1 225,68	740,08	60,4	474,18	64,1	724,06	59,1	458,80	63,4			
XV	Mistrzejowice	559,00	339,25	60,7	192,97	56,9	327,87	58,7	184,13	56,2			
XVI	Bieńczyce	369,90	199,48	53,9	91,27	45,8	193,00	52,2	87,63	45,4			
XVII	Wzgórze Krzesławickie	2 381,55	2 000,69	84,0	1 682,92	84,1	1 968,96	82,7	1 656,05	84,1			
XVIII	Nowa Huta	6 540,99	5 263,56	80,5	4 187,19	79,6	5 194,38	79,4	4 144,85	79,8			
	Kraków	32 683,90	23 815,95	72,9	17 033,81	71,5	23 312,33	71,3	16 626,43	71,3			



Ryc. 5.12. Udział Powierzchni Biologicznie Czynnej w powierzchni dzielnicy podstawie analizy GEOBIA obrazów VHR z roku z 2018 (z lewej) i z 2021 roku (z prawej)



Ryc. 5.13. Udział Powierzchni Biologicznie Czynnej w powierzchni dzielnicy podstawie analizy GEOBIA obrazów VHR z roku z 2018 (z lewej) i z 2021 roku (z prawej)

w dzielnicy VI Bronowice (-0,3%) oraz I Stare Miasto i VII Zwierzyniec (po -0,5%). W udziale niepublicznych terenów w Powierzchni Biologicznie Czynnej nie zanotowano istotnych zmian w latach 2018–2021. Pełną statystykę udziału Powierzchni Biologicznie Czynnej w powierzchni dzielnicy oraz udziału powierzchni terenów niepublicznych w powierzchni PBC w poszczególnych dzielnicach przedstawiono w tabeli 4 i odpowiednio na Ryc. 5.12, 5.13.

Podsumowanie

Analizowanie zmian zachodzących w przestrzeni i w czasie w obrębie dużych aglomeracji miejskich ze względu na stosunkowo duży ich obszar oraz trudności z dostępem do terenów niepublicznych, nie należy do prostych zadań administracji publicznej. W tej sytuacji ze skuteczną pomocą przychodzą wysokorozdzielcze i bardzo wysokorozdzielcze dane satelitarne, rejestrowane w ciągu kilku do kilkunastu sekund, a w dalszej kolejności wysoko zautomatyzowana analiza GEOBIA typów zieleni (Powierzchni Biologicznie Czynnej) oraz jej stanu. Corocznie wykonywany monitoring satelitarny klas LULC z pewnością dostarcza decydom obiektywnych danych do tworzenia wskaźników pozwalających na ranking poszczególnych dzielnic miasta w zakresie jakości życia mieszkańców determinowanej przez dostęp do zieleni miejskiej, która staje się coraz cenniejszym dobrem wspólnym niezależnie od struktury własności.

Literatura

- Bajorek-Zydroń K., Wężyk P. (red.) 2016. Atlas pokrycia terenu i przewietrzania Krakowa. Urząd Miasta Krakowa, Wydział Kształtowania Środowiska. Kraków 2016. 522 pp.
- Hejmanowska B., Wężyk P. (red.) 2020. Dane satelitarne dla administracji publicznej. Polska Agencja Kosmiczna. Warszawa 2020. 111 pp.

Remote sensing data gathered during the LIFE URBANGREEN project has been used to monitor the overall vegetation condition within the Krakow city boundaries and to calculate its main parameters. The aim of that process was to put the arranged public green areas into a broader and more realistic context of the overall vegetation in the city. Through time series analysis (2018–2021) vegetation change on private areas was also observed.

Monitoring teledetekcyjny zieleni miejskiej z pułapu BSP oraz satelitarnego

Remote sensing monitoring of urban green areas using UAVs and EO satellites

Piotr Wężyk, Katarzyna Bajorek-Zydroń,
Urszula Ciśło-Lesicka

W ramach projektu LIFE URBANGREEN, w procesie teledetekcyjnego monitoringu zieleni miejskiej, wykorzystywano zarówno wysokorozdzielcze wielospektralne ortofotomapy BSP (Bezzałogowe Statki Powietrzne), bardzo wysokorozdzielcze obrazy satelitarne (ang. VHRS; Very High Resolution Satellite) WorldView-2 (Maxar) oraz wysokorozdzielcze obrazy (ang. HRS; High Resolution Satellite) PlanetScope Dove (Planet Labs) rejestrowane każdego dnia przez nano-satelity (jednostki typu 3U; 10×10×30 cm). Ta ostatnia konstelacja ponad 140 nanosatelitów rejestruje 4-kanalowe obrazy (RGB + NIR) o rozdzielczości przestrzennej (GSD) 3,0 m. Z każdego tygodnia okresu wegetacji (IV–X) wybierano zobrazowania o najlepszej jakości spektralnej i jak najmniejszym procencie występowania chmur. Na ich podstawie dla obszaru całego miasta, w tym obszarów testowych, wykonywano klasyfikację i monitorowano wartości teledetekcyjnych wskaźników roślinności. W celu jeszcze dokładniejszej kalibracji spektralnej sensorów PlanetScope Dove, wykorzystywano wysokorozdzielcze 5-kanalowe zdjęcia pozyskiwane z kamery RedEdge-M (MicaSense) zainstalowanej na niskopułapowej platformie Bezzałogowego Statku Powietrznego (BSP).

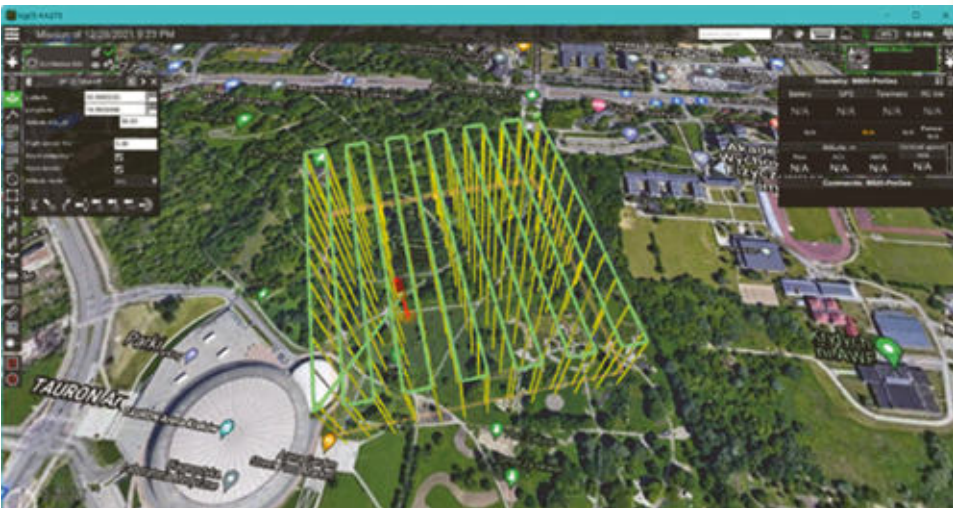
Monitoring z platformy BSP

Kamera RedEdge-M (MicaSense) zamontowana na BSP DJI Matrice 600 Pro, zintegrowana była z odbiornikiem GNSS oraz światłomierzem, rejestrującym dla każdego wykonywanego zdjęcia parametry oświetlenia. Dodatkowo przed rozpoczęciem nalotu fotogrametrycznego oraz po jego zakończeniu wykonywano zdjęcia specjalnego panelu kalibracyjnego (Ryc. 6.1), dostarczonego przez producenta kamery. Pozwala on na zastosowanie poprawek do każdego kanału spektralnego w procesie przetwarzania zdjęć do ortomozaiki w oprogramowaniu Metashape (Agisoft), z wykorzystaniem informacji ze zintegrowanego z kamerą światłomierza.

Kamera rejestruje zdjęcia w zadanym interwale czasowym lub odległościowym (pokrycie podłużne zdjęć w szeregu $p > 75\%$ oraz poprzeczne pomiędzy szeregami ok. 75%; Ryc. 6.2) w pięciu separowanych kanałach spektralnych: Blue, Green, Red, RedEdge oraz



Ryc. 6.1. Kamera RedEdge-M (MicaSense), skaner laserowy GS-260P (Geosun Navigation) z kamerą Sony RXII (42 Mpx) na platformie BSP DJI Matrice 600 Pro oraz panel kalibracyjny MicaSense

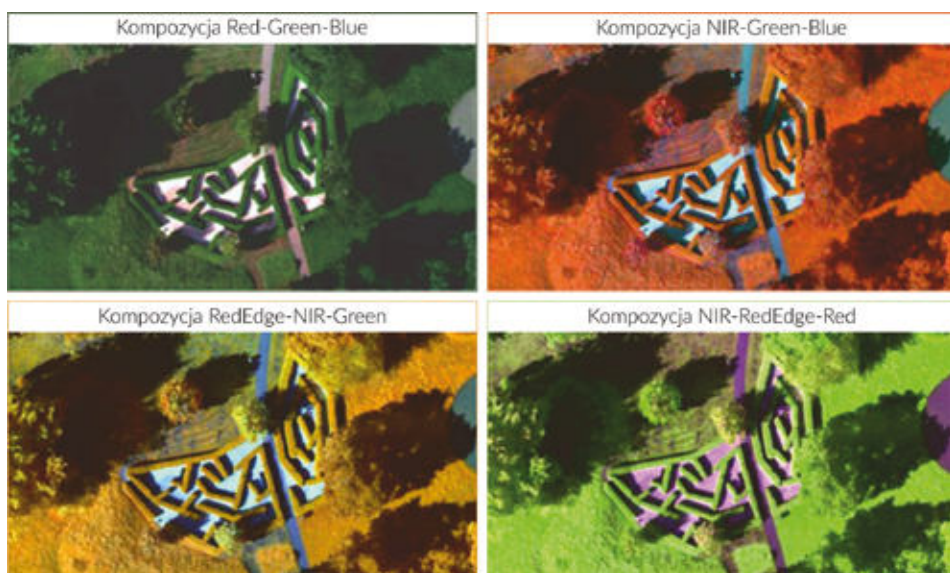


Ryc. 6.2. Fragment misji BSP (DJI M600 Pro) zaplanowanej na obszarze ok. 10 ha Parku Lotników Polskich w specjalistycznym oprogramowaniu UgCS

NearInfraRed (NIR). Generowanie wielospektralnej ortomosaiki pozwala na precyzyjne określenie stanu roślinności na podstawie wartości wskaźników roślinności (ang. Vegetation Indices; VI), np. NDVI, czyli znormalizowanego różnicowego wskaźnika roślinności. Zdjęcia wykonywane kamerą RedEdge-M (MicaSense), służyły obserwacji wartości wskaźników roślinności pojedynczych koron drzew oraz większych obszarów testowych. Szczególnie cenne

było porównanie wartości wskaźników generowanych ze zdjęć z niskiego pułapu z obrazami teledetekcyjnymi (PlanetScope Dove). Naloty wykonywano kilka razy w sezonie wegetacyjnym przy bezchmurnej pogodzie z wysokości około 100 m AGL (nad gruntem). Rozdzielczość przestrzenna (GSD) otrzymywanych, wielospektralnych 5-kanalowych ortomozaik wynosiła około 7 cm. Podczas jednej z kampanii BSP, na platformie poza kamerą RedEdge-M, zamontowano także skaner laserowy GS-260P (Geosun) w celach testowania wzmocnienia informacji spektralnych danymi nt. geometrii obiektów (chmura punktów 3D). (Ryc. 6.1).

Zdjęcia rejestrowane przez kamerę RedEdge-M pozwalają na generowanie licznych kompozycji barwnych (Ryc. 6.3), a przede wszystkim szeregu wskaźników roślinności służących monitorowaniu zmian stanu fizjologicznego i defoliacji koron drzew.

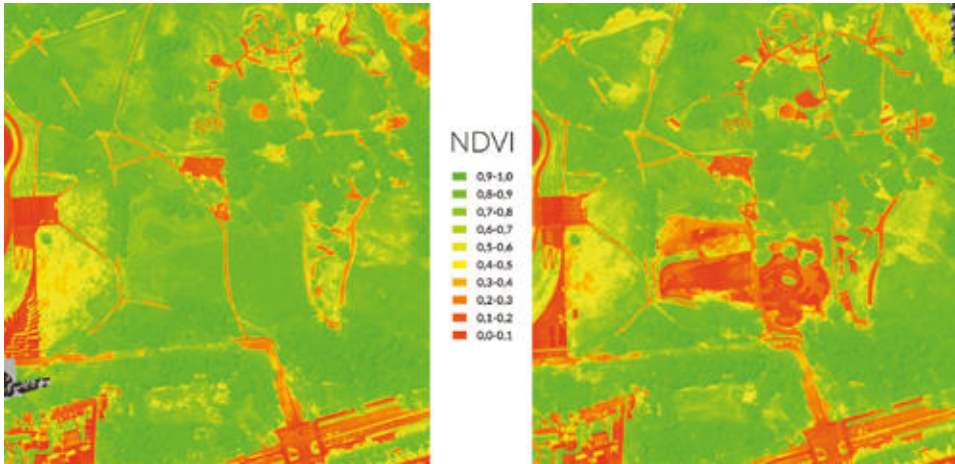


Ryc. 6.3. Wybrane kompozycje barwne wygenerowane na podstawie 5-kanalowych zdjęć z kamery RedEdge-M (Ogród Doświadczeń im. Stanisława Lema w Krakowie)

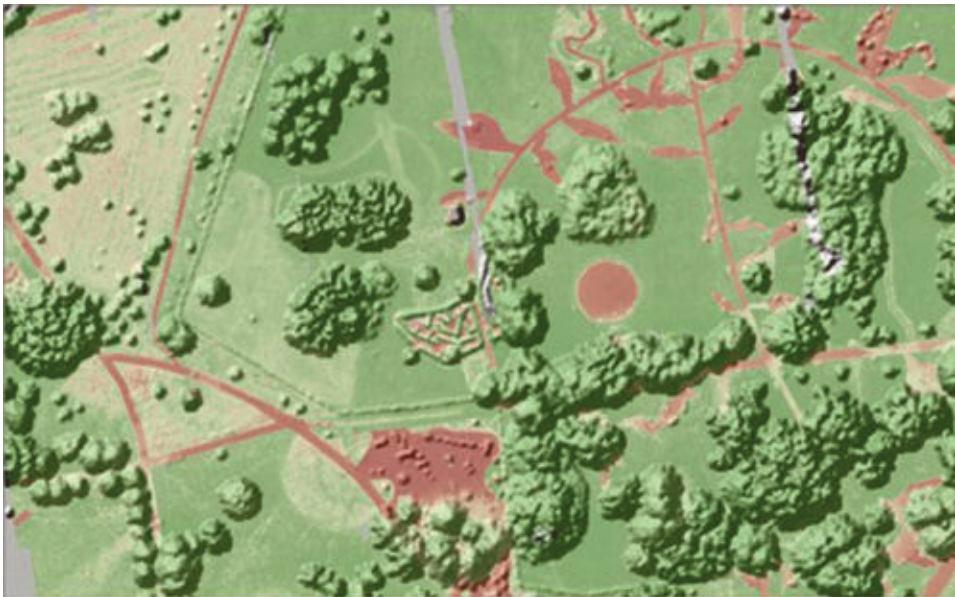
W latach 2019–2021 wykonywano po kilka nalołów BSP w sezonie wegetacyjnym, rejestrując zobrazowania kamerą RedEdge-M. Wartości generowanych wskaźników roślinności m.in.:

- **LCI** – Leaf Chlorophyll Index $[(NIR - RedEdge)/(NIR + Red)]$,
- **RENDVI** – RedEdge Normalized Difference Vegetation Index $[(NIR - RedEdge)/(NIR + RedEdge)]$,
- **NDVI** – Normalized Difference Vegetation Index $[(NIR - Red)/(NIR + Red)]$

pozwołyły na śledzenie zmian stanu zdrowotnego roślinności (drzew, krzewów, trawników) na monitorowanych obszarach w Krakowie (Ryc. 6.4) oraz na ewentualną korekcję spektralną zobrazowań satelitarnych PlanetScope Dove.



Ryc. 6.4. Mapa wskaźnika NDVI fragmentu Parku Lotników Polskich wygenerowana na podstawie zdjęć z kamery BSP RedEdge-M (09.08.2019 roku – po lewej oraz 14.08.2020 roku – po prawej). Na obrazie z 2020 r. widoczne niższe wartości NDVI w miejscu budowy stawu



Ryc. 6.5. Mapa wskaźnika NDVI fragmentu Parku Lotników Polskich oraz Ogrodu Doświadczeń im. S. Lema w Krakowie – na tle modelu NMPT (kolory czerwone oznaczają brak roślinności; kolor jasnozielony: skoszone trawniki; ciemnozielony: korony drzew i krzewów)

Poza analizami spektralnymi opartymi na kombinacji kanałów spektralnych przy odpowiednio dużym pokryciu podłużnym (p) i poprzecznym (q) zdjęć, możliwe jest generowanie modeli wysokościowych tj. numerycznego modelu pokrycia terenu (NMPT) i dokonywanie jego fuzji np. z mapą NDVI (Ryc. 6.5).

Monitoring satelitarny PlanetScope Dove

W okresie realizacji projektu LIFE URBANGREEN pozyskano łącznie 86 wielospektralnych scen satelitarnych PlanetScope Dove, na podstawie których opracowano metodę monitoringu satelitarnego stanu zdrowotnego drzew (Ryc. 6.6). Metoda opiera się na obliczeniu wartości indeksu Treesat, bazującego na interpolacji wskaźnika LAI (ang. Leaf Area Index; Bajwa SG., Gowda PH., Howell TA, Leh M. 2008, Zheng G., Moskal L. M. 2009). Ten z kolei obliczany jest na podstawie wskaźnika NDVI, pochodzącego z kombinacji kanału 4 (NIR) oraz 3 (Red) scen satelitarnych PlanetScope Dove (Planet Labs).



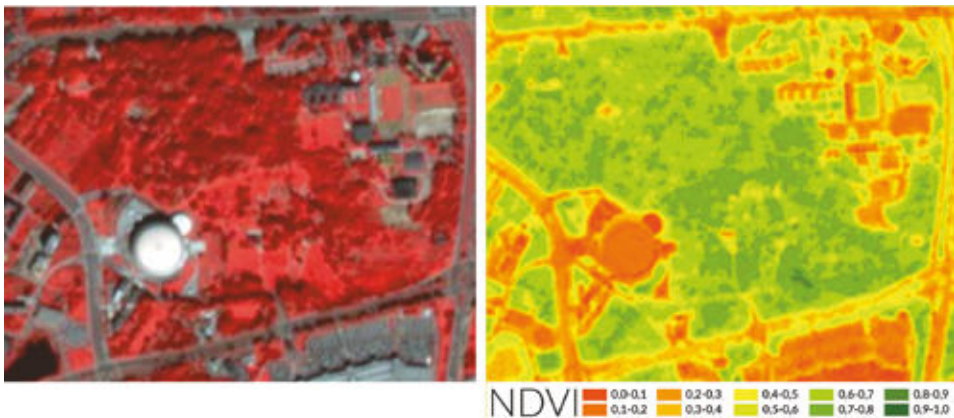
Ryc. 6.6. Dynamika wskaźnika Treesat w okresie kwiecień – październik 2020 r. dla korony klonu zwyczajnego ArboTag nr 092343 (linia ciągła) i wartości średnie dla wszystkich badanych drzew tego gatunku (linia przerywana). Wizualizacja dostępna w zakładce Treesat (moduł Life Urban-green) w aplikacji GreenSpaces

Zobrazowania satelitarne PlanetScope Dove pozwoliły na obliczenie kilkunastu wskaźników roślinności m.in.:

- **NDVI** – Normalized Difference Vegetation Index $[(NIR - Red)/(NIR + Red)]$,
- **ARI** – Anthocyanin Reflectance Index $[(1/Green) - (1/Red)]$,
- **ExG** – Excess Green Index $[2*(Green/(Red + Green + Blue) - (Red/(Red + Green + Blue) - (Blue/(Red + Green + Blue))]$,
- **GLI** – Green Leaf Index $[(2*Green - Red - Blue)/(2*Green + Red + Blue)]$,

pozwalających m.in. na ciągły monitoring stanu zdrowotnego zieleni miejskiej. Dzięki monitorowaniu dynamiki zmian wartości poszczególnych wskaźników roślinności, inspektorzy

są w stanie szybciej reagować w przypadku wykazywanego pogorszenia stanu fizjologicznego (kondycji zdrowotnej) monitorowanego drzewa, czy zarządzanego obszaru zieleni niskiej (Ryc. 6.7). Bliska podczerwień (NIR), której odbicie na poziomie 40–50% świadczy o wysokiej kondycji roślinności, jest jednym z najważniejszych zakresów spektralnych wykorzystywanych w monitorowaniu zieleni miejskiej. Za wysokie wartości odbicia w kanale NIR odpowiada odpowiednia struktura komórkowa miękiszu gąbczastego. Drugim ważnym kanałem jest zakres światła czerwonego (Red). W tym zakresie zdrowe rośliny odbijają tylko około 5% energii słonecznej, co świadczy o wysokim jej wykorzystaniu w procesie fotosyntezy, a tym samym o obecności poprawnie wykształconych barwników (np. chlorofil).

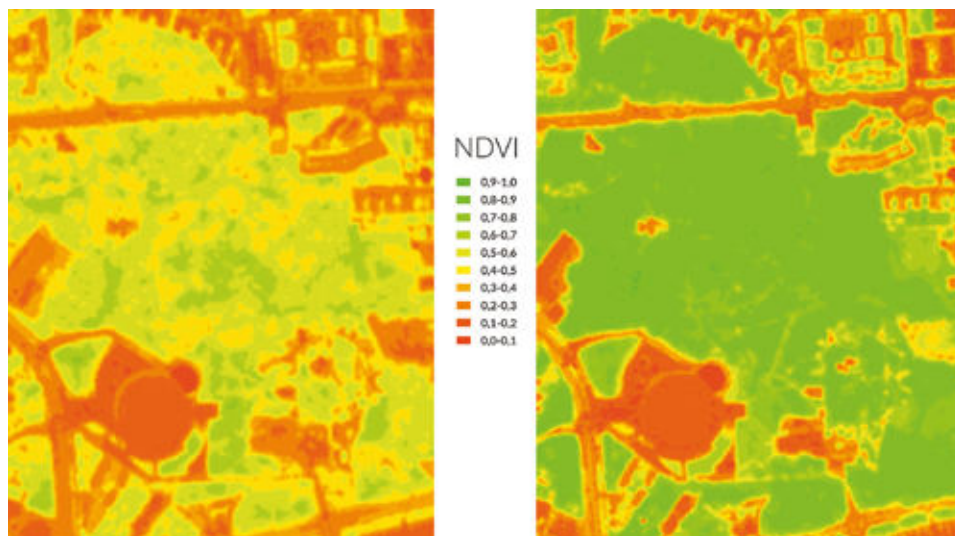


Ryc. 6.7. Barwna kompozycja spektralna CIR (ang. Color InfraRed; po lewej) kanałów NIR, Red oraz Green (432) zobrazowania PlanetScope Dove (GSD 3,0 m; data akwizycji: 30.09.2020). Kolory czerwone oznaczają zdrową roślinność drzewiastą (ciemniejszy ton) i trawniki (jaśniejszy ton). Mapa znormalizowanego, różnicowego wskaźnika roślinności (NDVI; po prawej)

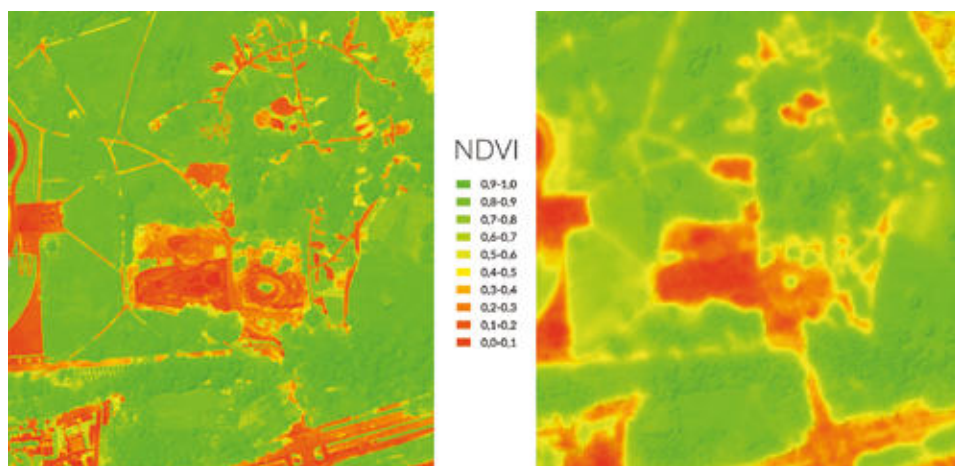
Kombinacje arytmetyczne takie jak iloraz wartości $(NIR-Red)/(NIR+Red)$ pozwalają na znormalizowanie wartości do przedziału $<-1;1>$, przy czym za wartości reprezentujące roślinność uznaje się te $> 0,3$. Korony zdrowych drzew charakteryzują się wartościami NDVI na poziomie 0,8–0,9 w zależności od stopnia wypełnienia korony i gatunku oraz stanu fenologicznego. W okresie wiosennym wartości NDVI dla koron drzew częściowo pozbawionych jeszcze dobrze rozwiniętych liści lub wciąż odpowiednio niewybarwionych są znacząco niższe niż w pełni sezonu wegetacji (czerwiec–lipiec). Poniżej przedstawiono mapę wskaźnika NDVI (Ryc. 6.8) bazującą na zobrazowaniach PlanetScope Dove (GSD 3,0 m) dla obszaru testowego w Parku Lotników Polskich. Barwy ciemnozielone oznaczają zielenie miejską w bardzo dobrym stanie zdrowotnym i wysokiej biomasy. Barwy zielonkawe i żółte reprezentują inicjalną zielenie (np. skoszone trawniki) a barwy pomarańczowe i czerwone praktycznie brak roślinności (np. otwarta gleba) i obszary infrastruktury (budynki czy drogi).

