



Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie  
Wydział Rolniczo-Ekonomiczny

**Karolina Wietnik**

Nr albumu: 675

Ocena kondycji i aparatu fotosyntetycznego roślin zimozielonych  
liściastych w terenach miejskich Krakowa

Praca doktorska

Praca wykonana pod kierunkiem  
dr hab. inż. Renaty Bączek-Kwinty, prof. URK  
Katedra Fizjologii, Hodowli Roślin i Nasiennictwa

Kraków, maj 2023

*Składam serdeczne podziękowania dla mojej Pani Promotor  
dr hab. inż. Renaty Bączek-Kwinty, prof. URK  
za zaufanie jakim mnie obdarzyła,  
za wielką cierpliwość, motywację,  
za wszelką pomoc i wiele wskazówek, które doprowadziły mnie do tego miejsca.  
Serdecznie dziękuję za pomoc merytoryczną dr hab. Halinie Ślesak, a także pracownikom WBiO.  
Chciałabym także podziękować Pawłowi oraz moim Przyjaciółom,  
za ich nieustanne wsparcie, troskę oraz motywację.  
Pracę dedykuję Mamie i moim Kochanym Babciom.*

Mgr inż. Karolina Wietnik  
/ Imię i nazwisko autora pracy /

dr hab. inż. Renata Bączek-Kwinta, Prof. URK  
/ Imię i nazwisko promotora pracy /

Wydział Rolniczo-Ekonomiczny  
/ Wydział - kierunek studiów /

Katedra Fizjologii, Hodowli Roślin i Nasiennictwa  
/ Katedra / Instytut /

Doktor  
/ Nadawany tytuł /

Tytuł pracy w języku  
polskim

Ocena kondycji i aparatu fotosyntetycznego roślin zimozielonych liściastych w terenach miejskich Krakowa

Słowa kluczowe  
/maksymalnie 5 słów /

zimozielone, zielen miejska Krakowa, *Ilex* sp., *Rhododendron* sp.

Streszczenie pracy  
/ maksymalnie 1200 znaków /

Zimozielone krzewy liściaste introdukowane do strefy klimatu umiarkowanego stanowią bardzo ważną grupę roślin ozdobnych, ponieważ posiadają wysokie walory dekoracyjne nie tylko w czasie kwitnienia, ale także zimą w okresie spoczynku ze względu na utrzymujące się ulistnienie. Jednak liście tych roślin narażone są na niekorzystne warunki środowiska o różnych porach roku. W związku z tym dwukrotnie dokonano oceny ilościowej i jakościowej struktury nasadzeń zimozielonych krzewów liściastych z uwzględnieniem głównych czynników środowiskowych (nasłonecznienie, wiatr) w terenach zieleni Krakowa. Wykonano też badania stanu fizjologicznego liści różnych odmian krzewów często występujących w terenach zieleni miejskiej, to jest *Ilex* sp. oraz *Rhododendron* sp. z wykorzystaniem nieinwazyjnych metod spektroskopowych. Przeprowadzono ocenę kondycji i wybarwienia liści roślin *Ilex* sp. pod wpływem zmieniających się w sposób naturalny warunków termicznych. Porównano reakcję aparatu fotosyntetycznego roślin wybranych gatunków i ich odmian na warunki środowiskowe panujące na osiedlach Krakowa. Badania te poszerzono o analizy histologiczne oraz morfologiczne liści z wykorzystaniem technik analizy obrazu. Wyniki wskazują na nieprawidłowości w nasadzeniach zimozielonych krzewów liściastych w terenach zieleni wynikające z braku analizy wymagań siedliskowych roślin. Analizy porównawcze dokonane w obrębie gatunków dostarczyły także wielu informacji o sprawności fazy jasnej fotosyntezy roślin zimozielonych liściastych oraz o przydatności zastosowanych metod w badaniach nad tą grupą roślin ozdobnych.

Tytuł pracy w języku  
angielskim

Evaluation of the condition and photosynthetic apparatus of deciduous evergreen plants in urban areas of Krakow

Słowa kluczowe  
/maksymalnie 5 słów /

evergreen plants, urban areas of Krakow, *Ilex* sp., *Rhododendron* sp.