Monitoring satelitalny roślinności, bazujący na obrazach PlanetScope Dove (GSD 3,0 m) dostępnych niemal każdego dnia (decyduje o tym jedynie zachmurzenie), mimo znacznie

niższej rozdzielczość przestrzennej niż zobrażenia pozyskiwane z kamer wielospektralnych (GSD 7 cm) zamontowanych na platformie BSP (Ryc. 6.9), w zakresie monitorowania stanu zieleni miejskiej całego miasta wydaje się jednak bardzo efektywnym i optymalnym rozwiązaniem. Czas pozyskania obrazów satelitarnych PlanetScope Dove trwa niezmiernie



Ryc. 6.8. Mapy wskaźnika NDVI fragmentu Parku Lotników Polskich w Krakowie będące elementem monitoringu satelitarnego (zobrazowania PlanetScope Dove) z dnia 23.04.2020 r. (po lewej) oraz z 10.07.2020 r. (po prawej)



Ryc. 6.9. Mapy wskaźnika NDVI fragmentu Parku Lotników Polskich w Krakowie wygenerowane na podstawie kanałów spektralnych rejestrowanych przez sensor BSP RedEdge-M (MicaSense) w dniu 30.06.2020 r. (po lewej) oraz kamerę na pokładzie nanosatellity PlanetScope Dove w dniu 01.07.2020 r. (po prawej)

krótko i obejmuje swym zasięgiem cały Kraków (320 km²) przy bardzo zbliżonych warunkach oświetlenia. W przypadku lotów BSP ograniczenie zasięgu przestrzennego wynika przede wszystkim z baterii zasilających silniki BSP przez około 30 minut. W tym czasie pozyskać można obszar do kilkunastu ha (ok. 0,1 km²) w zależności od zastosowanych ustawień lotu fotogrametrycznego (wysokość AGL, pokrycie p oraz q czy ogniskowa kamery/zaprojektowany GSD piksela).

Poza bardzo wysoką rozdzielczością czasową (codziennie), w konstelacji PlanetScope pojawiają się satelity SuperDove wyposażone w kamery rejestrujące w pięciu lub ośmiu kanałach spektralnych. To otwiera dodatkowe możliwości w zakresie detekcji zmian stanu zdrowotnego roślinności, dzięki wykorzystaniu dodatkowych wskaźników (indeksów) roślinności.

Literatura

- Bajwa S.G., Gowda P.H., Howell T.A., Leh M. 2008. Comparing artificial neural network and least square regression techniques for LAI retrieval from remote sensing data. Proceedings of the The 17th William T. Pecora memorial remote sensing symposium – The future of Landsat imaging, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.
<http://www.asprs.org/a/publications/proceedings/pecora17/0006.pdf>.
- Zheng G., Moskal L.M. 2009. Retrieving Leaf Area Index (LAI) Using Remote Sensing: Theories, Methods and Sensors. *Sensors*, 9 (4): 2719–2745. <https://doi.org/10.3390/s90402719>.

In the remote sensing monitoring of urban green areas carried out within the LIFE URBAN-GREEN project both high-resolution multispectral UAV images and very high-resolution satellite (VHRS) imageries, captured using WorldView-2 (Maxar) and high-resolution (HRS) imageries from PlanetScope Dove nanosatellites (Planet Labs) have been used. The remote sensed information has been used mainly for LULC classification and calculation of vegetation indices (VI) in the complex process of the tree health condition monitoring. For the precise spectral calibration of PlanetScope Dove imageries UAV orthophotos have been used, made thanks to the photos from the RedEdge-M (MicaSense) 5-band multispectral camera installed on the low altitude aerial platform (UAS).

Modelowanie 3D wybranych drzew na podstawie chmur punktów TLS LiDAR

3D modelling of selected trees using TLS LiDAR point clouds

Katarzyna Bajorek-Zydroń, Piotr Wężyk, Anna Żądło,
Jakub Miszczyszyn

W ramach projektu LIFE URBANGREEN, realizowanego m.in. na obszarach zieleni miejskiej Krakowa, pozyskano chmury punktów wybranych drzew testowych metodą naziemnego skanowania laserowego TLS (ang. Terrestrial Laser Scanning). Dane pozyskiwane były w dwóch okresach fenologicznych, tj. w stanie pełnego ulistnienia (ang. Leaf-ON) oraz w okresie bezliściowym (ang. Leaf-OFF). W tym celu wykorzystano skaner VZ-400i (RIEGL; Ryc. 7.1) wyposażony w jednostkę inercyjną (IMU) oraz kamerę cyfrową NIKON



Ryc. 7.1. Skanowanie TLS dębu szypułkowego *Quercus robur* (ArboTag nr 008348) rosnącego przy al. Pokoju w Krakowie. Skanowanie w stanie bezliściowym (z lewej) oraz w pełni ulistnionym (z prawej)

z obiektywem typu „rybie oko”. Łącznie na obszarach testowych Krakowa poddano skanowaniu 60 drzew różnych gatunków, rosnących zarówno wewnątrz parków jak i bezpośrednio przy ruchliwych ulicach (założenie projektowe określenia bezpośredniego wpływu negatywnych czynników środowiskowych na drzewa). Drzewa do skanowania TLS wybrano tak, by dla każdego z nich pozyskać chmury punktów TLS minimalnie z 4 stanowisk (w przypadku drzew niewysokich), bądź z 8 stanowisk (w przypadku drzew wysokich o rozłożystych koronach). W drugim przypadku stanowiska pomiarowe skanera lokalizowano zarówno pod okapem korony, jak i w większej odległości od samego drzewa. Pomiar TLS wykonywane były z tych samych stanowisk oraz przy takich samych ustawieniach skanera (Ryc. 7.2).



Ryc. 7.2. Wiąz szypułkowy *Ulmus leavis* (ArboTag nr 008299) skanowany w stanie ulistnionym (po lewej) oraz bezlistnym (w środku). Połączona chmura punktów TLS dla stanu bezlistnego (po prawej)

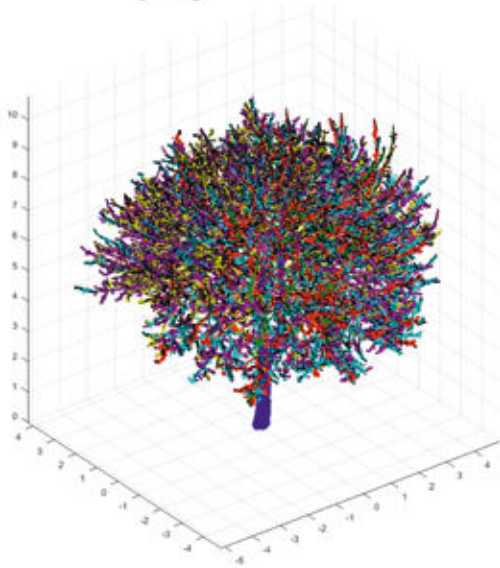
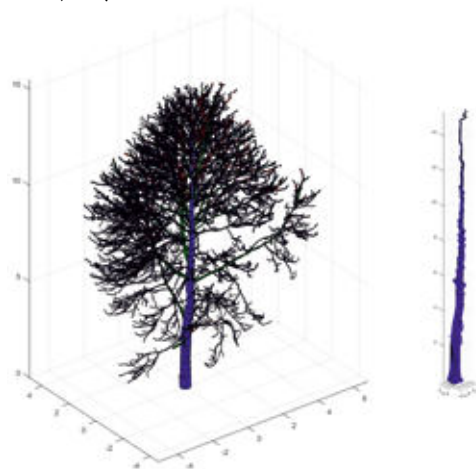
Pozyskane chmury punktów TLS z pojedynczych stanowisk, połączone zostały w jeden plik zbiorczy i nadano im georeferencję na podstawie sygnalizowanych punktów dostosowania (pomiar 4-systemowym odbiornikiem GNSS w trybie RTK). Precyzyjne chmury punktów TLS posłużyły do zaawansowanych obliczeń biomasy drzew (objętość pnia, konarów i gałęzi) oraz wartości indeksu LAI (ang. Leaf Area Index). Chmury punktów TLS przetwarzano w specjalistycznym oprogramowaniu RiScan (RIEGL), a następnie poddano klasyfikacji i usunięciu ewentualnych szumów powstałych podczas skanowania, w dedykowanym do tego oprogramowaniu TerraScan (TerraSolid). Docelowo wyodrębniono następujące chmury punktów:

- 1 – drzewo (pień i gałęzie),
- 2 – grunt,
- 99 – pozostałe klasy (np. obiekty znajdujące się w pobliżu jak ściany, latarnie czy ogrodzenia).

W przypadku drzew skanowanych w okresie bezliściowym (Leaf-OFF) punkty z chmury TLS, należące do klasy 1 (drzewo), zostały poddane przetwarzaniu do segmentacji poszczególnych fragmentów – pień, konary, gałęzie poszczególnych rzędów hierarchii – w oprogramowaniu QSM w środowisku MatLab. Dzięki opublikowanym, nieodpłatnym bibliotekom QSM (TreeQSM: <https://github.com/InverseTampere/TreeQSM>) możliwe było obliczenie cech biometrycznych drzew, m.in.: wysokości wierzchołka, pierśnicy (średnica na zdefiniowanej wysokości), długości poszczególnych rzędów hierarchii gałęzi, objętości głównego pnia, poszczególnych większych konarów oraz wszystkich gałęzi.

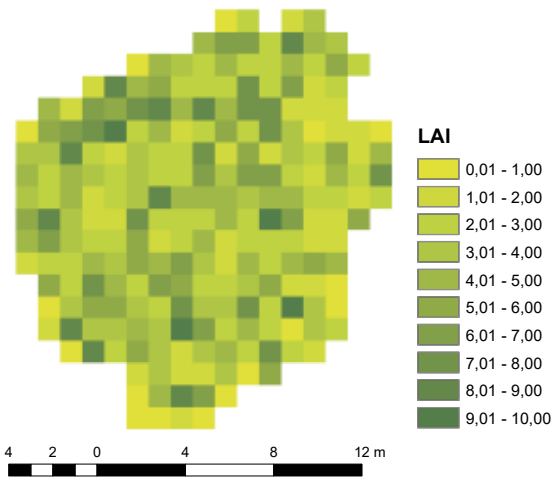
Uzyskane wyniki posłużyły do dalszych obliczeń i modelowania w zakresie usług ekosystemów, w tym sekwestracji CO₂ (Ryc. 7.3, 7.4).

Ryc. 7.3. Model 3D kasztanowca *Aesculus hippocastanum* (ArboTag nr 008220; po lewej) uzyskany w oprogramowaniu QSM oraz model wyodrębnionego pnia drzewa (po prawej)



Ryc. 7.4. Klon zwyczajny *Acer platanoides* (ArboTag nr 008215) podczas skanowania TLS w okresie bezliściowym i model 3D drzewa wykonany w oprogramowaniu QSM (MatLab)

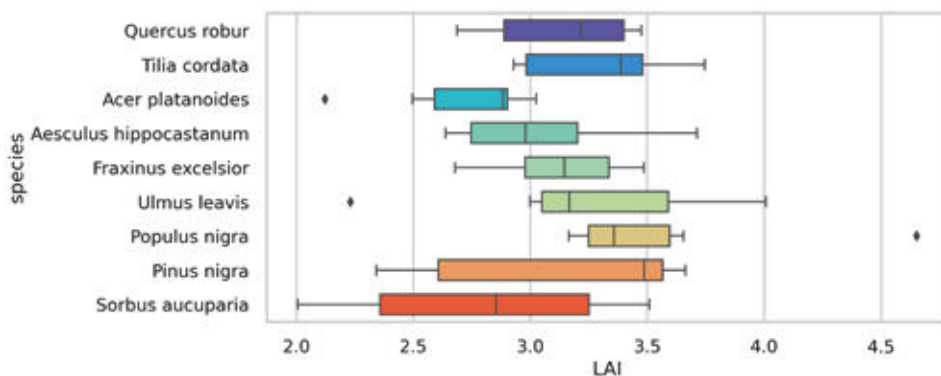
W przypadku chmur punktów TLS pozyskanych dla analizowanych drzew w stanie ulistnionym (Leaf-ON), obliczono wartości wskaźnika LAI (Leaf Area Index), który posłużył dalszemu modelowaniu usług ekosystemów (ES), jak absorpcja zanieczyszczeń czy wymiana gazowa. Obliczenia wskaźnika TLS wykonano przy wykorzystaniu skryptu działającego w środowisku R Studio pakiet **leafR** (de Almeida i in. 2021). W tym celu wykorzystano znormalizowaną klasę nr 1 (drzewo) chmury punktów TLS. W wyniku przeprowadzonych zautomatyzowanych obliczeń wygenerowano średnie wartości wskaźnika dla analizowanego drzewa oraz jego rozkład przestrzenny w obszarze korony drzewa (warstwa rastrowa; Ryc. 7.5).



Ryc. 7.5. Wartości LAI dla poszczególnych komórek rastra wiązu szypułkowego *Ulmus laevis* (ArboTag nr 008299)

Obliczenia wartości LAI wykonano dla konkretnych drzew z dziewięciu wybranych w ramach projektu LIFE URBANGREEN gatunków. Prowadzono dla nich również badania terenowe mające na celu określenie ilości pochłanianego CO₂, czy ilości przechwytywanego pyłu zawieszonyego z powietrza, tak aby następnie obliczyć wartości usług ekosystemów świadczonych przez poszczególne gatunki drzew. Zakres wartości LAI dla badanych gatunków przedstawiono na (Ryc. 7.6).

W ramach projektu dla kilku wybranych drzew w Krakowie przeprowadzono badania kontrolne, w celu porównania wyników otrzymywanych na drodze skanowania TLS i modelowania 3D. W przypadku przeznaczonych do wycinki, z powodu złego stanu zdrowotnego, dwóch jesionów wyniosłych *Fraxinus excelsior* oraz kasztanowca zwyczajnego *Aesculus hippocastanum* – zgodnie z metodyką projektu – przeprowadzono skanowanie laserowe TLS. Po ścięciu drzewa zważono jego frakcje tj.: liście oraz drobne gałęzie a także metodą sekcijną zmierzono objętość pnia i grubszych konarów. W terenie pobrano także reprezentatywne próbki liści w celu określenia wilgotności biomasy suchej masy oraz pozyskano dodatkowe próbki do przeprowadzenia pomiarów powierzchni liści (skanowanie 2D; Ryc. 7.7). Pozwoliło to na obliczenie całkowitej powierzchni aparatu asymilacyjnego drzewa, a tym



Ryc. 7.6. Rozkład wartości LAI obliczony dla analizowanych gatunków drzew – wykres wygenerowany z wykorzystaniem bibliotek Matplotlib (Hunter 2007) oraz Seaborn (Waskom 2021)



Ryc. 7.7. Skanowanie liści jesionu wyniosłego i obliczenia powierzchni (analiza obrazu) w celu określenia wskaźnika LAI

samym wskaźnika LAI dzięki cechom biometrycznym (powierzchnia rzutu korony) uzyskanym na drodze skanowania TLS 3D.

Wartość wskaźnika LAI, określona dla jesionu wyniosłego na podstawie badań terenowych, wyniosła 2,7, podczas gdy średnia wartość LAI obliczona na podstawie chmur punktów TLS, kształtowała się na poziomie 3,13 (różnica 13,7%).

W przypadku kasztanowca zwyczajnego wartość średnia wskaźnika LAI wyliczona na podstawie prac terenowych (zbiór liści i ich skanowanie), kształtowała się na poziomie 2,1. Średnia wartość LAI obliczona na drodze analizy chmur punktów TLS wynosiła 3,04 (różnica 30,9%).

Dodatkowo w celu określenia wskaźnika LAI dla trzech gatunków drzew (wiąz szypułkowy *Ulmus leavis*, klon zwyczajny *Acer platanoides* i lipa drobnolistna *Tilia cordata*), jesienią 2020 roku pod ich koronami założono specjalne poletka do odłowienia



Ryc. 7.8. Poletka podkoronowe o powierzchni 10 m² do odławiania opadających liści

opadających liści. Powierzchnia takich ogrodzonych poletek wynosiła 10 m² (Ryc. 7.8). Opadłe liście zebrano, zważono w stanie świeżym i suchym, wysuszono do suchej masy oraz, podobnie jak w przypadku wcześniej opisanych doświadczeń, zeskanowano (2D) w celu obliczenia ich powierzchni. Posłużyło to określeniu wskaźnika LAI dla drzew, z których opadłe liście pozyskano.

Wartości, otrzymane metodą analizy wokseli chmury punktów TLS (pakiet **leafR** w środowisku R Studio), znacząco odbiegały od wartości uzyskanych na podstawie prac terenowych, co wskazuje na potrzebę dalszej kalibracji algorytmu i kontynuowania prac terenowych.

Literatura

- de Almeida D.R.A., Stark S.C., Silva C.A., Hamamura C., Valbuena R., 2021. <https://github.com/DRAAlmeida/leafR>, <https://leaf.r-forge.r-project.org>.
- Hunter J.D. 2007. Matplotlib: A 2D graphics environment, *Computing in Science & Engineering*, 9: 90–95.
- TreeQSM: <https://github.com/InverseTampere/TreeQSM>.
- Waskom M.L. 2021. seaborn: statistical data visualization. *Journal of Open Source Software*, 6 (60): 3021. <https://doi.org/10.21105/joss.03021>.

Within the LIFE URBANGREEN project TLS LiDAR technology has been used to scan trees with (Leaf-ON) and without leaves (Leaf-OFF). Acquired TLS point clouds were used for advanced calculations of tree biomass (i.e. trunk and branch volume) and LAI (Leaf Area Index) values. In the next stage the results were compared to the field measurement of tree biomass for test trees and used for other calculations (e.g. carbon sequestration).

Efektywne zarządzanie zielenią miejską za pomocą platformy GreenSpaces

Effective management of urban greenery using GreenSpaces platform

Beata Paluch, Katarzyna Bajorek-Zydroń, Piotr Wężyk

Postępujące zagrożenia związane ze zmianami klimatu oraz ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi (np. gwałtowne burze, opady i wiatry nawalne, upały itp.), do których coraz częściej dochodzi w ostatnich latach, zwiększają wrażliwość społeczeństwa na negatywne skutki tych zmian, szczególnie odczuwalne na terenach zurbanizowanych. Mieszkańcy miast są coraz bardziej świadomi zagrożeń, coraz częściej włączają się w działania mające poprawić komfort ich życia w aglomeracji i to nie tylko poprzez zwiększenie ilości zieleni miejskiej, ale także poprzez poprawę jej stanu zdrowotnego i struktury. Obecność szaty roślinnej w przestrzeni miejskiej i odpowiednia dostępność do niej, są bardzo istotnymi czynnikami kształtującymi mikroklimat i odpowiednią jakość życia mieszkańców. Nowoczesne i zrównoważone zarządzanie zielenią miejską (ang. urban greenery lub Urban Forestry) – przy jednoczesnym udostępnianiu mieszkańcom informacji o stanie tych zasobów, zarządzanych przez władze miasta – jest właściwą odpowiedzią zarządzających, wychodzącą naprzeciw oczekiwaniom mieszkańców.

Podmioty administracji publicznej odpowiedzialne za zarządzanie terenami zieleni miejskiej stosują bardzo różne rozwiązania techniczne, które dość często nie są w stanie nadążać za potrzebami sprawnego funkcjonowania miasta (np. mapy cyfrowe roślinności). Duże aglomeracje przeznaczają niekiedy znaczne nakłady finansowe na zieleni miejską, stosując zaawansowane rozwiązania bazodanowe, zintegrowane z systemami GIS lub systemami wspomaganie decyzji (DSS), dzięki którym decydenci mają zapewniony dostęp do zgromadzonych danych, co usprawnia procesy zarządzania i monitoringu. Dość rzadko jednak programy GIS, bazujące na danych geometrycznych i atrybutowych o zielonej infrastrukturze, są zintegrowane z modułem planowania kosztów i ich rozliczaniem czy raportowaniem. Przykładem miasta, które od kilku lat wdraża innowacyjne rozwiązania geoinformatyczne w zakresie zarządzania zielenią miejską jest Kraków. Od wielu lat radni miasta głosują za zwiększaniem budżetem przeznaczonym na zieleni miejską, co w jakimś stopniu przyczynia się do kompensacji problemów, wynikających z zanieczyszczenia powietrza. Początkowo w ramach projektu MONIT-AIR (lata 2015–2016) wdrażany

był system R3 TREES (R3GIS), którego funkcjonalność ewoluowała obecnie do platformy geoinformatycznej GreenSpaces (R3GIS). Jest ona bardzo intensywnie rozwijana dzięki realizacji projektu LIFE URBANGREEN, którego partnerem jest także Zarząd Zieleni Miejskiej w Krakowie.

Zarządzający zielenią miejską mogą dzięki GreenSpaces nie tylko w sposób świadomy i odpowiedzialny dbać o stan zieleni miejskiej, ale także szeroko konsultować z mieszkańcami i upowszechniać istotne informacje o podejmowanych decyzjach. W ramach projektu LIFE URBANGREEN (LIFE CCA/IT/000079), współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej i Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, system GreenSpaces był modyfikowany i został rozbudowany o nowy moduł ekosystemowy.

Platforma GreenSpaces jest zintegrowanym systemem geoinformacyjnym umożliwiającym dokumentowanie, zarządzanie i monitorowanie działań związanych z obszarami zieleni miejskiej. Łączy w sobie funkcjonalność typowych systemów GIS, tj. integruje bazy danych geometrycznych z informacją. Wszystkie obiekty zapisane w bazach danych posiadają swoje atrybuty geometryczne (położenie XYZ) jak również opisowe (np. gatunek drzewa lub krzewu, rodzaj nawierzchni alejek w parku, opis uszkodzeń, stopień zagrożenia, itd.).

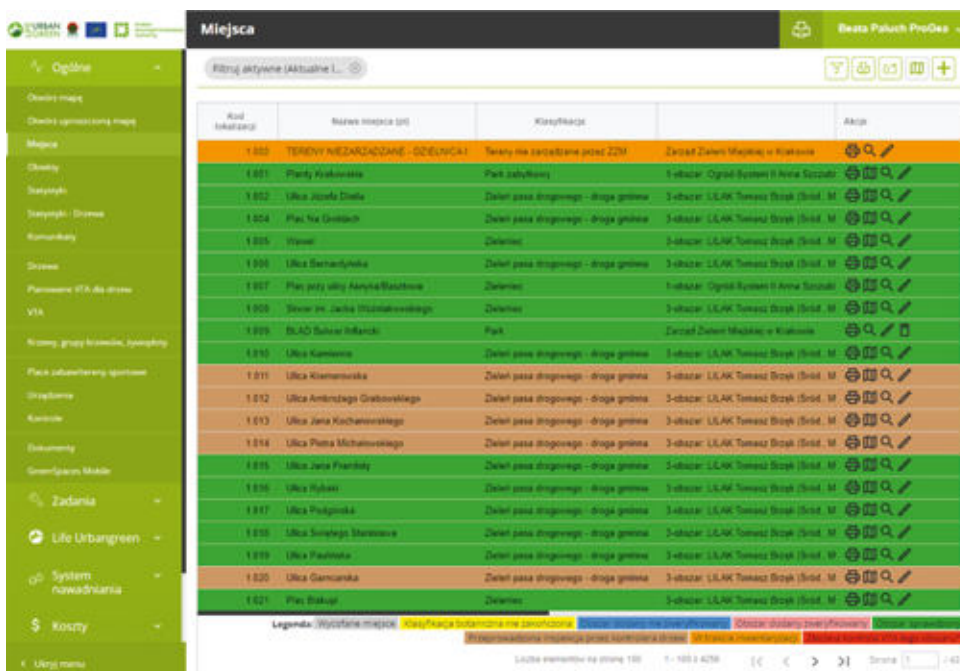
Oprogramowanie GreenSpaces posiada architekturę modułową. Wszystkie obiekty zarządzane na platformie posiadają precyzyjną lokalizację dzięki zastosowaniu technologii skanowania laserowego LiDAR (ALS, TLS czy MLS), bądź też odbiorników GNSS RTK w procesie inwentaryzacji zasobów zieleni miejskiej i związanej z nią infrastruktury (np. mała architektura). Dzięki zastosowaniu powyższych technologii granice obiektów wprowadzanych do geometrycznej bazy danych są niezwykle precyzyjne. Dotyczy to zarówno lokalizacji drzew czy krzewów w parkach, ogrodach, na skwerach jak również obiektów typu ścieżki, ławki, latarnie, kosze na śmieci itp.

Dane nt. drzew i krzewów oraz innych obiektów związanych z terenami zieleni miejskiej mogą pochodzić z pomiarów bezpośrednich GNSS RTK, bądź zostać wprowadzone do aplikacji desktopowej GreenSpaces na podstawie wcześniej zgromadzonych informacji (np. import plików SHAPE FILE Esri), lub poprzez korzystanie z dedykowanej aplikacji mobilnej, w której dane geometryczne i opisowe gromadzone są bezpośrednio w trakcie prac terenowych. Oprócz gromadzenia podstawowych informacji o drzewach, krzewach (lub innych formach zieleni) czy obiektach małej architektury, aplikacja umożliwia dołączanie zdjęć cyfrowych lub innych dokumentów (np. PDF faktury dotyczącej przeprowadzonych zabiegów pielęgnacyjnych) lub wyników specjalistycznych badań przeprowadzanych na drzewach (np. tomografem).

Oprogramowanie GreenSpaces posiada niezwykle elastyczny system zarządzania użytkownikami, umożliwiający zróżnicowanie ustawień wybranych funkcjonalności dla grup zdefiniowanych użytkowników o różnych uprawnieniach.

Struktura GreenSpaces

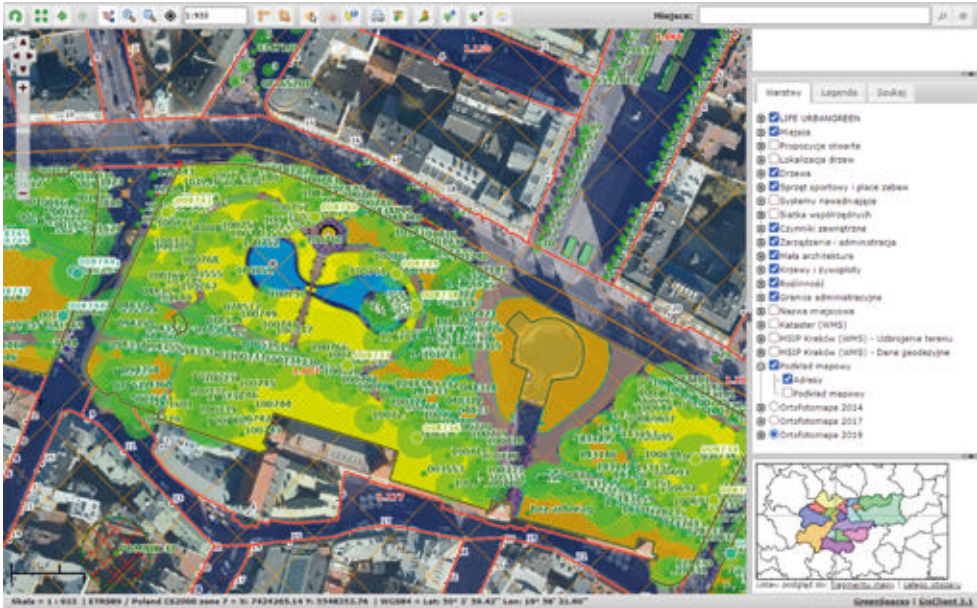
Aplikacja złożona jest z modułów dostępnych z poziomu głównego menu (Ryc. 8.1). Dla każdego z nich dostępna jest seria poleceń (wyświetlane jako przyciski z ikonami), która zależy od rodzaju obiektów i samych uprawnień zdefiniowanych dla grupy użytkownika. Pozwalają one m.in. na: wyszukiwanie obiektów przez dostęp do zaawansowanej filtracji danych, drukowanie kart obiektów w formacie PDF, eksportowanie wyników do pliku Excel, tj. zarówno pojedynczych pozycji jak i listy obiektów z wybranego miejsca, podgląd wprowadzonego na mapie obiektu, dodanie nowych pozycji czy też zlecanie i rozliczanie poszczególnych zadań.



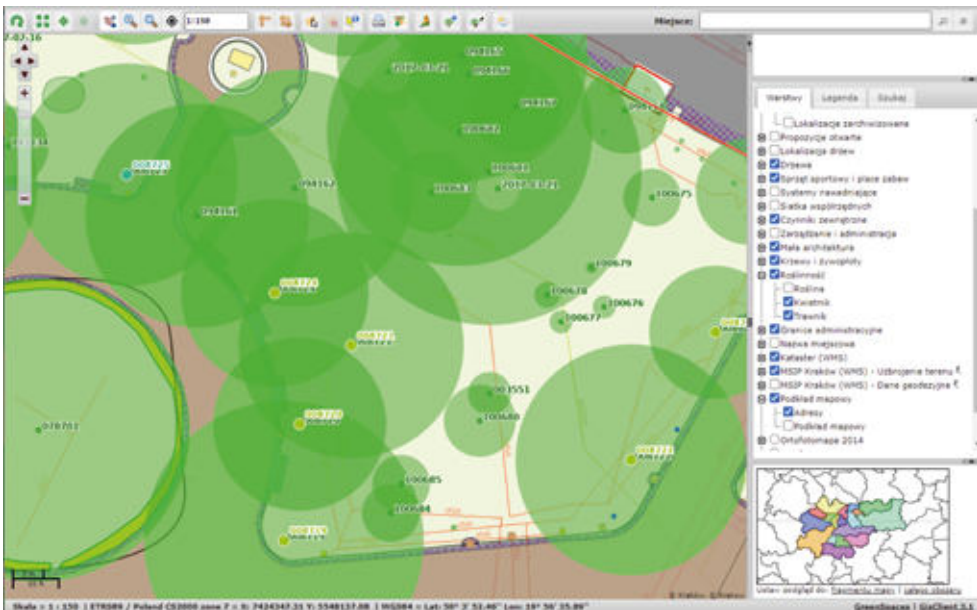
Ryc. 8.1. Wygląd modułu „Miejsca” z widoczną listą miejsc oraz ich statusem (GreenSpaces desktop; R3GIS)

Interfejs oraz mapy podkładowe

Widok mapy konfigurowany jest na podstawie określonego przez użytkownika zasięgu przestrzennego w zdefiniowanym przez niego układzie współrzędnych. Każdy obiekt zapisany w bazach danych w aplikacji GreenSpaces może być wizualizowany lub ukryty na tle mapy bazowej (podkładowej), jaką mogą być zarówno lotnicze ortofotomapy (Ryc. 8.2), jak i inne dane wektorowe GIS (np. podziemne uzbrojenie terenu) (Ryc. 8.3).



Ryc. 8.2. Mapa fragmentu Plant Krakowskich z widocznymi identyfikatorami drzew i granicami administracyjnymi na podkładzie ortofotomapy lotniczej (GreenSpaces R3GIS)



Ryc. 8.3. Fragment powiększonej mapy (skala 1:150) fragmentu ogrodu Plant Krakowskich z widocznymi zasięgami koron drzew (zielone okręgi), identyfikatorami (ArboTag) zasięgiem nawierzchni alejek oraz uzbrojeniem terenu

Karta drzewa

Informacje zgromadzone podczas inwentaryzacji czy przeglądów okresowych o danym drzewie zapisane są w bazach danych i wizualizowane jako tzw. karta drzewa (Ryc. 8.4). Zawiera ona takie informacje jak: nazwę miejsca (np. Park Jordana), dokładne współrzędne (XY), identyfikator drzewa i numer etykiety (ArboTag), nazwę gatunkową i odmianę drzewa, obwód pnia (cm), wysokość (m), średnicę korony (m), miejsce rozwoju, w którym rośnie drzewo (np. trawnik lub metalowa krata), status drzewa/krzewu. W formularzu karta drzewa, w tzw. „checkboxach” zaznaczone są także dodatkowe przydatne informacje np. status ochrony prawnej (pomnik przyrody), występowanie budek lęgowych, gniazd ptaków, wykonanych wiązań w koronie czy też obecność systemu do podlewania (waterbags). Na karcie drzewa znajdują się także: fragment mapy z jego lokalizacją, miniatura zdjęcia cyfrowego, informacje o pracowniku, który jako ostatni aktualizował ten dokument oraz informacje o wykonanej wizualnej ocenie stanu drzewa (ang. VTA; Visual Tree Assessment), planowanych pracach oraz inne powiązane z drzewem dokumenty, takie jak wyniki arborystycznych analiz instrumentalnych.

Drzewa - Pokaż Beata Pałuch ProGea

Lokalizacja

Miejsce *
1.001 - Planty Krakowskie

Nr drzewa * Etykieta ID obiektu
001613 4761

Współrzędne
7 423 989.21 / 5 548 316.47

Nieruchomość
 Publiczny Prywatny w trakcie przetwarzania

Ogólne dane

Nazwa rośliny
Acer platanoides (Klon Zwykły)

Miejsce rozwoju Faza rozwoju fizjologicznego
Trawnik Okres dojrzalości

Dane biometryczne

Wysokość @ korony
15-20 11.00 m

Ø pnia Obwód pnia
53.97 cm 169.55 cm

Typ określenia wieku
Nieokreślony

Status

Status drzewa
Drzewo żywe

Ostatnia karta VTA

Data 25.02.2016

Klasa ryzyka C - Ryzyko średnie

Stan wegetatywny FW1 Faza degeneracji - Dost. żywotność

Mapa

50x50m

Obraz

Ryc. 8.4. Karta drzewa w programie GreenSpaces (moduł Drzewa) zawierająca dane ogólne, biometryczne i lokalizacyjne wraz z podglądem na mapie i zdjęciem

Moduł VTA

Dla każdego drzewa, które teoretycznie może powodować zagrożenie dla życia ludzi lub mienia, może zostać przeprowadzona wizualna ocena drzewa, wg. zmodyfikowanej metody VTA. Do każdej karty drzewa zakotwiczony został specjalny moduł VTA (Ryc. 8.5), w którym osoba przeprowadzająca ocenę zaznacza ewentualnie stwierdzone ubytki, wady drzewa, określa klasę ryzyka, dołącza zdjęcia cyfrowe lub wyniki ewentualnych dodatkowych badań wykonywanych specjalistycznym sprzętem (np. tomograf). Podczas przeprowadzania oceny VTA inspektor może zlecić przeprowadzenie odpowiednich prac (wybór z istniejących słowników w bazie danych, np. działania interwencyjne czy cięcia sanitarne) na danym drzewie i ustalić priorytety czynności, co prowadzi do zminimalizowania ryzyka i zagrożeń powodowanych przez drzewa. Wypełniona i zapisana w systemie ocena VTA nie może już być zmieniona (nadpisana) ani też usunięta. Można jedynie przeprowadzić całkowicie nową ocenę. Jest to zabezpieczenie wewnętrzne, umożliwiające zapisywanie poszczególnych wersji w bazie danych.

VTA - Pokaż Beata Paluch ProGes

Quercus robur (Dąb szypułkowy)

Faza rozwoju fizjologicznego: Okres dojrzałości | Miejsce rozwoju: Chocim

Stan węgetatywny: P/VII Faza eksploatacji - Ścisła żywotność | Długość życia:

Etykieta: Karta do dodania

Dane biometryczne

Wysokość: 20-25 | Ø korony: 22.00

Ø pnia: 56.05 cm | Obręb pnia: 176.00 cm

Właściwości

KORZENIE | PODSTAWA PNI / OGDŃEK | PIEN | **GÓRA PNI** | KORONA / Korony / Gałęzie

PATOGENY | INGERENCJE | OTOCZENIE

Rozwidlenie "U" kształtne: | Rozwidlenie "Y" kształtne: | Ubytki powierzchniowe:

Ubytki węglane:

Wynik

Klasa ryzyka: Ryzyko średnie

Mapa

50x50m

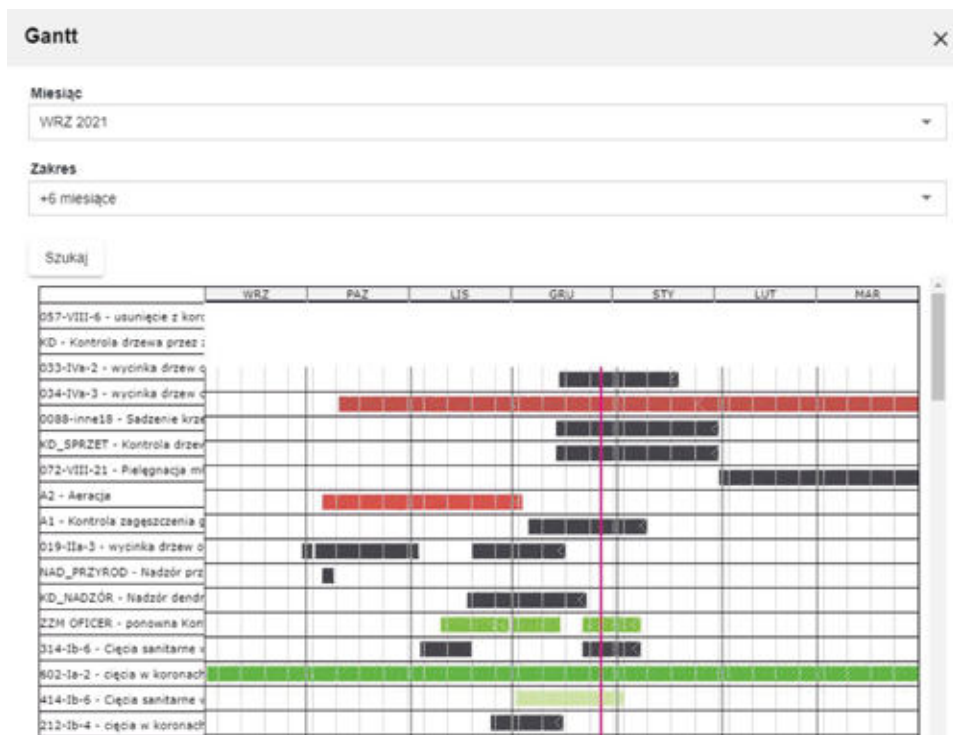
Obraz

Drzewo

Ryc. 8.5. Karta VTA w programie GreenSpaces (moduł VTA) z danymi biometrycznymi drzewa, lokalizacją na miniaturze mapy, zdjęciem, właściwościami z określeniem w skali trójstopniowej ubytków na poszczególnych częściach drzewa, występowania patogenów, bądź innych uchybień oraz określenie klasy ryzyka zagrożenia

Moduł ZADANIA pozwala zaplanować odpowiednie prace konserwacyjne dla zdefiniowanego przez inspektora miejsca i udostępnić harmonogram poszczególnym wykonawcom oraz jednostce zarządzającej. Dzieje się to w formie dostarczenia szczegółowej listy prac lub też wykresu Gantta. Wszystkie wykonywane prace rejestrowane są w systemie i powiązane z konkretnym obiektem (np. drzewo, trawnik, żywopłot itp.) a tym samym z miejscem. Dla każdego zadania można zweryfikować czas i metody jego realizacji.

Lista prac konserwacyjnych, prowadzonych na drzewach w określonej lokalizacji, jest najczęściej wizualizowana w postaci wykresu Gantta. Na Ryc. 8.6 zaprezentowano przykład kalendarza pracy z wyszczególnieniem rodzaju pracy i okresem realizacji zaplanowanych działań. Czerwona pionowa linia wskazuje bieżącą datę.



Ryc. 8.6. Wykres Gantta w programie GreenSpaces, jedna z opcji narzędziowych w zakładce „Planowane zadania” (moduł Zadania)

Planowane zadania

W menu „Planowane zadania” użytkownikowi domyślnie wyświetla się filtrowana lista prac, które nie zostały jeszcze zrealizowane ani też zarchiwizowane. W module można filtrować, drukować do pliku PDF, eksportować (format Excel), tworzyć nowe zadania, bądź wyświetlać zaplanowane zadania na wykresie Gantta, a także kończyć (zamykać) zrealizowane zadania, w tym także wiele zadań równocześnie.

W zależności od przyznanego przez administratora poziomu uprawnień, użytkownicy aplikacji mogą np. zlecić zadanie Wykonawcom zewnętrznym, którzy poprzez aplikację otrzymują zlecenie. Po jego wykonaniu zgłaszają poprzez aplikację wykonanie zadania osobie, które je pierwotnie zleciła. Administrator aplikacji może samodzielnie zdefiniować słownikowe tabele prac i powiązać z nimi odpowiednie cenniki za wykonywane czynności. Dzięki takim relacjom w bazie danych, natychmiast po zatwierdzeniu wykonania prac, znane są ich koszty, co umożliwia tworzenie raportów finansowych dla określonych miejsc w zdefiniowanych przedziałach czasu (np. kwartalne koszty).

Wszystkie zmiany statusu prac (planowanie, zmiana harmonogramu, archiwizacja, zamknięcie) rejestrowane są wraz z datą oraz imieniem i nazwiskiem osoby dokonującej zmian. Informacje zapisywane są w zakładce Historia na Karcie Zadania.



Ryc. 8.7. Wygląd modułów aplikacji GreenSpaces MOBILE zainstalowanej na telefonie komórkowym z systemem operacyjnym Android

GreenSpaces MOBILE jest aplikacją dedykowaną na urządzenia z systemem operacyjnym Android, przeznaczoną dla użytkowników mających dostęp do aplikacji internetowej GreenSpaces. Pozwala na zarządzanie niektórymi działaniami bezpośrednio w terenie za pomocą smartfonu, umożliwiając pracę w trybie off-line: zgłaszanie niezgodności lub problemów, zarządzanie zleconymi pracami, inspekcje placów zabaw, inwentaryzację drzew wraz z oceną VTA, dostęp do zaplanowanych działań z możliwością dokumentowania zdjęciami wykonanych prac i formalnego „zamknięcia” tych prac w terenie.

Aplikacja mobilna z samego założenia funkcjonalności nie może być skomplikowana i musi być bardzo intuicyjna. Przed przystąpieniem do pracy wymaga od użytkownika zsynchronizowania w urządzeniu mobilnym (przez sieć Wi-Fi lub kartę SIM), tak aby pobrać wszystkie aktualne dane, niezbędne do realizacji zadania w terenie. Po wykonanej pracy (np. weryfikacja numerów ArboTag w parku) użytkownik dokonuje ponownej synchronizacji z bazą danych, tak aby wszystkie dane zapisane w urządzeniu mobilnym zaktualizowały geometryczne i opisowe bazy danych GreenSpaces (Ryc. 8.7).

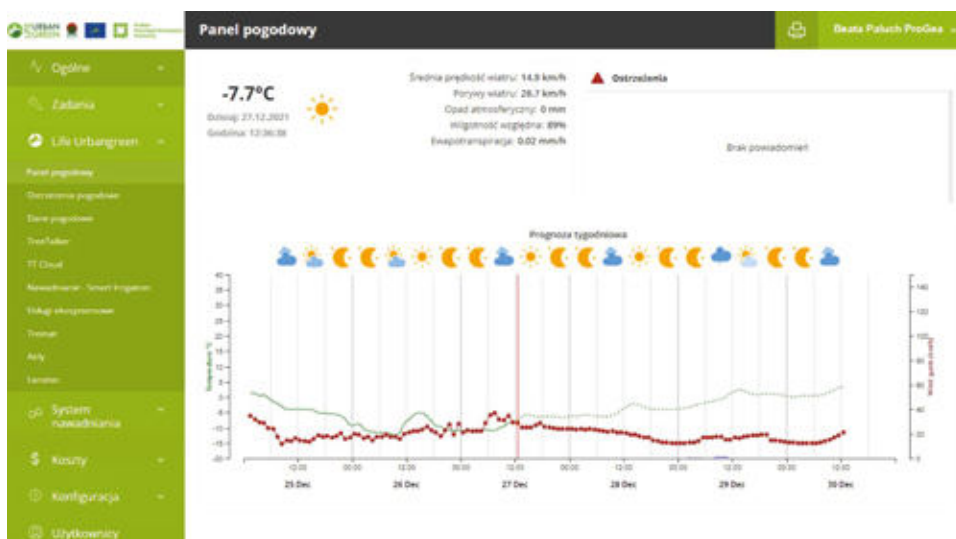
Moduł Life Urbangreen

W wyniku realizacji projektu LIFE URBANGREEN (2018–2021) aplikacja GreenSpaces rozbudowana została o nowe innowacyjne moduły zarządzania takie jak:

- **Nawadnianie–Smart Irrigation** dostęp do serwisów meteorologicznych umożliwiających obliczenie bilansu wodnego dla roślinności tj. ilości wody dostarczanej do drzew

(np. opady atmosferyczne, podlewanie) oraz wody zużywanej przez same drzewa (np. transpiracja zależna od temperatury). W rezultacie funkcjonalność ta ma prowadzić do zmniejszenia zużycia wody, która będzie dostarczana tylko w momencie istniejących potrzeb i z uwzględnieniem warunków atmosferycznych np. brak konieczności podlewania dzień przed prognozowanymi 4-dniowymi opadami deszczu.

- Panel pogodowy (Ryc. 8.8) z danymi meteorologicznymi, aktualizowanymi co 1 godz. pozwala zarządzającemu monitorować na bieżąco ostrzeżenia meteorologiczne i znacznie efektywniej planować działania kontrolne (np. przed i po nawałnicy).
- Dane z czujników (TreeTalker, TT Cloud, Airly czy Lansitec) zamontowane na drzewach, pozwalają na uzyskanie informacji o stanie biofizycznym lub fizjologicznym drzewa, czy też stanie atmosfery z uwzględnieniem zanieczyszczeń pyłowych.
- Treesat – informuje o zmianach fizjologii drzew na podstawie różnic spektralnych rejestrowanych na obrazach satelitarnych Planet Labs.



Ryc. 8.8. Panel pogodowy w programie GreenSpaces (moduł Life Urbangreen) z przedstawieniem trzydniowej prognozy pogody w postaci wykresu z przebiegiem temperatury i porywów wiatru w stosunku do pory dnia oraz informacji o występowaniu opadów atmosferycznych, wilgotności, ewapotranspiracji oraz ewentualnym ostrzeżeniem meteorologicznym

Usługi ekosystemu świadczone przez drzewa (Ryc. 8.9), bazują na ich cechach biometrycznych zgromadzonych podczas inwentaryzacji oraz na modelach opartych o dane meteorologiczne w zakresie potencjalnej ewapotranspiracji i promieniowania słonecznego w połączeniu z danymi nt. gatunku drzewa, jego wieku i miejsca wzrostu. Prowadzi to do odpowiedzi na takie pytania jak:

Data	Miejsce	Nr drzewa	Etykieta	Źródło roślin	Ostatni pomiar drzewa
27.12.2021	5.121 - Alja Kijowska	017711		Tilia europaea (Lipa holenderska)	
27.12.2021	13.006 - Park Ogrody Piaszki	026346		Tilia cordata (Lipa drobnokłosa)	
27.12.2021	18.200 - Zeleniec osiedlowy- Os. Sportowe	030840		Tilia cordata (Lipa drobnokłosa)	
27.12.2021	4.113 - Ulica Głuchowska	?		Acer pseudoplatanus (Klon jawny)	
27.12.2021	17.615 - Przyszły Park Metaji	059000		Fraxinus excelsior (Jesion wityliwy)	
27.12.2021	12.236 - Przyszły park przy Dorocie Czeźków	068758		Quercus robur (Dąb szypułkowy)	
27.12.2021	6.000 - Park Setażera	045137		Quercus robur (Dąb szypułkowy)	
27.12.2021	5.026 - Zeleniec osiedlowy- Nowowiejska 2 / Uzbliżenie 52 A	057096		Aesculus hippocastanum (Kasztanowiec zwyczajny)	
27.12.2021	13.202 - Ulica Obrotowa Modlina	024026		Acer sp. (Klon)	
27.12.2021	4.275 - Pużaka	10970077		Fraxinus excelsior (Jesion wityliwy)	
27.12.2021	15.113 - Park Drużna Marcego nad Sobianem	021892		Fraxinus excelsior (Jesion wityliwy)	
27.12.2021	4.614 - Zeleniec osiedlowy- Radzikowskiego 66	120470		Acer pseudoplatanus (Klon jawny)	
27.12.2021	2.005 - Ulica Ignacego Daszyńskiego	226		Acer platanoideus (Klon zwyczajny)	
27.12.2021	4.312 - Śl. 593/6 ubr. 41 KR	5		Acer platanoideus (Klon zwyczajny)	

Legenda: Drzewo żywe Drzewo martwe Pniak Drzewo śpiące w trakcie przetwarzania

Liczba elementów na stronie: 100 1-100 z 404813 < > >> Strona 1 z 4035

Ryc. 8.9. Usługi ekosystemowe w programie GreenSpaces (moduł Life Urbangreen) oparte na badaniach cech biometrycznych drzew, rozmieszczonych w różnych częściach miasta oraz danych meteorologicznych

- ile CO₂ na stałe magazynuje wybrane drzewo?
- Ile cząstek pyłu zawieszonego (np. PM₁₀) przechwytuje korona pojedynczego drzewa?
- jak efektywnie może być obniżana temperatura powietrza przez zwarty szpaler drzew wzdłuż ulicy?

Pełny dostęp do wszystkich informacji zgromadzonych w aplikacji GreenSpaces posiadają zarządzający zielenią miejską (z różnymi profilami dostępu w zależności od pełnionych funkcji). Osoby i firmy wykonujące na terenach zieleni prace utrzymaniowe lub inwentaryzacje mają dostęp jedynie do tych informacji, które są im niezbędne do wykonywania zleconych zadań. Mieszkańcy mogą korzystać z informacji zgromadzonych w aplikacji poprzez portal dla mieszkańca „Krakowskie drzewa i ich zalety” (Ryc. 9.1), gdzie znajduje się wiele przydatnych informacji o zieleni.

The GreenSpaces platform has been modified and expanded with a new ecosystem module as part of the LIFE URBANGREEN project. The platform optimises all processes of organisation and decision-making and offers a guaranteed, detailed and up-to-date database comprising all components of public greenery. New modules help schedule maintenance and care activities on all managed objects, be it lawn cutting jobs, pruning trees, pest control or fertilisation. The software allows to register and manage risk assessments of trees and technical inspections of recreational and sports equipment.

Portal dla mieszkańców – przewodnik po usługach

Portal for citizens – a guide to services

Piotr Kempf, Łukasz Pawlik, Przemysław Szwałko

Mapy terenów zieleni, ciekawostki i przydatne informacje

Portal dla mieszkańców LIFE URBANGREEN – Krakowskie drzewa i ich zalety (Ryc. 9.1), może stanowić doskonałą pomoc w podjęciu decyzji, który z parków czy zieleńców wybrać na kolejny spacer. Ich przegląd, zawierający prócz przykładowego zdjęcia, informacji o udogodnieniach w postaci wyposażenia parku, jak place zabaw czy urządzenia gimnastyczne, obejmuje również mniej lub bardziej szczegółowy opis. Oto przykład: „Młynówka Królewska jest najdłuższym parkiem w Polsce. Spacerując wzdłuż sztucznego koryta rzeki Rudawy możemy płynnie przedostać się z Dzielnicy V Krowodrza do Dzielnicy VI Bronowice i odwrotnie. Podczas 8 km spaceru spotkamy na swojej drodze kilka placów zabaw (m.in. przy ulicach: Jabłonkowska, Wesele, między Raławicką a Zbrojów oraz przy Al. Grottgera), siłownie, kącik czytelniczy czy wybieg dla czworonożnych pupili. Szczególnym miejscem na trasie Młynówki z całą pewnością jest plac zabaw, na którym znajduje się statek nawiązujący do roli jaką niegdyś pełnił ten ziemny akwedukt. W sąsiedztwie meandrującej ścieżki znajdziemy wiele ławek. Z kolei świadomość, że spora część parku przebiega w miejscu dawnego koryta rzeki Rudawy, doprowadzającej wodę



Ryc. 9.1. Panel powitalny portalu LIFE URBANGREEN – Krakowskie drzewa i ich zalety, dostępnego pod adresem krakow.lifeurbangreen.eu (również na urządzeniach mobilnych)

aż do Kościoła Dominikanów, sprawia, że spacerując po meandrujących alejkach możemy poczuć się jakbyśmy płynęli po wodzie. Młynówka jest przystosowana zarówno dla pieszych jak i dla rowerzystów oraz rolkarzy. Na całej długości parku znajdują się kameralne enklawy w postaci wysp zieleni, w których szukający oddechu od miejskiego zgiełku znajdą przestrzeń odpowiednią dla siebie. Młynówka jest również niezwykle cenna przyrodniczo. Zachowane zbiorowiska łąkowe stanowią siedlisko wielu rzadkich roślin i zwierząt, które są związane ściśle z tymi cennymi siedliskami. Kilka z drzew zostało Pomnikami Przyrody, co świadczy o ich wyjątkowości. Na całej długości parku znajdują się różnej wielkości wyspy zieleni, które obniżają poziom hałasu, rzucając cień w słoneczne dni, oddzielają użytkowników od ruchu ulicznego i stwarzają przestrzeń bardziej kameralną i intymną. Na całej długości Młynówki znajdziemy kilka placów zabaw, siłownie, kort tenisowy, boiska szkolne czy psi wybieg. Młynówkę można opisać w dwóch słowach: Cisza i spokój. Ulokowana prawie w centrum miasta, naprawdę potrafi przynieść ukojenie od zgiełku."

Skrócone wersje opisów znajdziemy również w języku angielskim, jeżeli wybierze-
my taką opcję w prawym rogu górnego paska menu. Wówczas bez obaw możemy wystać
w teren naszych zagranicznych gości, gdyż informacje te będą przetłumaczone na dowolny
język ustawiony jako domyślny w ich urządzeniu mobilnym i to bez konieczności instalowa-
wania żadnych aplikacji. Wskazane jest jednak wyrażenie przez użytkownika zgody na ko-
rzystanie z lokalizacji urządzenia (ikonka w prawym pasku nawigacji) wtedy bez problemu
spacerowicz odnajdzie się w każdym terenie, nawet odwiedzanym po raz pierwszy.

Wybranie w zakładce „TERENY ZIELENI” dowolnego obiektu, przy czym można wyfil-
trować np. jedynie parki z psimi wybiegami, odsyła automatycznie do szczegółowej mapy,
z zaznaczonymi elementami wyposażenia parku, jak choćby ławki czy toalety. Wprawdzie nie
ma jeszcze możliwości sprawdzenia poprzez portal, czy wybrana ławka jest w danym momen-
cie wolna, to jednak możliwa jest identyfikacja rosnących w jej sąsiedztwie drzew z ustaleniem
ich gatunków i gabarytów włącznie. Może to być istotne dla osób wrażliwych – np. alergików
i wynikać z okresowych uciążliwości związanych na przykład z okresem kwitnienia.

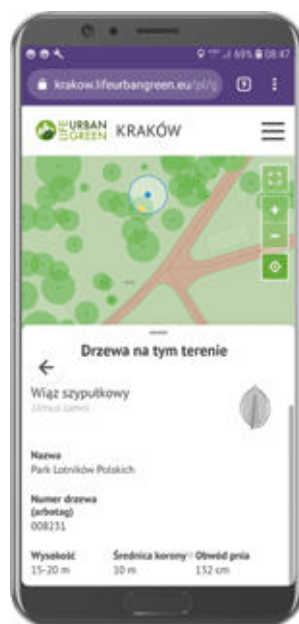
Nawigacja GPS

Dokładna nawigacja GPS pełni również funkcje edukacyjne – umożliwia weryfikację identy-
fikacji rodzajów i gatunków, a nawet odmian drzew i krzewów. W przypadku wątpliwości –
co może się zdarzyć w przypadku drzew rosnących bardzo blisko siebie, pomocne może być
porównanie numeru ArboTag umocowanego na drzewie (Ryc. 2.11 lub zdjęcie na ostatniej
stronie okładki), z numerem oraz nazwami gatunku – naukową i zwyczajową, wyświetlany-
mi na urządzeniu. Utrudnieniem w nauce rozpoznawania drzew i krzewów jest identyfika-
cja gatunków w stanie bezlistnym. Zarządca terenu nie bierze jednak odpowiedzialności za
przebrane zakłady, aczkolwiek w przypadku stwierdzenia niezgodności (błędne oznaczenie
gatunku, choć bardzo rzadko, może się zdarzyć) warto przesłać zgłoszenie, najlepiej wraz ze
„zrzutem ekranu” lub/i numerem ArboTag na adres sekretariatu Zarządu Zieleni Miejskiej
w Krakowie, co pozwoli na szybką weryfikację i skorygowanie danych w bazie GreenSpaces,
skąd na bieżąco udostępniane są informacje do portalu dla mieszkańców.

Usługi ekosystemów – od pojedynczych drzew do wybranych parków, zieleńców czy całych kompleksów zieleni

W dobie nasilonych działań mających na celu poprawę warunków życia w mieście, zwłaszcza wobec coraz częściej obserwowanych efektów zmian klimatu, w tym skutków miejskiej wyspy ciepła, dostrzeganie funkcji pełnionych przez zieleń staje się jednym z priorytetowych zagadnień. Projekt LIFE URBANGREEN wychodzi naprzeciw wyzwaniom ujętym przez Kronenberga (2012) w kilku syntetycznych zdaniach: „Choć drzewa dostarczają mieszkańcom miast wielu różnych usług, większość dyskusji z tego zakresu koncentruje się na krótkiej liście korzyści, takich jak: estetyka, cień, regulacja temperatury, oczyszczanie powietrza. Wychwytywanie zanieczyszczeń jest prawdopodobnie najważniejszą z tych korzyści, związaną bezpośrednio ze zdrowiem mieszkańców miast. Jednak również inne, jak zapobieganie powstawaniu tzw. wysp ciepła (miejsca pokryte drzewami i płaszczynami wodnymi mają najniższą średnią temperaturę w strukturze miast i obniżają temperaturę wokół nich), wpływają na warunki życia w mieście. Jednak w praktyce polskich miast zarówno tym, jak i wielu innym usługom świadczonym przez drzewa, nie poświęca się zasłużonej uwagi. W efekcie nie przywiązuje się również należytej wagi do warunków życia drzew w miastach, w tym do stanu gleby umożliwiającej drzewom pobieranie wody i substancji odżywczych, a także do przestrzeni niezbędnej dla ich systemów korzeniowych. Tymczasem dla uzyskania powyższych korzyści (usług), niezbędne są działania dostosowane do potrzeb pielęgnacji roślinności rosnącej w różnych warunkach środowiska miejskiego, co wymaga kosztów, profesjonalnej wiedzy oraz współpracy specjalistów z różnych dziedzin gospodarki miejskiej, udziału lokalnych władz i partycypacji mieszkańców. Bez takich działań korzyści nie zostaną uzyskane”.

To właśnie pogłębieniu takiej współpracy i partycypacji mieszkańców, służyć powinien portal udostępniający zainteresowanym najważniejsze efekty projektu (Kempf, Szwabko 2021). Można się z nimi zapoznać, a jego funkcje przetestować całkowicie bezpłatnie (pomijając koszty łącza internetowego) na wspomnianej już wyżej responsywnej stronie portalu dla mieszkańców pod adresem krakow.lifeurbangreen.eu. W terenie wystarczy tablet lub smartfon (Ryc. 9.2), aby będąc w jednym z krakowskich parków przy określonym drzewie dowiedzieć się, ile to drzewo pochłania dwutlenku węgla w danym dniu (przy określonych warunkach pogodowych) oraz jaką masę tego gazu cieplarnianego usuwa z atmosfery w ciągu całego okresu wegetacyjnego. W podobny sposób można uzyskać informacje o masie pyłu



Ryc. 9.2. Lokalizacja GPS drzewa w Parku Lotników Polskich na urządzeniu mobilnym – wiąz szypułkowy *Ulmus laevis*, Arbo Tag nr 008231 (przewinięcie ekranu pozwoli na odczytanie innych danych, w tym wartości usług ekosystemów świadczonych przez wskazane drzewo w danym dniu oraz w ciągu całego roku)

przechwytywanego przez dane drzewo, czy o oszczędności energii, jaka by musiała zostać wydatkowana na osiągnięcie porównywalnego efektu schładzania powietrza w upalny dzień z wykorzystaniem tradycyjnych urządzeń klimatyzacyjnych (generujących jednocześnie ciepło!). Test można przeprowadzić również „zdalnie”, w domowym zaciszu komputera stacjonarnego.

O satysfakcji z przeprowadzonego testu decyduje kilka dodatkowych warunków – po pierwsze drzewo musiało zostać zinwentaryzowane, a więc oprócz lokalizacji ma ustalony gatunek, obwód na wysokości 1,3 m, średnicę rzutu korony, przedział wysokości drzewa i w miarę możliwości wiek. W terenie drzewa takie wyróżnia obecność etykiety z unikalnym numerem (ArboTag), umocowanej bezpośrednio na korze szpilką arborystyczną, a w przypadku młodszych drzew – opaską u podstawy jednej z gałęzi. Ten numer wyświetlany jest przy informacji o drzewie, obok gatunku i podstawowych parametrów, po wskazaniu punktu na mapie (w terenie odnalezienie drzewa ułatwi nawigacja GPS). Drugim warunkiem,



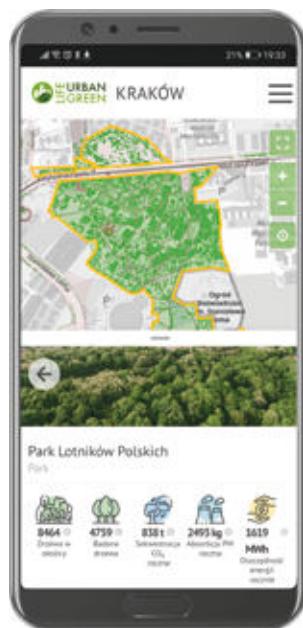
Ryc. 9.3. Dąb Wolności – rosnący przed Collegium Novum Uniwersytetu Jagiellońskiego na Plantach Krakowskich stuletni dąb szypułkowy *Quercus robur* przechwytyuje w ciągu roku ponad 2,5 kg pyłów

istotnym dla zainteresowanych danymi o usługach ekosystemów, jest przynależność drzewa do gatunku objętego badaniami, gdyż w ramach prowadzonego projektu zdołano szczegółowo zbadać w Krakowie 10 wybranych, w tym najliczniej reprezentowanych w zieleni miejskiej gatunków: klon zwyczajny, jesion wyniosły, lipa drobnolistna, dąb szypułkowy, wiąz szypułkowy, kasztanowiec zwyczajny, jarząb pospolity, sosna czarna, topola czarna oraz jeden gatunek krzewu – dereń biały. Dane dotyczące sosny odbiegają od pozostałych, gdyż wąski aparat asymilacyjny (kształt igieł) uniemożliwił zbadanie intensywności procesu asymilacji posiadany urządzeniem i stąd brak danych o pochłanianiu CO₂ i efektu chłodzenia wyrażonego w postaci zaoszczędzonej energii. Trzecim warunkiem, który musi zostać spełniony, to właściwa dla poszczególnych gatunków drzew, faza okresu wegetacyjnego, umożliwiającą zachodzenie procesów fizjologicznych na poziomie istotnym dla wykazania wyższych od zera wartości wybranych usług ekosystemów poszczególnych obszarów, czy też usług świadczonych przez pojedyncze drzewa. W okresie, w którym drzewa są w stanie bezlistnym, względnie na początkowym etapie rozwoju aparatu asymilacyjnego, czy też w czasie zrzucania liści na zimę, osoba zainteresowana będzie mogła się zadowolić odczytaniem poprzez portal jedynie średniorocznych wartości (Ryc. 9.3).


























Czy prezentowane na portalu wyniki można uznać za miarodajne dla innych gatunków lub całych kompleksów zieleni?

Dostępne w portalu zestawienia wyliczeń sumarycznych wyników wybranych usług ekosystemów dla całych parków (Ryc. 9.4), zieleńców lub ciągów ulic, przedstawiają – o czym należy pamiętać – jedynie wyniki dla gatunków objętych badaniami, a przecież rosną tam również inne drzewa, które też pełnią ważne funkcje, dla których przybliżone dane w dużym uproszczeniu można przyjmować poprzez porównywanie drzew o podobnych gabarytach, jednak należących wyłącznie do bardzo blisko spokrewnionych gatunków. Takie bezkrytyczne, daleko idące podejście, bazujące np. wyłącznie na nazwie rodzaju drzewa, byłoby nieuprawnione. Dlatego w zakładce „DRZEWA”, po uaktywnieniu przycisku „+” po prawej stronie opisu gatunku, wyświetlana jest lista uwzględnionych taksonów (rodzaje, gatunki, odmiany), dla których obliczone dane, w oparciu o dotychczasową wiedzę oraz badania przeprowadzone w Krakowie i w Rimini, uznano za wystarczająco reprezentatywne dla oszacowania wartości usług świadczonych w ciągu całego cyklu życia. Tak więc dane generowane dla klonu pospolitego *Acer platanoides* mogą z niewielkim błędem odzwierciedlać rosnący w tych samych warunkach podobnej wielkości jawor *Acer pseudoplatanus*, jednakże nie należy danych tych rozciągać na należący do tego samego rodzaju klon jesionolistny *Acer negundo*. Dla badanej we włoskim Rimini laurowiśni *Prunus laurocerasus* (por. rimini.lifeurbangreen.eu) nie podano gatunków podobnych, a dane dla zimozielonych dębów: ostrolistnego *Quercus ilex* i korkowego *Q. suber* – wyraźnie odbiegały od dębu szypułkowego *Q. robur* – gatunku o wyraźnie większych i nie zimozielonych liściach.

Co ciekawe, analizując prezentowane na obu portalach (Kraków, Rimini) zestawienia korzyści ekosystemowych dla dziesięciu najbardziej reprezentatywnych gatunków w danym mieście (rozszerzonych na wybrane inne taksony), jakie przynoszą należące do nich drzewa w ciągu całego cyklu życia, dostrzec można zarówno duże podobieństwa jak i różnice. Na przykład dąb szypułkowy, podobnie jak niektóre inne dęby, osiąga w obu miastach najwyższą efektywność, uzyskując 28 na 30 możliwych umownych punktów (Ryc. 9.5). Najgorzej, spośród badanych drzew liściastych, prezentuje się w obu miastach topola czarna *Populus nigra*, uzyskując w ciągu całego cyklu życia jedynie 5 na 30 punktów. Natomiast rosnące w Krakowie i Rimini lipy funkcjonują – z punktu widzenia świadczonych usług – odmiennie. Relatywnie niska wartość wybranych usług świadczonych przez lipy



Ryc. 9.4. Zestawienie sumarycznych rocznych wartości usług ekosystemu Parku Lotników Polskich – świadczonych przez badane gatunki drzew

URBAN 5 GREEN KRAKÓW		STRONA GŁÓWNA	LIFE URBANGREEN	DRZEWA	TERENY ZIELENI	SDG	PL
	Lipa drobnolistna <i>Tilia cordata</i>	 7392 Liczba drzew	 6/10 Asymilacja CO ₂	 2/10 Poprawa jakości powietrza	 5/10 Chłodzenie przez transpirację		+
	Dąb szypułkowy <i>Quercus robur</i>	 3885 Liczba drzew	 10/10 Asymilacja CO ₂	 8/10 Poprawa jakości powietrza	 10/10 Chłodzenie przez transpirację		+
	Wiąz szypułkowy <i>Ulmus laevis</i>	 2783 Liczba drzew	 6/10 Asymilacja CO ₂	 7/10 Poprawa jakości powietrza	 6/10 Chłodzenie przez transpirację		+
	Kasztanowiec zwyczajny <i>Aesculus hippocastanum</i>	 1803 Liczba drzew	 5/10 Asymilacja CO ₂	 4/10 Poprawa jakości powietrza	 4/10 Chłodzenie przez transpirację		+
	Jazgąb pospolity <i>Sorbus aucuparia</i>	 711 Liczba drzew	 1/10 Asymilacja CO ₂	 2/10 Poprawa jakości powietrza	 1/10 Chłodzenie przez transpirację		+

Ryc. 9.5. Zestawienie sumarycznych wartości usług ekosystemów zieleni miejskiej Krakowa zapewnianych drzewa w ciągu całego cyklu życia – dane dla wskazanej liczby drzew należących do wybranych gatunków oraz uwzględnionych taksonów pokrewnych (patrz: znak „+” w portalu dla mieszkańców)

w Krakowie wyraża się w liczbie 13 umownych punktów na 30 możliwych, a istotnie wyższą wartością (21 punktów) charakteryzują się lipy w Rimini, przy czym jedynie efektywność lip w pochłanianiu pyłów jest w obu miastach bardzo zbliżona. Tak duża różnica w intensywności procesu fotosyntezy, wyrażona w postaci zasymilowanego CO₂ (z którą silnie skorelowana jest skuteczność schładzania powietrza poprzez ewapotranspirację), może wynikać z odmiennych warunków klimatycznych jak i stopnia przystosowania się do nich badanych roślin, względnie cech fizjologicznych bezpośrednio związanych z danymi gatunkami lub ich mieszancami, a także ich przypuszczalnym pochodzeniem. W Krakowie badana była lipa drobnolistna *Tilia cordata*, a w Rimini lipa holenderska *T. ×europaea* – odmiana powstała ze skrzyżowania lipy drobnolistnej z lipą szerokolistną *T. platyphyllos*. Wyciąganie zbyt daleko idących wniosków z takich porównań wymaga zatem ostrożności.

Uzyskane wyniki i analizy, prowadzone ze świadomością, że na efektywność omawianych usług świadczonych przez drzewa w ciągu całego cyklu życia istotny wpływ ma również, a nawet przede wszystkim, długość tego cyklu (a zatem nie tylko przeciętny wiek drzew osiągany przez poszczególne gatunki w warunkach miejskich, ale także okres jaki upływa od posadzenia drzewa do uzyskania przez nie relatywnie wysokiej efektywności, co może mieć z punktu widzenia usług ekosystemów również dodatkowe znaczenie ekonomiczne), mogą się przekładać na racjonalne projektowanie składu gatunków i odmian drzew do nasadzeń w miastach. Kontynuacja badań nad innymi gatunkami drzew, w różnych miastach, powinna

w przyszłości dostarczyć więcej wskazówek przy podejmowaniu decyzji, których skutki będą obserwowane niekiedy dopiero następane pokolenia. Warto uwzględniać również inne gatunki, o możliwie wysokiej efektywności usług, jednak nie zapominając o zapewnieniu maksymalnej różnorodności i zapewnieniu udziału gatunków cennych biocenotycznie. Nawet mało efektywne, uzyskujące na 30 możliwych zaledwie 3 lub 4 umowne punkty, jak np. jarzab *Sorbus sp.*, czy krzewy takie jak dereń *Cornus sp.* albo ligustr *Ligustrum sp.*, kompensują swoimi cennymi dla zapylaczy kwiatami i wartościowymi dla ptaków owocami, efektywność usług w ramach innych istotnych, chociaż nie ocenianych w projekcie LIFE URBANGREEN funkcji ekosystemów. Jak uczy doświadczenie, jednogatunkowe wielkopowierzchniowe nasadzenia, choćby najlepiej wyselekcjonowanych dębów, kończą się wcześniej czy później katastrofą.

Efektywność usług świadczonych przez drzewa zależy również od lokalnych warunków

Wiek i warunki wzrostu drzewa również odzwierciedlały się w wynikach badań – zdecydowanie lepiej funkcjonowały drzewa w parkach aniżeli w pasach zieleni przyulicznej. Biorąc pod uwagę liczbę zbadanych gatunków i zinwentaryzowanych drzew w różnym wieku, rosnących w rozmaitych warunkach, można się pokusić o szacunkowe ustalenie korzyści płynących z jednego przeciętnego drzewa i takie wartości przyjmować dla szacowania średnich korzyści dla większych, zróżnicowanych terenów. Okazało się bowiem, że każde przeanalizowane drzewo, tak w Krakowie jak i w Rimini, pochłania średnio 1,5 tony CO₂ rocznie, co odpowiada ilości CO₂ wyemitowanej przez samochód o napędzie spalinowym, który przejechał 10 tys. kilometrów. Należy jednak pamiętać o niekorzystnym bilansie dobowym pod koniec okresu wegetacyjnego, kiedy ilość uwalnianego dwutlenku węgla do atmosfery przez drzewo liściaste przewyższa ilość pochłanianą, a proces wydzielania tlenu ustaje całkowicie.

Czy ocena wymiany gazów, sekwestracji węgla i pochłaniania pyłów przez drzewa to jedyne korzyści projektu?

Nowoczesne podręczniki poświęcone drzewom w miastach (Ferrini i in. 2017) coraz więcej miejsca poświęcają usługom ekosystemów i znacznie istotniejszym funkcjom drzew aniżeli tylko estetycznym, wskazując drogi do wzmocnienia i lepszego wykorzystania tych funkcji. W takim kontekście termin leśnictwa miejskiego (Urban Forestry, UF) weryfikuje dotychczasowe sztywne podziały na lasy (w tym również miejskie) w ujęciu encyklopedycznym oraz na zadrzewienia miejskie o warunkach zbliżonych – na ile jest to możliwe – do leśnych, gdyż w takich warunkach drzewa funkcjonują najlepiej. Okres badań okazał się za krótki na jednoznaczną ocenę wpływu wszystkich dodatkowych zabiegów poprawiających warunki życia drzew w mieście, jednakże wstępne obserwacje wskazują, że wyraźnych różnic pomiędzy terenami pilotażowymi, a kontrolnymi można się będzie spodziewać w dopiero w kolejnych okresach wegetacyjnych. Te dodatkowe zabiegi, testowane na powierzchniach pilotażowych odbiegały istotnie od dotychczasowych standardów. Starając się poprawić

warunki życia drzewom, głównie przez melioracje środowiska glebowego, stosowano mulczowanie, podlewanie nawet starszych drzew, a także połączone z mulczowaniem nawietrzanie zagęszczonej gleby wzdłuż dróg, a ponadto wykaszanie traw z pozostawieniem pokosu i nie wygrabianie jesienią liści spod drzew – co nie dotyczyło liści jesionu i kasztanowca, a także przydroży, gdzie pozostawiane liście były wywiewane. Wyników oceniających wpływ stosowanych zabiegów na efektywność pełnionych przez drzewa usług należy oczekiwać w naukowych publikacjach, które się ukażą po zakończeniu projektu.

Literatura

- Ferrini F., Konijnendijk van den Bosch C.C., Fini A. (red.) 2017. Routledge Handbook of Urban Forestry. Routledge, London – New York, 547 pp.
- Kempf P., Szwatko P. 2021. LIFE URBANGREEN a usługi ekosystemowe drzew. Zieleń Miejska. 12/2021: 18–20.
- Kronenberg J. 2012. Usługi ekosystemów w miastach. [W:] Bergier T., Kronenberg J. (red.). Przyroda w mieście. Usługi ekosystemów - niewykorzystany potencjał miast. Zrównoważony Rozwój – Zastosowania, nr 3, Fundacja Sendzimira, Kraków: 14–28.

The public portal 'Trees of Krakow and their benefits' allows citizens to search for detailed information on green areas shown on the map, and find botanical descriptions of common species analyzed within the project and their environmental benefits. The portal presents the main benefits of urban trees (CO₂ assimilation, air quality improvement and temperature cooling through leaf transpiration) from a selected location within the year and on a given day. This information is available also for each individual tree included in the project. GPS navigation helps find and identify the tree in the field. A rating on a scale of 1 to 10 is given to all studied tree species (including closely related taxa) according to their performance in relation to ecosystem benefits over their lifespan. The research showed that among the 10 species selected in terms of the effectiveness of all assessed ecosystem services, the pedunculate oak *Quercus robur* ranked the highest in both cities. The ranking of other species can be consulted on the constantly updated portal, where the presented data is gathered directly from the GreenSpaces platform.

Drzewa siedliskami chronionych i zagrożonych gatunków

Trees as habitats for protected and endangered species

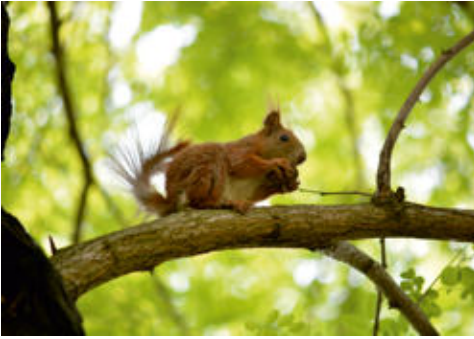
Łukasz Mielczarek, Przemysław Szwatko

Drzewo wraz ze wzrostem i upływem czasu, z uwagi na działanie czynników abiotycznych, biotycznych oraz indywidualne cechy gatunkowe i osobnicze, staje się miejscem występowania licznych mikrosiedlisk (Speight 1989). Regułą jest, że im drzewo grubsze i starsze, tym w obrębie tego wielkiego organizmu występuje więcej siedlisk gatunków, a sam proces ich powstawania (i zaniku) jest ciągły i trwa jeszcze bardzo długo po śmierci drzewa. Platforma GreenSpaces jako narzędzie GIS daje możliwość inwentaryzacji siedlisk oraz gatunków, ściśle powiązanie dokumentacji przyrodniczej z konkretnym miejscem. Narzędzie to zwiększa możliwości prowadzenia skutecznych działań ochrony przyrody, szczególnie w perspektywie planowanych prac na drzewach.

Mikrosiedliska i tworzące je gatunki związane z drzewami na terenie Krakowa to swoiste cegiełki budujące miejską bioróżnorodność. Ze względu na ich mnogość rozdział ten będzie prezentacją kilku wybranych.

Korona drzew

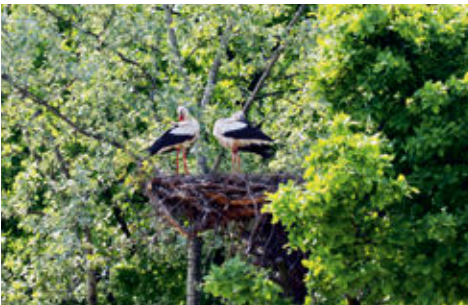
Tutaj zachodzą główne procesy życiowe drzewa, a liście tworzą powierzchniowo największy organ, który może zostać wykorzystany przez ogromną różnorodność organizmów. Liście, soczyste pędy, kwiaty oraz owoce stanowią najbardziej atrakcyjny pokarm dla zwierząt. W związku z tym są zgryzane, minowane, wysysane, lizane, tworzone są z nich schronienia, wyrosła oraz gniazda, a na ich nasłonecznionej powierzchni odbywają się gody. Obecność mszyc sprawia, że jest to często obfite źródło wysokoenergetycznych cukrów, nawet poza okresem kwitnienia. W przypadku drzew owocowych dodatkową rolę pełnią nektarniki pozakwiatowe występujące na liściach. Są to gruczoły wydzielające cukier. Korona to zdecydowanie najbardziej tętniąca życiem część drzewa, jednak ze względu na jej niedostępność wyjątkowo trudna do obserwacji. W Europie ta część dojrzałego drzewa może być miejscem występowania w jednym momencie setek gatunków i nawet kilku tysięcy osobników owadów (Thunes i in. 2021). Znaczna część gatunków korzystających z korony drzewa, związana jest ściśle również z innymi jego mikrosiedliskami, co przy ich dobrym funkcjonowaniu znacząco wpływa na kształtowanie całkowitej bioróżnorodności związanej z drzewami. Spośród



Ryc. 10.1. Wiewiórka pospolita *Sciurus vulgaris* na robinii akacjowej



Ryc. 10.2. Rzekotka drzewna *Hyla arborea* na jałowcu *Juniperus* sp., rosnącym przy ul. Wielogórskiej

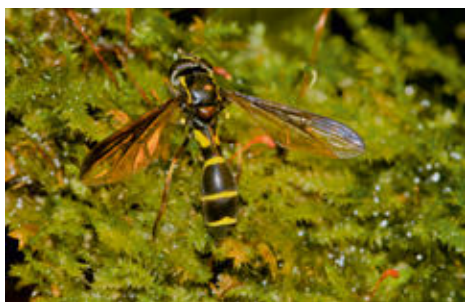


Ryc. 10.3. Para bocianów białych *Ciconia ciconia* na gnieździe, dąb, ul. Wróbela

kęgowców występujących w Krakowie przez cały rok można obserwować wiewiórkę pospolitą (Ryc. 10.1). Występuje tutaj też rzekotka drzewna *Hyla arborea* (Ryc. 10.2), która pomimo antropopresji jest nadal spotykana w kilku miejscach w mieście. Korona drzew to również naturalne miejsce gniazdowania bociana (Ryc. 10.3).

Strefa korzeni

Korzenie, podobnie jak liście, tworzą bardzo istotną część drzewa, która wchodzi najczęściej w ścisłe relacje z grzybami np. borowikami czy truflami. Grzyby z kolei stanowią świetny pokarm dla zwierząt, z których wiele jest wyspecjalizowanych w ich zjadaniu. W warunkach miejskich na mulczu w strefie korzeniowej można spotkać chronione gatunki smardzy (Ryc. 10.4). W podziemnej części drzewa mogą występować mszyce korzeniowe oraz ich wyspecjalizowani drapieżcy (Ryc. 10.5), jak w przypadku zagrożonego bzyga *Doros profuges* (Palaczyk i in. 2002). Ochronę przed drapieżcami mszyc stanowią mrówki, które otrzymują w zamian słodką spadź. Drobne jak i grubsze korzenie zjadane są przez różnorodne bezkręgowce, jak i wyspecjalizowane grzyby np. wachlarzowiec olbrzymi *Meripilus giganteus*. Do osobliwości występujących w strefie korzeni należy kuzenica dębowa *Biorhiza pallida*, tworząca wyrośla na korzeniach u podstawy pnia dębu, okresowo również na wierzchołkach pędów.



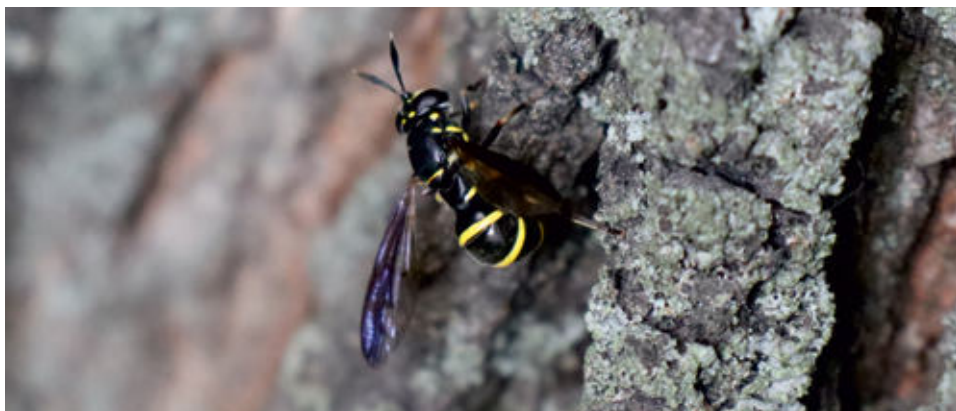
Ryc. 10.5. Bzyg *Doros profuges* stwierdzony w zadrzewieniu przy Łąkach Nowohuckich, przypuszczalnie związany z mszycami korzeniowymi i kartonówką zwyczajną *Lasius fuliginosus*



Ryc. 10.4. Smardz stożkowaty *Morchella conica*, ul. Wielogórska

Wycieki soku

Powstają najczęściej w wyniku mechanicznych urazów rośliny lub często w wyniku żerowania gąsienic motyla trociniarki czerwicy *Cossus cossus*. Słodka wydzielina sącząca się z tkanek drzewa wabi mnóstwo owadów. Szczególnie często do wycieku soków wabione są łatwe w obserwacji motyle czy szerszenie. Mikrosiedlisko to stanowi jednak miejsce rozwoju dla dziesiątek gatunków owadów, jak i innych bezkręgowców, których to larwy filtrują mikroorganizmy w samym wycieku lub polują w tym miejscu. Do wyspecjalizowanych w żerowaniu w wyciekach soku należy chrząszcz skałubnik *Nosodendron fasciculare* oraz liczne bzygowate jak *Sphiximorpha subsessilis* (Ryc. 10.6), wymieniana na Czerwonej Liście Zwierząt (Palaczyk i in. 2002).



Ryc. 10.6. *Sphiximorpha subsessilis* podczas składania jaja, gatunek ściśle związany z wyciekami soku



Ryc. 10.7. Buk w Parku Lotników Polskich zachowany ze względu na występowanie hubowca osowatego *Keroplatus tipuloides*



Ryc. 10.8. Larwy hubowca osowatego *Keroplatus tipuloides* na hymenoforze hubiaka pospolitego

Inonotus obliquus. W Krakowie najbardziej okazałe drzewa, również te martwe, są siedliskiem jeszcze dwóch innych chronionych nadrzewnych grzybów – ozorka dębowego *Fistulina hepatica* (Ryc. 10.10) oraz soplówki bukowej *Hericium coralloides* (Ryc. 10.24).

Owocniki grzybów nadrzewnych (huby)

Są to często wyjątkowo trwałe owocniki, mogące tworzyć się i utrzymywać na drzewie przez wiele lat. Do wyjątkowo okazałych należą te tworzone przez hubiaka pospolitego (Ryc. 10.7) – znanego również jako agresywnego pasożyta drzew. Jeszcze żywe owocniki hubiaka stanowią schronienie oraz miejsce żerowania wielu gatunków owadów, które odżywiają się wysypującymi się zarodnikami bądź odbywają na jego powierzchni gody. Do wyjątkowych osobliwości związanych z hubami w Krakowie (Mielczarek 2021) należy hubowiec osowaty *Kerpolatus tipuloides*. Jego podobne do ślimaków larwy wytwarzają na spodniej stronie owocnika śluzowaty oprzęd (Ryc. 10.8), a postaci doskonałe z wyglądu i zachowania przypominają osy (Ryc. 10.9). Poza Krakowem gatunek ten znany jest z Polski z zaledwie kilku stanowisk o tzw. puszczańskim charakterze i z tego powodu został umieszczony w Polskiej Czerwonej Księdze Zwierząt (Mikołajczyk 2004). Gatunki związane z hubami w mieście zagrożone są w wyniku całkowitego usuwania drzew z owocnikami grzybów oraz w wyniku ich niszczenia przez wandalów. Nie tylko huby są chętnie wykorzystywane przez inne organizmy. Grzyby przyczyniają się również do powstawania zrakowaciastych tkanek, które mogą być zasiedlane przez przezierniki. Do takich osobliwości należą tkanki odsłonięte przez owocnik chronionego błyskoporka podkorowego



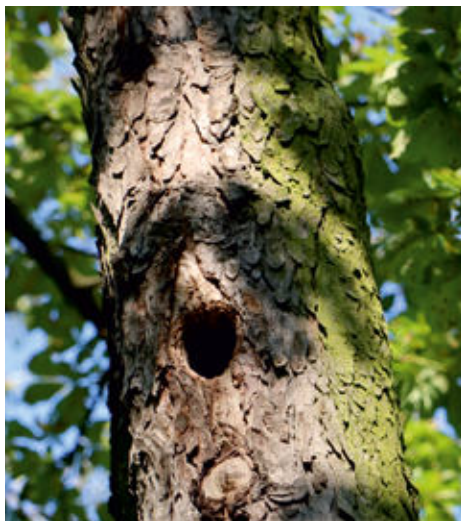
Ryc. 10.9. Hubowiec osowaty *Keroplatus tipuloides* na brzegu owocnika hubiaka *Fomes fomentarius*



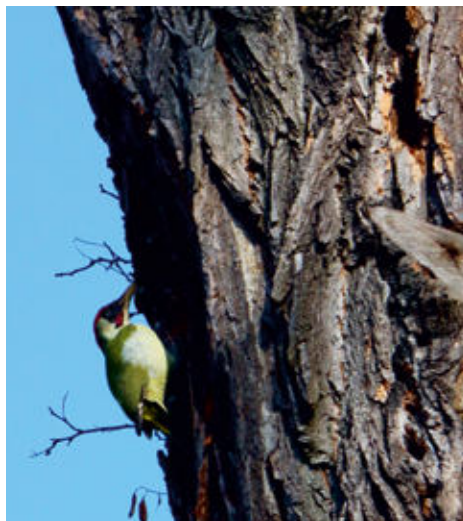
Ryc. 10.10. Owocnik ozorka dębowego *Fistulina hepatica* na pomnikowym dębie w Parku im. Anny i Erazma Jerzmanowskich

Dziuple dzięciołów

Najczęściej kute są przez dzięcioły w tych częściach drzewa, które zostały wcześniej osłabione rozkładem powodowanym przez grzyby (Ryc. 10.11). Dziuple te zasiedlane są nie tylko przez dzięcioły (Ryc. 10.12), lecz także przez wiele innych ptaków określanych jako dziuplaki wtórne (Ryc. 10.13). Towarzyszą im liczne owady, które w substracie ptasich gniazd, znajdują optymalne warunki rozwoju (np. śmietka *Fannia vespertilionis*). Z czasem dziuple wykute



Ryc. 10.11. Dziupła wykuta w kasztanowcu przez dzięcioła zielonego *Picus viridis*



Ryc. 10.12. Dzięcioł zielony *Picus viridis* na robinii akacyjowej – przykład dziuplaka pierwotnego

przez dzięcioły, na skutek postępującego rozkładu drewna oraz aktywności zasiedlających je organizmów, mogą ulegać znacznemu powiększeniu i przekształcać się w rozległe dziuple kominowe. Takie chętnie zasiedlane są przez kawki, które powodują powstawanie kolejnych mikrosiedlisk, a ich wieloletnie gniazda mogą obejmować nawet kilka metrów pnia drzewa. Dziuple zasiedlane są również przez szerszenie *Vespa crabro*, margę szerszeniówkę *Quedius dilatatus* (Ryc. 10.14) oraz pszczołę miodną *Apis mellifera*. Ponadto dziuple wykute przez dzięcioły wykorzystywane są chętnie przez nietoperze, szczególnie borowce wielkie *Nyctalus noctula*, które świetnie przystosowały się do warunków życia w mieście. Zasiedlają one dziuple przez okres całego roku i przy wyjątkowo sprzyjających warunkach, mogą tam tworzyć stosunkowo liczne kolonie.



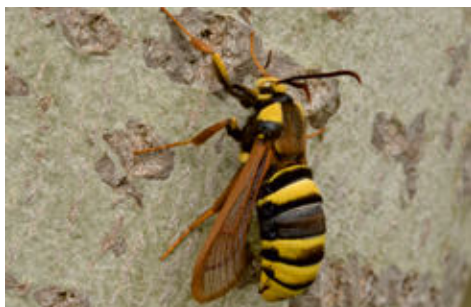
Ryc. 10.13. Kowalik *Sitta europaea* – przykład dziuplaka wtórnego



Ryc. 10.14. Marga szerszeniówka *Quedius dilatatus* – chroniony kusak ściśle związany z gniazdami szerszeni w dziuplach

Żerowiska owadów

Niektóre owady potrafią wyjątkowo silnie przekształcać na swoje potrzeby struktury drewna. Najczęściej liczne chodniki owadzie powstają już w drewnie wstępnie rozłożonym przez grzyby i w taki sposób działa większość nadrzewnych mrówek np. gmachówka *Camponotus fallax*. Znacznie rzadziej można obserwować uszkodzenia powstające w żywych tkankach powodowane przez motyle – trociniarkę czerwicę *Cossus cossus*, przeziernika osowca *Sesia apiformis* (Ryc. 10.15), czy chrząszcze z rodziny kózkowatych. Owadzie korytarze (Ryc. 10.16) są chętnie zasiedlane przez samotne pszczoły np. z rodzaju murarka *Osmia* sp., grzebacz (Crabronidae), a w przypadku dużych żerowisk nawet przez kruszczykowate czy chronione zadrzechnie (*Xylocopa* sp.).



Ryc. 10.15. Przeziernik osowiec *Sesia apiformis* – motyl, którego larwy rozwijają się w drewnie



Ryc. 10.16. Żerowiska kambioksylofagów oraz płyty odstającej kory na wierzbie, ul. Nowohucka

Dziuple z próchnowiskiem

Jest to grupa różnorodnych mikrosiedlisk, której cechą charakterystyczną jest występowanie mniejszych lub większych pokładów ziemistego substratu, powstałego w trakcie rozkładu przyległego drewna oraz żerowania owadów. Zgrupowania organizmów zasiedlających te mikrosiedliska ulegają w czasie powolnym zmianom zależnym od rodzaju postępującego rozkładu drewna, zmian wilgotności, temperatury, jak i zasiedlenia przez pewne kluczowe gatunki np. żółciaka siarkowego *Laetiporus sulphureus* (ryc. 10.17), który powoduje brunatny typ rozkładu drewna. W tej grupie mikrosiedlisk znajdują się próchnowiska będące siedliskiem chronionej pachnicy dębowej *Osmoderma eremita* (s.l.) (Ryc. 10.18, 10.19) oraz jej drapieźcy – tęgosza rdzawego *Elater ferrugineus* (Ryc. 10.20). Pachnica dębowa oraz jej siedliska należą do niewielu przykładów owadów chronionych na mocy Dyrektywy Siedliskowej UE. W próchnowiskach tych jednak występuje znacznie więcej gatunków bezkręgowców – od pospolitego drzeworodka czarnego *Prionychus ater*, po takie rzadkości jak chroniona kwietnica okazała *Protaetia speciosissima*, której występowania w Krakowie dotychczas nie stwierdzono.



Ryc. 10.17. Owocnik żółciaka siarkowego *Laetiporus sulphureus* – istotny gatunek dla rozwoju siedlisk chronionych gatunków owadów



Ryc. 10.18. Pachnica dębowa *Osmoderma eremita* (s.l.) na pniu wiązu szypułkowego



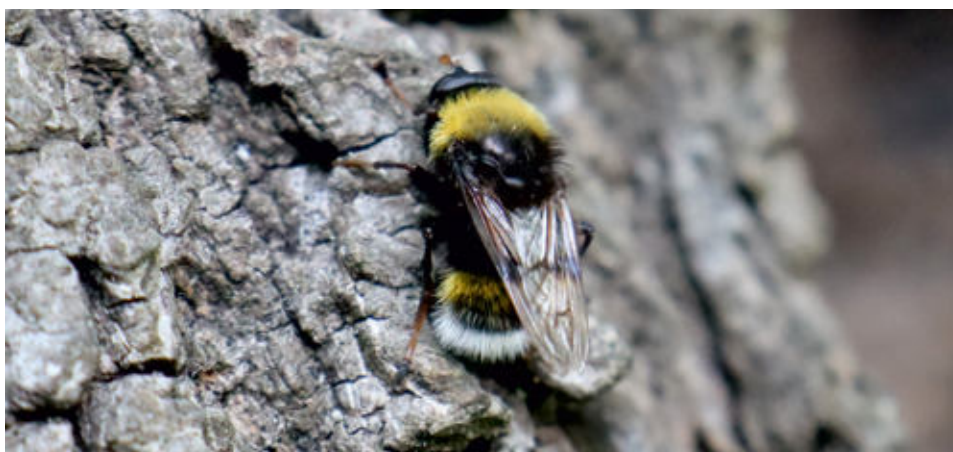
Ryc. 10.19. Larwa (widoczne zakończenie odwłoka), ekskrementy oraz jajo pachnicy dębowej w próchnowisku, Park Rzeczný Ogrody Płaszów



Ryc. 10.20. Larwa tęgosza rdzawego *Elater ferrugineus* znaleziona w Parku im. Anny i Erazma Jerzmanowskich

Dendrotelm, dziuple wypełnione wodą

Są to zagłębienia powstające w miejscach połączenia się konarów, nabiegach korzeniowych, w kieszeniach pod korą drzew lub wypróchnieniach w głębi pnia drzewa. Warunkiem powstawania dendrotelmu jest dostęp wody deszczowej, która może stale lub przez wiele tygodni wypełniać dno zagłębienia. Woda wypełnia często dendrotelm nawet pomimo wielotygodniowych okresów suszy, kiedy większość naziemnych zbiorników wysycha. W okresach tych łatwo dostępne dendrotelmy stanowią źródło wody dla owadów oraz ptaków. W tego typu dziuplach, ze względu na często beztlenowe warunki, występować mogą tylko wyspecjalizowane gatunki bezkręgowców np. *Prionocyphon serricornis*, kwiatówka zmierzchnicowata *Myathropa florea* czy zdecydowanie rzadszy bzyg *Callicera aenea*. Do ciekawych owadów zasiedlających to mikrosiedlisko w Krakowie należy pokota osobliwa *Pocota personata* (Ryc. 10.21), figurująca w Polskiej Czerwonej Księdze Zwierząt (Soszyński 2004). Larwy tych owadów odżywiają się mikroorganizmami, które rozwijają się w beztlenowych warunkach na dnie dendrotelmu.



Ryc. 10.21. Pokota osobliwa *Pocota personata* na klonie w Parku Decjusza

Strefa podkorowa

Mikrosiedlisko to staje się szczególnie istotne w chwili śmierci drzewa lub jego części. Początkowo jeszcze silnie przylegającą korę oraz znajdujące się przy niej kambium zasiedlają głównie muchówki oraz drapieżne chrząszcze, jak np. skrócik *Hololepta plana* (Ryc. 10.22). Jest to również siedlisko dwóch zagrożonych gatunków (Pawłowski i in. 2002), zgniotka cynobrowego *Cucujus cinnaberinus* oraz szkarłatnego *C. haematodes*. Tych dwóch gatunków wprawdzie z Krakowa nie wykazano, jednak występowanie (zwłaszcza pierwszego z wymienionych) jest tu prawdopodobne. Stopniowo, wraz z postępującym rozkładem tyka, kora staje się luźniejsza i słabiej przylegająca, tworząc środowisko dla bezkręgowców o większych rozmiarach. Często jest to miejsce zimowania chrząszczy z rodzaju biegacz *Carabus*, w tym chronionego biegacza Ulricha *Carabus ulrichii* (Ryc. 10.23). Z czasem wraz z postępującym przesuszeniem, środowisko to ulega systematycznej i stosunkowo szybkiej sukcesji



Ryc. 10.22. Skrócik *Hololepta plana* pod korą topoli, Park Lotników Polskich



Ryc. 10.23. Portret biegacza Ulricha *Carabus ulrichii*

zgrupowań wielu gatunków zwierząt. W końcowym jej etapie pod korą tworzą się rozległe puste przestrzenie, które wykorzystywane są jako schronienie i miejsca gniazdowania kręgowców, szczególnie nietoperzy oraz ptaków.

Martwe drewno

Są to martwe tkanki drzewa, które mogą być miejscem występowania wielu mikrosiedlisk. Jest więc to termin bardzo ogólny, w tym miejscu użyty jako określenie stanu drewna, które nie służy już do przewodzenia wody oraz jako podpora żywego drzewa. Jest to substrat, cechujący się bardzo dużym zróżnicowaniem właściwości wynikających m.in. z cech gatunku, który wytwarzał drewno, jego objętości, wilgotności, położenia, wieku, czy kluczowych gatunków grzybów powodujących rozkład. Do osobliwości występujących w martwym drewnie w Krakowie należy grzyb soplówka bukowa *Hericium coralloides* (Ryc. 10.24).



Ryc. 10.24. Soplówka bukowa *Hericium coralloides* w zabytkowym parku przy Dworku Jana Matejki

W ekosystemach leśnych o charakterze naturalnym martwe drewno jest bardzo powszechne i niezbędne dla ich prawidłowego funkcjonowania. Szczególnie to leżące, w wielu przypadkach, stanowi podłoże umożliwiające wzrost siewek młodych drzew powyżej otaczającej roślinności zielnej. W zieleni miejskiej Krakowa, szczególnie w parkach, tworzone są



Ryc.10.25. Martwe jarząby pospolite *Sorbus aucuparia* pozostawione w Parku Lotników Polskich

ekostrefy, gdzie celowo pozostawiane jest martwe drewno w celu wspierania bioróżnorodności (Ryc. 10.25). Działania te systematycznie cieszą się coraz większą akceptacją wśród mieszkańców.

Literatura

- Mielczarek Ł. 2021. *Keroplatus tipuloides* oraz *Xylomyia maculata* w terenach zieleni Krakowa. Materiały Konferencyjne. XIII Konferencja Dipterologiczna Polskiego Towarzystwa Entomologicznego „Biologia i systematyka muchówek”. Materiały Konferencyjne. Złoty Potok, p. 17.
- Mikołajczyk W. 2004. *Keroplatus tipuloides* Bosc, 1792 – Hubowiec osowaty. [W:] Głowaciński Z., Nowacki J. (red.). Polska czerwona księga zwierząt. Bezkręgowce. Instytut Ochrony Przyrody PAN, Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego, pp.: 314–315.
- Palaczyk A., Soszyński B., Klasa A., Bystrowski C., Mikołajczyk W., Krzemiński W. 2002. [W:] Głowaciński Z. (red.). Czerwona lista zwierząt ginących i zagrożonych w Polsce. Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków, pp.: 38–44.
- Pawłowski J., Kubisz D., Mazur M. 2002. Coleoptera Chrząszcze. [W:] Z. Głowaciński (red.). Czerwona Lista Zwierząt Ginących i Zagrożonych w Polsce. IOP PAN, Kraków: 88–110.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 grudnia 2016 r. w sprawie ochrony gatunkowej zwierząt. Dz. U. poz. 2183, ze zm.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 października 2014 r. w sprawie ochrony gatunkowej grzybów. Dz. U. poz. 1408.

Soszyński B. 2004. *Brachymyia floccosa* (Meigen, 1822), *Caliprobola speciosa* (Rossi, 1790), *Criorhina pachymera* Egger, 1858, *Pocota personata* (Harris, 1780), *Sphecomyia vittata* (Wiedemann, 1830). [W:] Głowaciński Z., Nowacki J. (red.). Polska czerwona księga zwierząt. Bezkręgowce. Instytut Ochrony Przyrody PAN, Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego, pp.: 302–308.

Speight M. C. D. 1989. Saproxilic invertebrates and their conservation. Nature and environment. Council of Europe. Strasbourg.

Thunes K.H., Søli G.E.E., Thuróczy C., Fjellberg A., Olberg S., Roth S.; Coulianos C.-C., Disney R.H.L., Starý J., Vierbergen G., Jonassen T., Anonby J., Köhler A., Menzel F., Szadziewski R., Stur E., Adaschkewitz W., Olsen K.M., Kvamme T., Endrestøl A., Podenas S., Kobro S., Hansen L.O., Kvitte G.M., Haenni J.-P., Boumans L. 2021. The Arthropod Fauna of Oak (*Quercus* spp., Fagaceae) Canopies in Norway. *Diversity* 13, 332. <https://doi.org/10.3390/d13070332>.

Over time numerous species habitats are formed in trees, especially in those of large diameters and great heights. This process of creating microhabitats (and of their disappearance) is ongoing and continues for a long time after a tree dies. Tree-related microhabitats and the species living in them foster biodiversity in the city.

The GreenSpaces platform based on GIS technology, as a tool used for biodiversity inventory, offers the possibility to link endangered species and microhabitats to a specific place and a tree. The article deals only with selected examples of rich biodiversity of the city. One of them is hermit beetle. Both the species and its habitat are protected under the EU Habitats Directive.

Obce gatunki drzew oraz niepożądani goście w mieście

Alien tree species and unwanted guests in the city

Przemysław Szwafko, Łukasz Mielczarek

Inwazje obcych gatunków organizmów są jednym z najistotniejszych problemów przyrodniczych współczesnych czasów (Kadej i in. 2019). Proces ten wynika w dużej mierze z nasilającego się procesu globalizacji. Rozwój transportu sprawił, że odległe obszary lądowe czy wodne może dzielić obecnie już tylko kilka godzin lotu samolotem. Sytuacji nie poprawia handel roślinami ozdobnymi oraz zwierzętami, gdzie wśród ofert bardzo często dominują gatunki obce, a rodzime są coraz trudniej dostępne. Organizmy te, na nowym obszarze, ze względu na brak wyspecjalizowanych roślinożerców, drapieżców lub korzystniejszy klimat, w krótkim czasie ulegają zadomowieniu. Wielu nowych przybyszów to gatunki podążające za wcześniej sprowadzonymi gatunkami roślin, a ich obecność jest szczególnie widoczna na roślinach ozdobnych. Próby ograniczenia wpływu gatunków obcych na rodzime ekosystemy znajdują odzwierciedlenie w regulacjach prawnych jak *Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody*; *Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1143/2014 z dnia 22 października 2014 r. w sprawie działań zapobiegawczych i zaradczych w odniesieniu do wprowadzania i rozprzestrzeniania inwazyjnych gatunków obcych*; *Ustawa o gatunkach obcych z dnia 11 sierpnia 2021 r.* Dotychczas na dużą skalę prowadzono kosztowne zwalczanie barszczy kaukaskich, które stanowią duże zagrożenie dla zdrowia człowieka. Obce i inwazyjne gatunki drzew są jednak w krajowych i europejskich regulacjach prawnych uwzględnione w bardzo ograniczonym stopniu i tylko jeden gatunek – bożodrzew gruczołowaty *Ailanthus altissima* (Ryc. 11.1) – uznany został za inwazyjny (*Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2011 r. w sprawie listy roślin i zwierząt gatunków obcych, które w przypadku uwolnienia do środowiska przyrodniczego mogą zagrozić gatunkom rodzimym lub siedliskom przyrodniczym*). Niestety również opinia publiczna podejmuje temat gatunków obcych i inwazyjnych w sposób bardzo wybiórczy, najczęściej w sytuacji, kiedy dochodzi do dużych zniszczeń popularnych roślin ozdobnych lub przy próbach przypisania przybyszom zdolności atakowania człowieka. W związku z tym w społecznej świadomości funkcjonują tylko nieliczne przykłady zniszczeń powodowanych przez najeźdźców z odległych obszarów np. przez ćmę – cydalimę bukszpanową *Cydalima perspectalis* (Ryc. 11.2) na bukszpanie czy szrotówka kasztanowcowiaczka *Cameraria ohridella* (Ryc. 11.3) na kasztanowcu białym. W mediach jednak niemal



Ryc. 11.1. Bożodrzew gruczołowy *Ailanthus altissima* wkraczający na łąki Nowohuckie



Ryc. 11.2. Gąsienica cydalimy bukszpanowej *Cydalima perspectalis* na bukszpanie

brak informacji o przyczynach masowych pojawów owadów i często obcym pochodzeniu poszkodowanych roślin. Pochopnie podejmowane decyzje zapobiegawcze jak np. stosowanie środków ochrony roślin, prowadzą najczęściej do zwiększenia szkód środowiskowych. Co więcej wiele gatunków obcych jest już trwałym elementem naszego krajobrazu przyrodniczego. Gatunki obce są tak powszechne, że nawet mało kto zauważa, że liście dębu widniejące na polskich monetach odzwierciedlają obcy i inwazyjny gatunek, dąb czerwony *Quercus rubra* (Ryc. 11.4), rodzimy dla Ameryki Północnej.

Jak pokazują dane zgromadzone na platformie GreenSpaces, do najczęstszych obcych drzew występujących w terenach zieleni w Krakowie należą, zaczynając od najliczniejszych: robinia akacja *Robinia pseudoacacia*, klon jesionolistny *Acer negundo*, kasztanowiec biały *Aesculus hippocastanum*, orzech włoski *Juglans regia*, obce topole *Populus* spp., jesion pensylwański *Fraxinus pennsylvanica*, czeremcha amerykańska *Prunus serotina*, klon srebrzysty *Acer saccharinum*, platany *Platanus* spp. i dąb czerwony *Quercus rubra*.



Ryc. 11.3. Miny szrotówka kasztanowcowiaczka oraz objawy brunatnienia liści kasztanowca



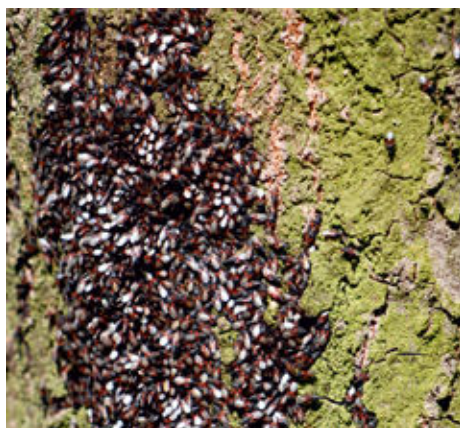
Ryc. 11.4. Liście pochodzącego z Ameryki Północnej dębu czerwonego *Quercus rubra* na drzewie oraz na polskich monetach

Kasztanowiec biały *Aesculus hippocastanum*

Pochodzi z Bałkanów, jest to gatunek obcego pochodzenia, jednak nie jest inwazyjny. Należy do popularnych drzew sadzonych na terenach zieleni. Od ponad 20 lat na kasztanowcach obserwowane są masowe pojawy motyla szrotówka kasztanowcowiaczka *Cameraria ohridella*. Motyl ten istotnie obniża walory ozdobne kasztanowców, powodując przedwczesne przebarwienie i opadanie liści. Ciekawostką jest, że masowym uszkodzeniom od szrotówka kasztanowcowiaczka nie podlegają naturalne drzewostany kasztanowca występujące na Bałkanach, a stanowiska położone na dużych wysokościach są całkiem od niego wolne (Walas i in. 2018). Obserwacja ta może wskazywać, że zwiększona podatność kasztanowców na szrotówka w terenach zieleni może wynikać z bardzo niewielkiego zróżnicowania genetycznego drzew w porównaniu z populacjami naturalnymi lub braku istotnych organizmów ograniczających liczebność szrotówka. Przypuszcza się, że w przypadku kasztanowców rosnących w Europie Środkowej, istotnym problemem w ograniczaniu liczebności motyla są różnice w wiosennym okresie pojawu stadiów rozwojowych motyla i jego owadzych pasożytów (Tarwacki i in. 2012). Wspecjalizowane pasożyty pojawiają się w sezonie znacznie później aniżeli same motyle i ich gąsienice. Podobny wpływ na kasztanowce wywiera pochodzący z Ameryki Północnej grzyb *Guignardia aesculi* powodujący chorobę – brunatnienie liści kasztanowca (Ryc. 11.3). W Krakowie liczebność obcych gatunków zasiedlających kasztanowce ograniczana jest obecnie najskuteczniej poprzez usuwanie opadłych liści kasztanowca.

Lipa *Tilia* spp.

Oprócz dwóch rodzimych gatunków – lipy drobnolistnej i szerokolistnej – w zieleni miejskiej spotykane są również gatunki obce lub ich mieszańce np. lipa srebrzysta. Same lipy nie są inwazyjne, jednak w ostatnich latach są intensywnie zasiedlane przez dwa obce gatunki owadów – pluskwiaka skupieńca lipowego *Oxycarenus lavataerae*, stwierdzonego w naszym kraju stosunkowo niedawno (Hebda, Olbrycht 2016) oraz motyla tworzącego miny (żerowiska) na liściach – szrotówka lipowiaczka *Phylonorycter issiki*. Oba z wymienionych gatunków owadów pojawiają się na lipach masowo, a w przypadku skupieńca lipowego jest to wręcz jego cechą charakterystyczną (Ryc. 11.5). Szrotówek lipowiaczek, notowany w Polsce od przełomu stuleci, zasiedla u nas wymienione wyżej rodzime gatunki lip znacznie częściej, aniżeli lipę srebrzystą *Tilia tomentosa* czy krymską *T. × euchlora* (Jaworski 2009).



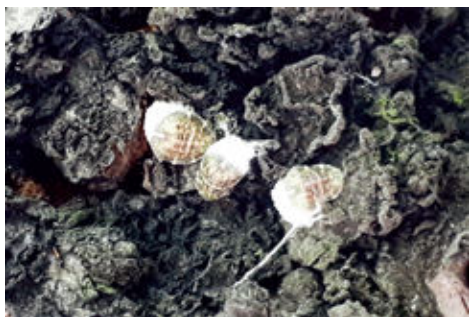
Ryc. 11.5. Agregacja skupieńca lipowego *Oxycarenus lavataerae* na pniu lipy w Parku Lotników Polskich

Morwa biała *Morus alba*

Gatunek, chętnie wprowadzany w Krakowie w czasach świetności Twierdzy Kraków. Morwę sadzono w pobliżu fortyfikacji jako zaplecze pokarmowe dla gąsienic hodowanego jedwabnika morwowego. Był więc to gatunek o strategicznym znaczeniu dla wojska. Sama morwa obecnie nie jest gatunkiem powodującymi problemy, a jej kwiaty i wartościowe owoce stanowią bazę pokarmową dla owadów oraz ptaków. Z morwą związany jest jednak bardzo inwazyjny gatunek czerwca – przylepnica morwowa *Pulvinaria kuwacola* (= *P. hydrangeae*) (Ryc. 11.6). Przylepnica ta pochodzi prawdopodobnie ze wschodnich części Azji, skąd została zawleczona do Nowej Zelandii, Europy oraz Ameryki Północnej. Owad ten, mimo że nie posiada skrzydeł, jest bardzo łatwo przenoszony na nowe tereny z roślinami żywicielskimi. Znalezienie go w czerwcu 2016 roku na krzewach hortensji w jednym z ogrodów na krakowskich Dębnikach było podstawą do wykazania nowego gatunku dla krajowej entomofauny (Jankowska, Wojciechowicz-Żytko



Ryc. 11.6. Złóża jaj przylepnic morwowej *Pulvinaria kuwacola* na morwie białej rosnącej przy ul. J. Lea – na spodniej stronie gałęzi (po lewej) i liścia (widoczne również liczne nimfy, po prawej)



Ryc. 11.7. Złóża jaj przylepnic królewskiej *Pulvinaria regalis* na lipie drobnolistnej, Planty Krakowskie

2017). Wartość doniesienia była jednak podawana w wątpliwość (Łągowska 2020), i chociaż na potwierdzenie występowania w Krakowie pozwoliły obserwacje prowadzone przez autorów w latach 2018–2021 na kilku stanowiskach i kilkunastu gatunkach roślin, to charakterystyczne złoża jaj dostrzeżono na zdjęciach liści jaworu *Acer pseudoplatanus*, wykonanych w Lesie Witkowskim już w 2005 roku. Przylepnica morwowa jest gatunkiem wybitnie polifagicznym, zdolnym do występowania na większości gatunków drzew liściastych występujących w Krakowie. Przylepnicę to typowe owady ssące, często występują masowo, co może być poważnym obciążeniem drzew jak i istotnie obniżyć ich walory ozdobne. Oprócz *P. kuwacola* masowe pojawy w zieleni miejskiej mogą tworzyć dwa podobne gatunki – przylepnica królewska *P. regalis* (Ryc. 11.7) oraz przylepnica szklarniowa *P. floccifera*. Obecność wykazanej z Polski stosunkowo niedawno przylepnicy królewskiej (Łągowska i in. 2018) odnotowano m.in. na Plantach Krakowskich w postaci niezbyt licznych kolonii na kilku gatunkach drzew.

Platan *Platanus* spp.

Jest drzewem coraz częściej sadzonym w zieleni miejskiej ze względu na wysokie walory dekoracyjne oraz szybki wzrost, jest jednak rodzajem obcym dla flory naszego kraju. Naturalnym siedliskiem tych drzew są doliny rzek w ciepłym klimacie śródziemnomorskim. W warunkach klimatycznych Polski platan regularnie cierpi od niskich temperatur, szczególnie od wiosennych przymrozków. Występowanie platana w Polsce poza jego naturalnymi warunkami klimatycznymi sprawia, że jest on bardziej podatny na szereg chorób. Przykładem takiej choroby jest rak platana powodowany przez grzyb *Ceratocystis platani*, który w Europie odpowiedzialny jest już za wycinkę blisko 100 000 platanoów. Grzyb ten został zawleczony z Ameryki Północnej i ma szczególne znaczenie w warunkach miejskich – jest łatwo przenoszony podczas prac pielęgnacyjnych. Na liściach platana występuje motyl szrotówek platanowcowiaczek *Phyllonorycter platani* (Ryc. 11.8), którego żerowanie potrafi przyjmować intensywność podobną do obserwowanej na kasztanowcu zwyczajnym. Na liściach platana żerują również pluskwiaki z gatunku prześwielik platanowy *Corythucha ciliata*. Również grzyb *Apiognomonina veneta* powodujący antraknozę liści platana czy mączniak platana *Erisiphe platani* (Ryc. 11.9) są coraz częściej obserwowane w zieleni Krakowa. Kolejnym grzybem, który występuje na platanie jest *Massaria*. Wprawdzie nie stwierdzono by był bezpośrednią przyczyną śmierci drzew, ale powoduje bardzo szybkie obumieranie konarów, które usychają i stanowią bardzo duże zagrożenie dla bezpieczeństwa ludzi. Owady oraz grzyby występujące na platanie powodują, że wartość dekoracyjna platanoów w warunkach Polski oraz zachowanie ich dobrej kondycji zdrowotnej może być w przyszłości bardzo trudnym zadaniem. Pyłek platana jest również silnym alergenem, co w czasach powszechnych alergii może wpływać istotnie na zdrowie mieszkańców miast.



Ryc. 11.8. Miny szrotówka platanowcowiaczka *Phyllonorycter platani* na liściu platana klonolistnego, ul. Rakowicka



Ryc. 11.9. Pęd platana klonolistnego porażony przez mączniaka platana *Erisiphe platani*, Plac Wolnica

Robinia akacjowa (grochodrzew) *Robinia pseudoacacia*

Pochodzi z Ameryki Północnej. Robinia to gatunek bardzo powszechny w zieleni miejskiej oraz trwale zdomowiony. Jest to trzeci najliczniejszy gatunek drzewa w Krakowie wg inwentaryzacji w platformie GreenSpaces. W Krakowie szczególnie powszechny ze względu na nasadzenia wokół fortów oraz wzdłuż dróg. Swoją konkurencyjność na trudniejszych siedliskach zwiększa poprzez symbiozę z bakteriami wiążącymi azot atmosferyczny. Drzewo to jest bardzo żywotne w trudnych warunkach miejskich. Na robinii akacjowej w Krakowie występuje kilka obcych i inwazyjnych gatunków owadów. Młode pędy są intensywnie zasiedlane przez dwa gatunki mszyc *Aphis craccivora* oraz *Appendiseta robiniae* (Ryc. 11.10). Mszyce te mogą tworzyć masowe pojawy na osłabionych drzewach, powodując dalsze osłabienie roślin oraz zabrudzenia powierzchni użytkowych czy samych użytkowników terenów zieleni jako następstwo opadania mszyc oraz produkowanej spadzi na powierzchnię pod drzewami. Mszyca *A. craccivora* znana jest już na wszystkich kontynentach poza Antarktydą i jej dokładne pochodzenie jest trudne do określenia. *Appendiseta robiniae* to kolejny najeźdźca z Ameryki Północnej. Koloniom mszyc na robinii bardzo często towarzyszy, dobrze znana już w Polsce, drapieżna biedronka azjatycka *Harmonia axyridis*. Liście robinii zasiedlane są przez dwa inne gatunki minujących owadów, motyl szrotówek robiniacek *Macrosaccus robiniella* (Ryc. 11.11) oraz przyszczonek robiniowy *Obolodiplosis robiniae*.



Ryc. 11.10. Mszyca zdobniczka robiniowa *Appendiseta robiniae*, Rynek Główny



Ryc. 11.11. Motyl szrotówek robiniacek *Macrosaccus robiniella* - miny na liściu

Sosna czarna *Pinus nigra*

Pochodzi z cieplejszych regionów Europy. W Polsce powszechnie sadzona na terenach miejskich i przemysłowych ze względu na stosunkowo dużą odporność na zanieczyszczenia i walory ozdobne. Z sosnami związany jest pluskwiak wtyk amerykański *Leptoglossus occidentalis* (Ryc. 11.12). Jest to stosunkowo nowy najeźdźca pochodzący z Ameryki

Północnej. Wtyk jednak bardzo szybko zwiększa swoją liczebność i podobnie jak biedronka azjatycka jest gatunkiem, który coraz częściej spotykamy w naszych mieszkaniach, kiedy w okresie jesiennym owady poszukują miejsca zimowania. W przypadku masowych pojawów wtyka znane są również przypadki powodowania przez te owady drobnych uszkodzeń rur polietylenowych.



Ryc. 11.12. Wtyk amerykański *Leptoglossus occidentalis*

Winobluszcze *Parthenocissus* spp.

Plącza ściśle związane z koronami drzew, na których osiągają największe rozmiary. Poprzez konkurencję o światło mogą powodować zaburzenia wzrostu drzew, prowadzące do ich osłabienia i śmierci. W Polsce powszechnie występują trzy obce gatunki: winobluszczyk pięciolistkowy *Parthenocissus quinquefoli*, winobluszczyk trójklapowy *P. tricuspidata* i winobluszczyk zaroślowy *P. inserta*. Spośród nich najbardziej ekspansywny jest winobluszczyk zaroślowy (Ryc. 11.13). Winobluszcze są wysoce konkurencyjnymi roślinami, a ich rozwój może skutecznie zagłuszać wzrost drzew jak i roślinności zielnej. Odcięte pędy winobluszczyka przy kontakcie z podłożem bardzo łatwo się ukorzeniają i szybko zwiększają swoje rozmiary. Duża zdolność do regeneracji sprawia, że winobluszczyk należy do najczęstszych gatunków, które rozprzestrzeniają się poprzez dzikie wysypiska odpadów zielonych, a bardzo duża zdolność regeneracji może uniemożliwiać trwałe usunięcie rośliny. Powyższe cechy sprawiają, że winobluszcze należą do gatunków obcych, które stanowią jedno z największych zagrożeń dla rozwoju drzew.



Ryc. 11.13. Zarośla z winobluszczykiem zaroślowym *Parthenocissus inserta* na Łąkach Nowohuckich

Literatura

- Hebda G., Olbrycht T. 2016. *Oxycarenus lavaterae* (Fabricius, 1787) (Hemiptera: Heteroptera: Oxycarenidae) – gatunek nowy dla fauny Polski. *Wiadomości Entomologiczne*, 35 (3): 133–136.
- Jankowska B., Wojciechowicz-Żyto E. 2017. *Pulvinaria hydrangeae* (Steinweden, 1946) nowy dla Polski gatunek pluskwiaka (Hemiptera, Sternorrhyncha, Coccoidea, Coccidae) – wstępne obserwacje. *Materiały z konferencji Ziemia – Roślina – Człowiek*, Kraków, 20–21 września 2017, p. 32.

- Jaworski T. 2009. Szrotówek lipowiaczek *Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963) (Lepidoptera, Gracillariidae) w Polsce. Leśne prace badawcze / Forest Research Papers, 70 (1): 89–91.
- Kadej M., Tarnawski D., Smolis A., Zając K., Szwatko P., Regner J. 2019. Nowe dane o wybranych obcych i inwazyjnych owadach w Polsce. Przyroda Sudetów, 22: 83–96.
- Łagowska B. 2020. A new record of *Pulvinaria hydrangeae* Steinweden, 1946 (Hemiptera: Coccoomorpha: Coccidae), a potentially damaging scale insect in Poland. Polish Journal of Entomology, 89 (4): 200–206.
- Łagowska B., Golan K., Michalski M. 2018. First record of *Pulvinaria regalis* Canard, 1968 (Hemiptera: Coccoomorpha: Coccidae) in Poland. Polish Journal of Entomology, 87 (4): 371–378.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1143/2014 z dnia 22 października 2014 r. w sprawie działań zapobiegawczych i zaradczych w odniesieniu do wprowadzania i rozprzestrzeniania inwazyjnych gatunków obcych. Dz.U.UE.L.2014.317.35.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2011 r. w sprawie listy roślin i zwierząt gatunków obcych, które w przypadku uwolnienia do środowiska przyrodniczego mogą zagrozić gatunkom rodzimym lub siedliskom przyrodniczym. Dz.U. 2011 nr 210 poz. 1260.
- Tarwacki G., Bystrowski C., Celmer-Warda K. 2012. Effect of sun-exposure of the horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) on the occurrence and number of parasitoids of the horse chestnut leafminer (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic) in central Poland in 2004–2006. Folia Forestalia Polonica (A), 54 (1): 56–62.
- Ustawa o gatunkach obcych z dnia 11 sierpnia 2021 r. Dz.U. 2021 poz. 1718.
- Walas Ł., Dering M., Ganatsas P., Pietras M., Pers-Kamczyc E., Iszkuło G., 2018. The present status and potential distribution of relict populations of *Aesculus hippocastanum* L. in Greece and the diverse infestation by *Cameraria ohridella* Deschka & Dimić. Plant Biosyst. 152, 1048–1058.

Nowadays, invasions of alien species are one of the most important biological issues in our cities. This situation is largely due to the increasing process of globalization. Owing to the absence of specialized herbivores, predators or a more favorable climate, these species rapidly become established in the new area. However, alien and invasive trees are almost nonexistent in national and European legal regulations, and only one species, namely *Ailanthus altissima* (commonly called tree of heaven) has in fact been considered invasive.

Citizens know very little about the damage caused by invaders from distant areas, e.g. the boxwood moth (*Cydalima perspectalis*). There is almost no media coverage on what causes mass insect outbreaks, often of foreign origin, and the damage they do to the plants. Preventive actions, such as the use of insecticides, tend to exacerbate the environmental damage. Moreover, many alien species have already become established in our natural landscape.

Based on the data obtained from the GreenSpaces platform in Krakow, it has been demonstrated that most common alien trees occurring in green areas are, in decreasing order of frequency, *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, *Aesculus hippocastanum*, *Juglans regia*, alien poplars *Populus spp.*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Prunus serotina*, *Acer saccharinum*, *Platanus spp.*, *Quercus rubra*.

Bezpieczeństwo ludzi, ich mienia i... drzew

Safety of people, their property and... trees

Robert Głuszak, Przemysław Szwałko

Drzewa jak ludzie

Jednym z ważniejszych elementów otoczenia człowieka w przestrzeni miejskiej są tereny zieleni i zazwyczaj współtworzące je drzewa dostarczające mieszkańcom różnorodnych korzyści. Niemniej jednak uchodzą za jedno z najbardziej nieprzewidywalnych obiektów w krajobrazie (przez możliwość nagłego wykrotu, złamania, upadku gałęzi czy konaru), co budzi wśród ludzi zrozumiały niepokój. Drzewa, tak jak ludzie, podlegają różnorodakim procesom fizjologicznym w okresie całego ich życia. Podczas ich długiego rozwoju i wzrostu zachodzi w nich szereg przemian strukturalnych, które mogą mieć wpływ na ich późniejszą wytrzymałość. Przemiany te przebiegają inaczej w zależności od wieku, gatunku drzewa i jego biologii – szybciej bądź wolniej, intensywniej bądź w sposób bardziej zrównoważony. Mogą być również przyspieszane i pogłębiane przez czynniki biotyczne i abiotyczne, takie jak pogoda czy grzyby patogeniczne rozkładające główne składniki budulcowe drzew (Ryc. 12.1, 12.2). Dotyczy to szczególnie drzew dojrzałych, przez wzgląd na towarzyszące wiekowi procesy rozkładu tkanek i spowolnienia procesów fizjologicznych oraz znaczne rozmiary. Na zachowaniu takich właśnie drzew najbardziej nam zależy, gdyż ich wartość jest nieoceniona na wielu płaszczyznach ochrony przyrody, historii oraz kultury społeczeństwa.

Drzewa poza miejskimi parkami możemy spotkać również w ciągach komunikacyjnych czy na osiedlach, gdzie często narażone są na niekorzystne czynniki antropogeniczne – utrzymanie budynków, zimowe utrzymanie dróg i chodników, remonty, przebudowy, renowacje sieci podziemnych (np. woda, gaz, kanalizacja), sieci napowietrznych (np. energetycznych) itd. Warunki te mają negatywny wpływ na drzewa, a co za tym idzie, na ich stan fitosanitarny, przekładający się bezpośrednio na bezpieczeństwo wokół nich, tak więc ocena ich stabilności ma znaczenie priorytetowe.

Bezpieczeństwo wokół drzew, przeglądy i badania instrumentalne

W miastach podmioty utrzymujące zieleni, zgodnie z literą prawa, odpowiedzialne są za zapewnienie bezpieczeństwa publicznego wszędzie tam, gdzie mogą przebywać ludzie. Konieczne jest zatem prowadzenie ciągłej kalkulacji ryzyka w otoczeniu drzew, gdyż to właśnie bezpieczeństwo jest zasadą nadrzędną. Jej spełnienie wymaga, aby podmioty



Ryc. 12.1. Rozkład biały drewna kasztanowca

Ryc. 12.2. Rozkład brunatny drewna dębu

utrzymujące zieleni miejską przeprowadzały regularne przeglądy i inspekcje drzew. Utrzymanie ich w stanie jak najbezpieczniejszym to minimalizacja ryzyka. Takimi zadaniami zajmują się wykwalifikowani inspektorzy terenowi. Używają do tego schematu szacunkowej oceny przesiewowej drzew, ustalając na jego podstawie minimum postępowania, jakie należy podjąć po przeprowadzeniu przeglądu i kontroli drzew. Kryteria oceny stanu drzew umożliwiają dodatkowo poprawę jakości zadrzewienia oraz jego jak najlepsze zachowanie wraz z całą bioróżnorodnością. W celu najskuteczniejszego weryfikowania i szybkiego przejrzenia dużych powierzchni stosuje się ocenę przesiewową, tj. zastosowanie w grupie drzew przeglądów, które wychwycą drzewa mogące stanowić zagrożenia. Celem oceny przesiewowej jest wykrycie zagrożenia we wczesnym okresie, tak by móc je wyeliminować lub zminimalizować przy użyciu dostępnych prac pielęgnacyjnych czy zabiegów dedykowanych. Ocena przesiewowa nie jest badaniem diagnostycznym, co oznacza, że na jej podstawie można postawić rozpoznanie jedynie ogólne/wizualne i wyłonić drzewa, których stan fitosanitarny nie określa jednoznacznie, czy stwarzają zagrożenie. Aby je potwierdzić lub wykluczyć, drzewo z nieprawidłowym wynikiem oceny przesiewowej musi być poddane szczegółowym badaniom diagnostycznym. Wysokie koszty takich badań ograniczają możliwość szczegółowej diagnostyki wszystkich drzew.

Wizualna ocena statyki drzew

Podstawowym „narzędziem” używanym w inspekcji i diagnostyce jest wizualna ocena statyki drzewa. Schemat postępowania odbiegający od pierwotnego sprzed ćwierćwiecza ze względu na wiele modyfikacji i adaptacji do specyfiki lokalnych potrzeb na całym świecie, nadal nazywany jest w branżowym żargonie „VTA” (z ang. Visual Tree Assessment – wizualna ocena drzewa). Twórca tej metody prof. Claus Mattheck z Drezna napisał na swojej stronie www.mattheck.de/1vta.htm, że VTA to przykład praktycznej miłości do natury, która nie zapomina też o miłości do bliźnich, bo człowiek też jest częścią natury. W istocie metoda ta skutecznie chroni człowieka przed niebezpieczeństwem zagrażającym ze strony drzew, a jednocześnie chroni też drzewa przed ludźmi, ograniczając

przedwczesną wycinkę. VTA polega na ocenie widocznych symptomów – cech diagnostycznych, mających wpływ na utratę lub osłabienie stabilności. Uwzględnia kompleksowo wiele czynników, które mają wpływ na zachowanie statyki. Jest szeroko stosowana w miastach europejskich i amerykańskich stanowiąc podstawę gospodarki drzewostanem miejskim. Od 1993 roku VTA jest prawnie uznawana w Niemczech do oceny zagrożenia, jakie związane jest ze stanem danego drzewa oraz definiowania działań niezbędnych do przywrócenia bezpieczeństwa (Suchocka 2012). Ocena uwzględnia cechy drzewa mogące wpływać na statykę: rozmiary, położenie, cechy budowy lub symptomy chorób, stopień odchylenia od pionu, rozmieszczenie i kształt korony, stan techniczny drewna w pniu i konarach konstrukcyjnych. Uzupełniające badanie zasięgu rozkładu wewnętrznego pnia, pustych przestrzeni oraz stanu zdrowotnego systemu korzeniowego wykonać można za pomocą sondy arborystycznej, a stan pnia sprawdzić osłuchowo młotkiem diagnostycznym.

Skalę wielkości poszczególnych wad występujących na drzewie (w karcie oceny wizualnej) ocenia się na podstawie procentowego występowania danego defektu, natomiast ewentualne nachylenie pnia wg stopnia nachylenia (Tab. 12.1).

Tab. 12.1. Ocena wad i nachylenia pnia podczas wizualnej oceny drzewa

Wady pnia		Nachylenie pnia	
zaznaczenie	wyjaśnienie	zaznaczenie	wyjaśnienie
[] [] []	brak defektów	[] [] []	brak nachylenia
[X] [] []	defekt poniżej 30%	[X] [] []	małe (poniżej 20°)
[X] [X] []	defekt do 30%–60%	[X] [X] []	średnie (20°–45°)
[X] [X] [X]	defekt powyżej 60%	[X] [X] [X]	duże (powyżej 45°)

Podczas oceny istotna jest obserwacja otoczenia drzew w celu stwierdzenia ewentualnej kolizji z elementami sąsiadującymi, tj. sieciami infrastruktury technicznej, budynkami, itp., a także określenie rodzaju pokrycia terenu oraz ocena wszelkich innych elementów mogących mieć wpływ na warunki rozwoju drzewa.

Bardzo ważnym aspektem inspekcji i diagnostyki drzew są grzyby pasożytnicze wielkoowocnikowe, rozwijające się na drzewach i wpływające na ich statykę. Wiele gatunków grzybów może występować w roli saprotrofa albo pasożyta. Zależy to od unikalnej dynamiki między grzybem a drzewem, zależnej od ich kondycji oraz warunków środowiskowych. Drzewa dysponują mechanizmami ograniczającymi postęp rozkładu przez grzyby. Jednym z takich mechanizmów jest model CODIT (z ang. Compartmentalization of Decay in Tree – kompartmentalizacja rozkładu u drzew), tzw. grodziowanie (Ryc. 12.3). Jego twórcy (Shigo, Marx 1977; Shigo 1984) opisują sposób tworzenia przez drzewa systemu niezależnych barier, które przeciwdziałają rozprzestrzenianiu się organizmów powodujących



Ryc. 12.3. CODIT – system niezależnych barier (widoczne ciemne linie wokół zainfekowanego miejsca) przeciwdziałających rozprzestrzenianiu się grzybni i rozwoju infekcji w drewnie żywego kasztanowca *Aesculus hippocastanum*



Ryc. 12.4. Efekt zmian struktury i właściwości drewna spowodowany rozkładem typu białego – pień topoli czarnej *Populus nigra* o obwodzie ponad 300 cm (Park Lotników Polskich, ArboTag nr 036875) złamał się na wysokości ok. 8–10 m w miejscu, gdzie rozwijał się hubiak pospolity *Fomes fomentarius* (owocnik widoczny na zdjęciu)

infekcje w drewnie żywych drzew. Osłabienie drzewa np. wskutek uszkodzenia korzeni lub ogłowienia może jednak przesunąć równowagę i doprowadzić do szybszego postępu rozkładu.

Niektóre grzyby rozwijające się na drzewach powodują biochemiczny rozkład związków budujących ściany komórkowe drewna. Rozkładana jest przede wszystkim celuloza, hemiceluloza i lignina, przez co drewno zmienia swoje właściwości fizyczne. Na żywych drzewach występują dwa główne typy rozkładu drewna o największym znaczeniu dla ich statyki: rozkład biały (Ryc. 12.1) i brunatny (Ryc. 12.2).

Rozkład biały (zgnilizna biała) dzielący się na jednolity, powodowany przez większość gatunków, np. przez hubiaka pospolitego *Fomes fomentarius* (Ryc. 12.4) lub czyrenia ogniowego *Phellinus igniarius* i niejednolity, do którego zalicza się m.in. rozkład biały jamkowaty, powodowany np. przez czyrenia sosnowego *Phellinus pini*. W rozkładzie typu białego lignina i celuloza ulegają destrukcji w podobnym tempie, drewno traci swoje właściwości mechaniczne, staje się miękkie i lekkie, na ogół jest jasne i przy zaawansowanym stanie rozkładu łatwo daje się rozrywać na pasma.

Rozkład brunatny (zgnilizna brunatna, destrukcyjna, czerwona) powoduje zanikanie w pierwszym rzędzie celulozy (lignina długo pozostaje nienaruszona), czego efektem jest przebarwienie drewna na kolor brunatny oraz pękanie ścian komórek, co z kolei prowadzi do kurczenia się drewna i jego rozpadu na charakterystyczne, pryzmatyczne kostki. Przyczyną takiego rozkładu może być niezbyt liczna grupa gatunków, jak np. żółciak siarkowy

Laetiporus sulphureus (Ryc. 10.17), pniarek obrzeżony *Fomitopsis pinicola*, porek brzozowy *Fomitopsis betulina* (= *Piptoporus betulinus*), ozorek dębowy *Fistulina hepatica* (Ryc. 10.10) czy gmatwek dębowy *Daedalea quercina*.

Różne gatunki grzybów mają odmienny wpływ na szybkość rozkładu drewna zależną od gatunku drzewa, jego kondycji, wcześniejszych uszkodzeń, wad pielęgnacyjnych itd. Grzyby można podzielić na agresywne (powodujące szybki rozkład drewna) i nieagresywne (powodujące wolny rozkład drewna). Rozkład drewna, w zależności od umiejscowienia, charakteru i tempa tego procesu, wpływa niekiedy na drzewa pozytywnie (samooczyszczanie się pni i koron z usychających gałęzi, odrzucanie zbędnych fragmentów systemu korzeniowego). Działa również negatywnie, zwłaszcza jeżeli przesądza o wytrzymałości drewna w szerszym zakresie, prowadzącym do osłabienia statyki całego drzewa, co może powodować jego złamanie lub wywrócenie (wykrot) lub upadek jego części, np. odnogi pnia czy dużego konaru.

Ostateczną „diagnozą” jest wykonanie oceny szacunkowej klasy ryzyka (uzupełniająca dla metody wizualnej), na podstawie stanu zdrowia drzewa i jego cech, skorelowanej z miejscem w jakim drzewo rośnie (częstotliwość użytkowania terenu). Zakwalifikowanie drzewa do konkretnej grupy to ocena jego głównych składowych (system korzeniowy, pień, korona). Na podstawie określonego stanu zdrowotnego oraz częstotliwości użytkowania terenu szacuje się prawdopodobieństwo wystąpienia upadku drzewa lub jego części i konsekwencje, jakie z tego mogą wyniknąć. Drzewa zostają zaklasyfikowane do jednej z pięciu klas tendencji do upadku:

- A – ryzyko nieznaczne
- B – ryzyko niskie
- C – ryzyko umiarkowane
- CD – ryzyko wysokie
- D – ekstremalne ryzyko (stan drzewa nieodwracalny)

Kwalifikacja przeprowadzana jest po starannej analizie stanu zdrowotnego i kształtu drzew, z uwzględnieniem warunków otoczenia (w tym drzew sąsiednich). Efektem końcowym oceny powinno być sformułowanie wytycznych do wykonania koniecznych zabiegów w obrębie korony drzewa (np. usunięcie suszu, cięcia poprawiające statykę, cięcia pielęgnacyjne, cięcia korygujące, montaż wiązań linowych, zwalczanie chorób i szkodników, etc.) lub innych prac (tj. zabezpieczenia ubytków i uszkodzeń konarów, pnia, korzeni).

Mając na uwadze powyższe, należy pamiętać o kilku kluczowych aspektach, które utrudniają pełną ocenę i szacowanie ryzyka:

- drzewa są organizmami zróżnicowanymi pod względem budowy. Drewno jest anizotropowe i higroskopijne. Drzewa mogą posiadać ukryte, niedostrzegalne wady budowy. Ponadto w drewnie zachodzą procesy fizjologiczne, które mogą prowadzić do samodzielnego zrzucania konarów: zjawisko funkcjonujące pod nazwą summer branch drop – letnie obłamywanie gałęzi, czy podobne zjawisko kładoptozy – zrzucanie gałęzi i konarów najczęściej na skutek niekorzystnych zmian warunków siedliskowych;

- z uwagi na fakt, że wewnętrzny rozkład pnia lub konarów dotyczy z reguły martwych części (np. twardej), przy dużym rozkładzie wewnętrznym, vitalność drzewa może być bardzo duża. Jednocześnie rozkład wewnętrzny nie musi dawać oznak zewnętrznych, a także samo usytuowanie rozkładów (np. w konarach korony) może uniemożliwiać dokładne zbadanie i wyeliminowanie zagrożenia, nawet przy użyciu specjalistycznego sprzętu;
- głównym czynnikiem wpływającym na łamanie i przewracanie się drzew jest wiatr. Oddziaływanie wiatru może być jednorazowe (silny podmuch powodujący wiatrołomy i wiatrowały, łamanie konarów) lub korozyjne, tzw. efekt paradontozy poprzez wyciąganie drzewa wraz z korzeniami z zwykle namokniętej gleby przez długotrwałe oddziaływanie burzy z efektem wibracyjnym;
- pewien stopień ryzyka musi być akceptowany, ponieważ drzewa bezpieczne w 100% nie istnieją. Występuje tzw. ryzyko rezydualne, czyli takie, które pozostaje po podjęciu wszystkich możliwych, bądź też wszelkich ekonomicznie zasadnych kroków zmierzających do jego uniknięcia;
- dostępne badania wskazują na fakt, iż wpływ wiatru jest do 40-krotnie większy niż sam fakt ubytku. Silny wiatr zaczyna się od prędkości 40 km/h, gdy większe gałęzie zaczynają się kołysać. Przy prędkości 60 km/h mogą zacząć się niszczenia słabszych elementów niektórych konstrukcji, wiatr może przesuwając jadące samochody



Ryc. 12.5. Wykrot kasztanowca białego *Aesculus hippocastanum* na Plantach Krakowskich – ogólny stan fitosanitarny był dobry, drzewo nie wykazywało niepokojących oznak, jednak silny wiatr zweryfikował jego zakotwiczenie w glebie

poprzez boczne uderzenie i w efekcie przemieszczenie samochodu na inny pas ruchu. Kiedy wiatr osiągnie prędkość 70 km/h zaczynają się łamać konary słabszych czy spróchniałych drzew. Prędkość wiatru powyżej 80 km/h i jego destrukcyjna siła jest w stanie łamać i przewracać nawet zdrowe drzewa bez oznak chorobowych czy ubytków, co nie jest możliwe do przewidzenia. Dlatego takie zdarzenia uznaje się jako tzw. „siłę wyższą”. Czynnikiem powodującym największe zniszczenia jest porywistość wiatru. Jego chwilowe, krótkotrwałe zwiększenie prędkości z 50 km/h do 80 km/h lub wyższej wyrządza poważne szkody (Ryc. 12.5).

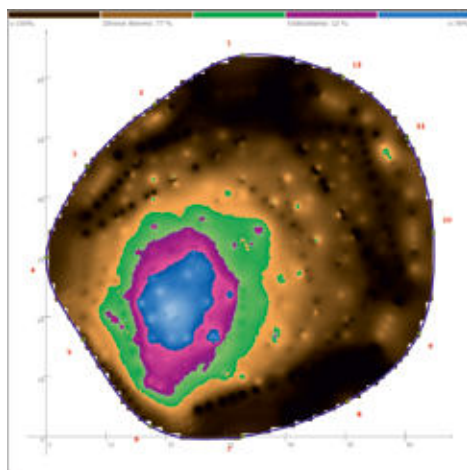
Instrumentalna diagnostyka drzew – najczęściej stosowane metody

Tomograf dźwiękowy (Ryc. 12.6) służy do bezinwazyjnego pomiaru stopnia rozkładu drewna na pnia oraz ubytków w drzewach na podstawie różnic prędkości rozchodzenia się drgań akustycznych w drewnie, zależnych od modułu elastyczności i gęstości tkanek badanego



Ryc. 12.6. Jesion wyniosły *Fraxinus excelsior* poddany badaniu tomografem dźwiękowym PiCUS 3 z powodu widocznego na wys. około 3–4 m owocnika grzyba patogenicznego – błyskoporka szczytkowatego *Inonotus hispidus* (Park Krakowski, ArboTag nr 038524)

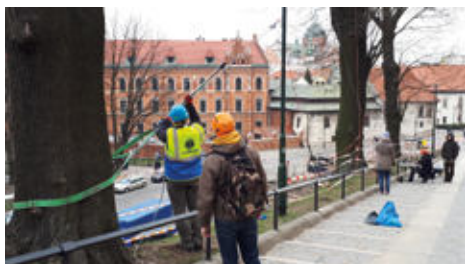
drzewa. W uproszczeniu – metoda opiera się na założeniu, że przy bardzo dobrej strukturze drewna (drewno w pełni zdrowe, bez ubytków) prędkość przechodzenia fal dźwiękowych przez badany przekrój poprzeczny pnia wynosi 100%. Natomiast w przypadku jakichkolwiek zmian w strukturze drewna prędkość ta maleje. Odpowiednia kolorystyka na tomogramie (Ryc. 12.7), przedstawia zachodzące w drzewie zmiany: Kolory od jasnobrązowego do prawie czarnego oznaczają prędkość od ok. 60% do 100%; różnie odcienie zielonego to prędkość odpowiednio od ok. 40% do 60%; odcienie różowego to ok. 20% do 40%; odcienie niebieskiego do białego to ok. 0% do 20% (przy czym im jaśniejszy odcień w danej kolorystyce, tym prędkość mniejsza).



Ryc. 12.7. Tomogram z ww. badania i widoczny rozpoczynający się rozkład drewna. Owocnik grzyba znajduje się pomiędzy czujnikami nr 5 a 6 (por. Ryc. 12.6)

Podczas tworzenia i interpretacji tomogramu pod uwagę brane są głównie trzy grupy kolorów:

1. czarny/brązowy – drewno o prawidłowej strukturze,
2. fioletowy/różowy/niebieski/biały – klasy o najgorszej strukturze drewna,
3. zielony – klasa przejściowa, struktura lepsza od drewna w obszarze koloru fioletowego jednak odległa od optymalnej.



Ryc. 12.8. Pomiar stabilności drzewa w gruncie i wytrzymałości pnia na złamanie w dniu 21 marca 2019 r. – badaniu został poddany widoczny w głębi planu jesion *Fraxinus excelsior* (ArboTag nr 072602), a wyniki przesądziły o pozostawieniu drzewa, które rośnie pod Wawelem od strony ul. Podzamcze do dzisiaj

Zintegrowany pomiar statyki SIM (Static Integrated Measurement – PULLING TEST) to bezinwazyjna metoda tensometrycznego pomiaru stabilności drzewa w gruncie i wytrzymałości pnia na złamanie, zwana popularnie metodą Elasto-Inclino. Podstawą tej metody jest poddanie drzewa obciążeniom symulującym działanie wiatrów (Ryc. 12.8), nie przekraczającym jednak 3% siły huraganu. Czujnik efektu rozciągania (lub ściskania) drewna, czyli elastometr (Ryc. 12.9) bada wytrzymałość pnia na złamanie, a czujnik nachylenia – inklinometr (Ryc. 12.10) określa jego stabilność w gruncie.



Ryc. 12.10. Inklinometr

Ryc. 12.9. Elastometr

Badanie metodą Dyna ROOT polega na wyznaczeniu współczynnika bezpieczeństwa badanego drzewa na podstawie reakcji korzeni i odziomka na rzeczywiste obciążenie wiatrem. Przy wykorzystaniu rzeczywistego wiatru nie ma konieczności wykonywania obliczeń

uwzględniających powierzchnię poziomego rzutu korony i innych właściwości badanego drzewa, ponieważ pomiary już je uwzględniają. Najniższa prędkość wiatru, która potrzebna jest do badań to 25 km/h (8 m/s).

Rezystograf czyli wiertarka oporowa służy do badania stopnia ubytku pnia za pomocą igły o długości kilkudziesięciu centymetrów i stosunkowo niewielkiej średnicy (ok. 3 mm), która wkręcana jest w drewno z prędkością od 10 do 45 cm na minutę. Opór powstały podczas nawiercania drzewa zostaje przekazany do urządzenia elektronicznego, a dane prezentowane są w formie wydruku z przenośnej drukarki (skala 1:1 ułatwia wykonywanie ocen na bieżąco w terenie) oraz zachowane w pamięci urządzenia z możliwością transmisji na komputer stacjonarny. Dane z rezystografu opracowywane w połączeniu z wiedzą dotyczącą modelu CODIT pozwalają na dokładną interpretację stopnia rozkładu drewna, lokalizacji i zasięgu rozkładu oraz obecności lub braku bariery wytwarzanej przez drzewo.

Poza wyżej wymienionymi, najczęściej stosowanymi metodami diagnostycznymi, istnieje jeszcze wiele innych inwazyjnych i bezinwazyjnych metod oceny statyki drzew, które są stosowane w większym lub mniejszym stopniu. Zaliczamy do nich między innymi świder przyrostowy, młotek elektryczny (*Electronic Hammer*), Shigometr czy georadar. Stosowane są również metody obliczeniowe, do której zaliczamy chociażby SIA (*Static Integrated Assessment*).

Możliwości zastosowania różnych metod diagnostycznych są bardzo duże. Należy pamiętać, że nawet najlepszy sprzęt stosowany podczas instrumentalnej diagnostyki drzew nie zastąpi (podobnie jak w przypadku oceny wizualnej – opartej na wiedzy i doświadczeniu) kompetencji osób przeprowadzających badania (Suchocka 2020). W badaniach zaawansowanych prawidłowa interpretacja uzyskanych wyników wymaga dużego doświadczenia. Ponieważ z oceną drzew związana jest odpowiedzialność, zwłaszcza za wynikające z badań i analizy ich wyników zalecenia dotyczące dalszego postępowania, nie powinno się przeprowadzać inspekcji i szczegółowej diagnostyki drzew w pośpiechu, nadmiernym zmęczeniu i przy nieodpowiednich warunkach pogodowych. Sporządzana dokumentacja powinna być kompletna i na bieżąco – jeżeli jest to wymagane – uzupełniana. Rzetelna ocena nie wyklucza powstania wątpliwości, w takich przypadkach oceniający powinien jednak skonsultować swoje decyzje lub przekazać drzewo do dalszej, pogłębio-nej oceny innej osobie, gdyż dla uzyskania pełnej informacji w przypadkach drzew cennych i problemowych wskazane jest zastosowanie więcej niż jednej metody



Ryc. 12. 11. Klon zwyczajny *Acer platanoides* na Plantach Krakowskich (ArboTag nr 008088) pozostawiony w postaci „świadka” z zastosowanymi wiązaniami korony oraz cięciami koronkowymi.

diagnostycznej. Zastosowanie jednej metody badań często jest niewystarczające dla pełnej diagnostyki drzew.

Co ważne, usunięcie drzewa nie zawsze musi być jedyną opcją. Dzięki zastosowaniu badań diagnostycznych możemy dowiedzieć się jakimi zabiegami dedykowanymi (np. podpory, wiązania koron drzew, pozostawienie „świadka”) – możemy zachować badany egzemplarz w krajobrazie (Ryc. 12.11).

Równolegle z dostosowywaniem platformy GreenSpaces do funkcjonujących już standardów zapewniających bezpieczeństwo (Moduł VTA, Ryc. 8.5), modyfikacjom ulegały szczegóły działań związanych z oceną drzew, uwzględniających ich planowanie, realizowanie i rozliczanie z wykorzystaniem modułu Zadania, a w znacznym zakresie do kontrolowania także w warunkach terenowych za pomocą aplikacji GreenSpaces MOBILE (Ryc. 8.7). Udoskonalanie platformy zbiegało się w czasie z opracowywanymi przez Fundację EkoRozwoju standardami w ramach projektu LIFE15 GIE/PL/000959 pt. “Trees for Europe’s Green Infrastructure”. Zasady oceny drzew w oparciu o aktualną wiedzę i najlepsze praktyki zebrano i przedstawiono w formie dokumentu „Standard cięcia i pielęgnacji drzew” (Witkoś-Gnach, Krynicki 2021).

Literatura

- Shigo A.L. 1984. Compartmentalization: A Conceptual Framework for Understanding How Trees Grow and Defend Themselves. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 22 (1): 189–214.
<https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.py.22.090184.001201?journalCode=phyto>.
- Shigo A.L., Marx H.G. 1977. Compartmentalization of decay in trees. *USDA For. Servo Inj. Bull.* 405. 73 pp. <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT87209944/PDF> [dostęp: 8.12.2021].
- Suchocka M. 2012. Zalety i ograniczenia stosowania wizualnej metody oceny drzew (VTA) jako odpowiedź na problemy związane z zagrożeniami powodowanymi przez drzewa miejskie. *Człowiek i Środowisko* 36 (1-2): 97–110.
- Suchocka M. 2020. Advanced Trees Assessment Techniques – Possibilities and Limitations. *Plants in Urban areas and Landscape*, 43–49. <https://doi.org/10.15414/PUAL/2020>.
- Witkoś-Gnach K., Krynicki M. 2021. Standard inspekcji i diagnostyki drzew. Fundacja EkoRozwoju, Wrocław, 43 pp.

Trees, like humans, undergo throughout their lives various physiological processes and structural changes that may affect their strength and safety to the passers-by. In parallel with the adaptation of the GreenSpaces platform to existing safety standards, various tools for tree assessment activities, such as the VTA module, have been improved within the LIFE URBANGREEN project. While the platform facilitates the planning of activities aimed at ensuring safety, including inspections, visual tree assessment and instrumental diagnosis, it does not take responsibility for human decisions, which should always be borne in mind.

Publikacja „Drzewa w zieleni miejskiej” to obszerny zbiór artykułów poświęconych zarządzaniu terenami zielonymi w miastach. Z jednej strony zawiera liczne treści wzbogacające naszą aktualną, konwencjonalną wiedzę w zakresie nauk przyrodniczych i dendrologii (np. najlepsze praktyki w zakresie ochrony i utrzymania drzew miejskich, inwentaryzacja i ocena ich stanu, biologia drzew i siedliska związanych z drzewami, występowanie inwazyjnych gatunków obcych). Z drugiej – innowacyjne koncepcje, nieczęsto wdrażane w codziennej praktyce zarządzania zielenią miejską, w tym metody teledetekcyjne, rozwiązania bazodanowe, modelowanie komputerowe i GIS.

Niniejsze studium zostało opublikowane w ramach projektu „Innowacyjna platforma technologiczna usprawniająca zarządzanie terenami zielonymi dla lepszej adaptacji do zmian klimatu” – LIFE URBANGREEN, który w dużej mierze był kontynuacją projektu „Zintegrowany system monitorowania danych przestrzennych dla poprawy jakości powietrza w Krakowie” – MONIT-AIR, realizowanego w latach 2014–2016. Głównym celem projektu LIFE URBANGREEN jest optymalizacja innowacyjnej platformy technologicznej służącej monitorowaniu usług ekosystemów zapewnianych przez miejskie tereny zielone i poprawie zarządzania nimi. Działania projektowe były realizowane w Krakowie (Polska) przez polskich partnerów: firmę ProGea 4D i Zarząd Zieleni Miejskiej oraz w Rimini (Włochy) przez firmę Anthea, a koordynowane przez firmę R3GIS z Bolzano (Włochy). Głównym partnerem naukowym był Uniwersytet w Mediolanie. Projekt został dofinansowany ze środków Unii Europejskiej – w ramach Programu LIFE, przy czym w Krakowie – dodatkowo z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, a jego koszt wyniósł około 2,5 mln euro.

W ramach projektu LIFE URBANGREEN przeprowadzono inwentaryzację zieleni w Parku Lotników Polskich w Krakowie. Do laserowego (LiDAR) skanowania zieleni i infrastruktury parkowej wykorzystano innowacyjne technologie, takie jak TLS, MLS i ALS. Przeprowadzono również inwentaryzację dendrologiczną i określono parametry drzew oraz zastosowano metodę VTA do przeprowadzenia wizualnej oceny ich stanu. To świetny przykład innowacyjnego podejścia wyznaczającego nowe kierunki w inwentaryzacji zieleni miejskiej, umożliwiając jej zintegrowanie z innymi usługami komunalnymi i kompleksowym zarządzaniem miastem.

Spośród 131 455 drzew zinwentaryzowanych dotychczas w Krakowie wybrano 10 gatunków do szczegółowych badań nad świadczonymi przez nie usługami ekosystemów. Były to: klon zwyczajny, jesion wyniosły, lipa drobnolistna, dąb szypułkowy, wiąz szypułkowy, kasztanowiec biały, topola czarna, sosna czarna, jarząb pospolity i dereń biały. Ustalono, zarówno w Rimini, jak i Krakowie, że pod względem efektywności wszystkich ocenianych usług ekosystemów najwyższą pozycję zajmuje dąb szypułkowy. Z rankingiem wszystkich wybranych gatunków można zapoznać się na stronie internetowej: <https://krakow.lifeurbangreen.eu/pl/>.

Głównym celem projektu LIFE URBANGREEN było również wdrożenie innowacyjnych praktyk w zakresie utrzymania zieleni. Obejmują one mulczowanie, podlewanie, napowietrzanie gleby, ograniczenie przycinania. Uważa się, że dla zwiększenia korzyści płynących z usług ekosystemów mają one znaczenie kluczowe.

Dane teledetekcyjne zebrane w ramach projektu LIFE URBANGREEN zostały wykorzystane do monitorowania ogólnego stanu roślinności w granicach miasta Krakowa oraz do obliczenia jej głównych parametrów. W teledetekcyjnym monitorowaniu miejskich terenów zieleni wykorzystano obrazy wielospektralne UAV o wysokiej rozdzielczości, obrazy satelitarne o bardzo wysokiej rozdzielczości (VHRS) i obrazy o wysokiej rozdzielczości (HRS). Informacje teledetekcyjne zostały wykorzystane głównie do klasyfikacji LULC i obliczenia wskaźników roślinności (VI) w złożonym procesie monitorowania stanu zdrowia drzew.

W ramach projektu technologia TLS LiDAR została również zastosowana do skanowania drzew w stanie ulistnionym (Leaf-ON) i bezlistnym (Leaf-OFF). Pozyskanych chmur punktów TLS użyto do zaawansowanych obliczeń biomasy drzew (tj. objętości pnia i gałęzi) oraz LAI (wskaźnika pokrycia liściowego – Leaf Area Index). W kolejnym etapie wyniki badanych drzew porównano z terenowym pomiarem ich biomasy i wykorzystano do przeprowadzenia kolejnych obliczeń (np. sekwestracji węgla).

W wyniku realizacji projektu platforma GreenSpaces została zmodyfikowana i rozbudowana o nowe moduły. Pomagają one w planowaniu czynności konserwacyjnych i pielęgnacyjnych na wszystkich zarządzanych obiektach, czy to przy koszeniu trawników, przycinaniu drzew, zwalczaniu szkodników czy nawożeniu. Oprogramowanie pozwala na rejestrację i zarządzanie ocenami ryzyka drzew oraz przeglądami technicznymi sprzętu rekreacyjnego i sportowego.

Powstał również publiczny portal „Krakowskie drzewa i ich zalety”. Oferuje on szczegółowe informacje na temat terenów zielonych, w tym botaniczne opisy gatunków badanych w ramach projektu oraz ukazuje główne korzyści środowiskowe drzew miejskich (asymilacja CO₂, poprawa jakości powietrza i obniżenie jego temperatury dzięki transpiracji). Są one dostępne dla pojedynczych drzew, w ujęciu rocznym oraz za dany dzień.

Oparta na technologii GIS platforma GreenSpaces, jako narzędzie służące do inwentaryzacji bioróżnorodności, oferuje również możliwość powiązania zagrożonych gatunków i mikrosiedlisk z konkretnym miejscem i drzewem. Jednym z przykładów bogatej bioróżnorodności miasta jest pachnica dębowa. Zarówno gatunek, jak i jego siedlisko są chronione na mocy Dyrektywy Siedliskowej UE.

Obecnie jednym z najważniejszych problemów biologicznych w naszych miastach są inwazje obcych gatunków. W krajowych i europejskich regulacjach prawnych nie ma jednak niemal żadnych przepisów dotyczących obcych i inwazyjnych drzew, za inwazyjny został uznany w zasadzie tylko jeden gatunek, czyli bożodrzew gruczołowaty. Na podstawie danych uzyskanych z platformy GreenSpaces w Krakowie wykazano, że najczęstszymi gatunkami obcych drzew występującymi na terenach zielonych są, w kolejności od najczęściej do najrzadziej występujących, robinia akacja, klon jesionolistny, kasztanowiec biały, orzech włoski, obce topole, jesion pensylwański, czeremcha amerykańska, klon srebrzysty, platany i dąb czerwony.

W ramach projektu LIFE URBANGREEN platforma GreenSpaces została dostosowana do istniejących standardów bezpieczeństwa, a rozmaite narzędzia do oceny drzew, takie jak moduł VTA, zostały ulepszone. Trzeba jednak pamiętać, że o ile platforma ułatwia planowanie działań mających na celu zapewnienie bezpieczeństwa, w tym inspekcji, wizualnej oceny drzew i diagnostyki instrumentalnej, o tyle ostateczne decyzje są zawsze podejmowane przez ludzi.

The publication "Trees in urban green spaces" is a comprehensive collection of articles devoted to the theme of urban green management. It offers, on one hand, a plethora of insights contributing to our current conventional knowledge in the field of natural science and dendrology (e.g., best practices in protection and maintenance of urban trees, inventory and assessment of their condition, the biology of trees and tree-related habitats, occurrence of invasive alien species). On the other – innovative concepts, rarely adopted in the everyday practice of urban greenery management, including remote sensing methods, database solutions, computer modelling and GIS.

The volume has been published within the project "Innovative technological platform to improve management of green areas for better climate adaptation" – LIFE URBANGREEN that to a large extent has been a continuation of the project "Integrated monitoring system of spatial data to improve air quality in Krakow" – MONIT-AIR, implemented in 2014–2016. The main objective of LIFE URBANGREEN project has been to optimize an innovative technological platform to monitor ecosystem services of urban green areas and to improve their management. The project activities have been carried out in Krakow (Poland) with the Polish partners ProGea 4D and Krakow Municipal Greenspace Authority and Rimini (Italy) with the leading company Anthea and coordinated by the company R3GIS from Bolzano (Italy). The main scientific partner of the project has been the University of Milan. The project has been co-financed by the EU – with the contribution of the LIFE Programme, and in Krakow – additionally from the National Fund for Environmental Protection and Water Management and its cost amounted to approximately EUR 2.5 million.

Within the LIFE URBANGREEN project the inventory of greenery in Park Lotników Polskich in Krakow has been carried out. Innovative technologies such as TLS, MLS and ALS have been used for LiDAR scanning of greenery and park infrastructure. The dendrological inventory has also been performed in which tree parameters have been collected and the VTA method has been used to perform the visual assessment of the tree condition. It is a perfect example of innovative approach transforming the way the inventory of urban greenery is conducted, enabling it to integrate with other municipal services and the comprehensive urban governance.

Out of 131,455 trees so far inventoried in Krakow 10 species have been selected for detailed research on the ecosystem services they provide: Norway maple, European ash, little-leaf linden, pedunculate oak, European white elm, horse chestnut, black poplar, Austrian pine, rowan, and white dogwood. It has been shown that in terms of the effectiveness of all assessed ecosystem services the pedunculate oak ranked among the highest, both in Rimini and Krakow. The ranking of other species can be consulted on the website: <https://krakow.lifeurbangreen.eu/en/>.

The main objective of the LIFE URBANGREEN project has also been to implement the innovative practices in the maintenance of greenery. They include mulching, watering, soil aeration,

reduction of pruning, and are believed to be crucial for bringing higher benefits to ecosystem services.

Remote sensing data gathered within the LIFE URBANGREEN project has been used to monitor the overall vegetation condition within the Krakow city boundaries and to calculate its main parameters. In the remote sensing monitoring of urban green areas high-resolution multi-spectral UAV images, very high-resolution satellite (VHRS) imageries, and high-resolution (HRS) imageries have been used. The remote sensed information has been used mainly for LULC classification and calculation of vegetation indices (VI) in the complex process of the tree health condition monitoring.

Within the project TLS LiDAR technology has also been used to scan trees with (Leaf-ON) and without leaves (Leaf-OFF). Acquired TLS point clouds were used for advanced calculations of tree biomass (i.e., trunk and branch volume) and LAI (Leaf Area Index) values. In the next stage the results were compared to the field measurement of tree biomass for test trees and used for other calculations (e.g., carbon sequestration).

As a result of a project The GreenSpaces platform has been modified and expanded with new modules. They help schedule maintenance and care activities on all managed objects, be it lawn cutting jobs, pruning trees, pest control or fertilisation. The software allows to register and manage risk assessments of trees and technical inspections of recreational and sports equipment.

The public portal "Trees of Krakow and their benefits" has also been created. It offers detailed information on green areas, including botanical descriptions of species analyzed within the project and presents the main environmental benefits of urban trees (CO₂ assimilation, air quality improvement and temperature cooling through leaf transpiration), available even for a particular tree and on a given day.

The GreenSpaces platform based on GIS technology, as a tool used for biodiversity inventory, offers also the possibility to link endangered species and microhabitats to a specific place and a tree. One of the examples of rich biodiversity of the city is hermit beetle. Both the species and its habitat are protected under the EU Habitats Directive.

Nowadays, invasions of alien species are one of the most important biological issues in our cities. Yet, alien and invasive trees are almost nonexistent in national and European legal regulations, and only one species, commonly called tree of heaven, has in fact been considered invasive. Based on the data obtained from the GreenSpaces platform in Krakow, it has been demonstrated that most common alien trees occurring in green areas are, in decreasing order of frequency, black locust, boxelder maple, horse chestnut, Persian walnut, alien poplars, green ash, black cherry, silver maple, plane trees, and northern red oak.

Within the LIFE URBANGREEN project the GreenSpaces platform has been adapted to existing safety standards, and various tools for tree assessment, such as the VTA module, have been improved. It must be remembered, however, that while the platform facilitates the planning of activities aimed at ensuring safety, including inspections, visual tree assessment and instrumental diagnosis, it does not take responsibility for human decisions.

Afiliacje autorów

Authors' affiliations

Bajorek-Zydroń, Katarzyna, dr; ProGea 4D; katarzyna.bajorek-zydron@progea4d.pl

Cisło-Lesicka, Urszula, dr inż.; ProGea 4D; urszula.cislo-lesicka@progea4d.pl

Corsini, Denise, dr; University of Florence, Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry; denise.corsini@unifi.it

Głuszak, Robert, mgr inż.; Zarząd Zieleni Miejskiej w Krakowie; rgluszak@zsm.krakow.pl

Kempf, Piotr, dr inż.; Zarząd Zieleni Miejskiej w Krakowie; pkempf@zsm.krakow.pl

Mamuszka, Przemysław, mgr inż.; ProGea 4D; przemyslaw.mamuszka@progea4d.pl

Mielczarek, Łukasz, dr inż.; Zarząd Zieleni Miejskiej w Krakowie; lmielczarek@zsm.krakow.pl

Miszczyszyn, Jakub; Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny, Koło Naukowe Leśników, Sekcja Geomatyki; kuba.miszczyszyn@gmail.com

Paluch, Beata, mgr inż. architekt krajobrazu; ProGea 4D; beata.paluch@progea4d.pl

Pawlik, Łukasz, mgr inż.; Zarząd Zieleni Miejskiej w Krakowie; lpawlik@zsm.krakow.pl

Szwałko, Przemysław, dr inż.; Zarząd Zieleni Miejskiej w Krakowie; pszwalko@zsm.krakow.pl

Vigevani, Irene, dr; University of Milan, Department of Agricultural and Environmental Sciences; irene.vigevani@unimi.it; University of Florence, Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry; irene.vigevani@unifi.it

Viskanic, Paolo, dr; R3 GIS S.r.l. – CEO, Bolzano, Italy; paolo.viskanic@r3gis.com


Wcisło, Krzysztof, mgr inż.; Zarząd Zieleni Miejskiej w Krakowie; kwcislo@zsm.krakow.pl

Węzyk, Piotr, dr hab. inż., prof. URK; Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny; p.wezyk@ur.krakow.pl; ProGea 4D – CEO; piotr.wezyk@progea4d.pl

Żądło, Anna, mgr inż.; Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie; zadlo@agh.edu.pl



PARTNERZY PROJEKTU:

Anthea  ProGea ^{4D}


managing spaces



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO



Zarząd
Zieleni Miejskiej
w Krakowie

DOFINASOWANIE:



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

ISBN 978-83-956591-4-0

Wersja elektroniczna nieprzeznaczona do druku