Streszczenie pracy  
/ maksymalnie 1200 znaków /

Evergreen shrubs introduced into temperate zones are very important group of ornamental plants because of their high decorative value not only during flowering, but also during winter dormancy due to their persistent foliage. However, the foliage of these plants is exposed to adverse conditions at different seasons of the year. Therefore, a quantitative and qualitative assessment of the planting structure of evergreen deciduous shrubs was conducted, taking into account the main environmental factors (solar radiation, wind) in the green areas of Krakow. A study of the physiological state of leaves of various species of shrubs commonly found in urban green spaces, i.e. *Ilex* sp. and *Rhododendron* sp. was also carried out using non-invasive spectroscopic methods. An assessment of the condition and pigmentation of the leaves of *Ilex* sp. under naturally varying thermal conditions was carried out. A comparison of the response of the photosynthetic apparatus of selected species and their cultivars to the environmental conditions in the housing estates of Krakow was also made. The study was extended to histological and morphological analyses using the image analysis techniques. The results revealed mistakes in the planting of evergreen deciduous shrubs in urban green spaces resulting from a lack of the analysis of the plants' habitat requirements. The comparative analyses performed within the species also provided numerous pieces of information about the efficiency of the light phase of photosynthesis in deciduous evergreens and the suitability of the used methods to study this group of ornamental plants.

/ Podpis promotora pracy /

Ja, niżej podpisany/-a:

Karolina Wietnik

/ Imię i nazwisko /

675

/ Numer albumu /

autor rozprawy doktorskiej pt.:

Ocena kondycji i aparatu fotosyntetycznego roślin zimozielonych liściastych w terenach miejskich Krakowa

/ Tytuł pracy /

Prowadzonego przewodu doktorskiego w Uniwersytecie Rolniczym im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

Wydział Rolniczo-Ekonomiczny

/ Wydział /

Oświadczam, że ww. praca dyplomowa:

- została przygotowana przeze mnie samodzielnie<sup>1</sup>,
- nie narusza praw autorskich w rozumieniu ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz.U.2018. poz. 1191 t.j. z dnia 21.06.2018) oraz dóbr osobistych chronionych prawem cywilnym,
- nie zawiera danych i informacji, które uzyskałem/-am w sposób niedozwolony,

1. Oświadczam również, że treść pracy dyplomowej zamieszczonej przeze mnie w Archiwum Prac Dyplomowych jest identyczna z treścią zawartą w wydrukowanej wersji pracy.
2. W związku z realizowaniem przez Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie zadań ustawowych i statutowych, szczególnie w zakresie prowadzenia działalności dydaktycznej i naukowo-badawczej upoważniam Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja do archiwizowania i przechowywania w/w pracy utrwalonej w postaci tradycyjnej (papierowej) i elektronicznej - zgodnie z ustawą - prawo o szkolnictwie wyższym i przepisami wykonawczymi do tej ustawy, ustawą o narodowym zasobie archiwalnym i archiwach oraz ustawą o prawie autorskim i prawach pokrewnych.

**Jestem świadomy/-a odpowiedzialności karnej za złożenie fałszywego oświadczenia.**

Kraków, dn. 30.05.2023 r.

/ Miejsce i data/

/ Podpis autora pracy/

<sup>1</sup> uwzględniając merytoryczny wkład opiekuna/promotor



<b>SPIS TREŚCI</b>	
<b>WYKAZ SKRÓTÓW .....</b>	<b>7</b>
<b>1. WSTĘP.....</b>	<b>9</b>
<b>2. PRZEGLĄD LITERATURY.....</b>	<b>10</b>
2.1. ZIMOZIELONE KRZEWY LIŚCIASTE .....	10
2.2. WYMAGANIA SIEDLISKOWE ZIMOZIELONYCH KRZEWÓW LIŚCIASTYCH.....	11
2.3. PIEŁĘGNACJA I UPRAWA LIŚCIASTYCH KRZEWÓW ZIMOZIELONYCH W POLSCE.....	12
2.4. WPŁYW WARUNKÓW ŚRODOWISKA NA WYBRANE ASPEKTY ZIMOZIELONYCH KRZEWÓW LIŚCIASTYCH .....	13
2.4.1. WPŁYW CZYNNIKÓW STRESOWYCH NA PRZEŻYWALNOŚĆ LIŚCIASTYCH ROŚLIN ZIMOZIELONYCH .....	18
2.5. PRZEGLĄD STOSOWANYCH METOD BADAWCZYCH .....	22
<b>3. MATERIAŁ I METODY .....</b>	<b>27</b>
3.1. INWENTARYZACJA OBIEKTÓW BADAWCZYCH WYSTĘPOWANIA LIŚCIASTYCH ROŚLIN ZIMOZIELONYCH W TERENACH ZIELENI KRAKOWA.....	27
3.2. OCENA BARWY LIŚCI SPEKTROFOTOMETREM W SYSTEMIE $L^*A^*B$ , $\Delta E$ ORAZ FLUORESCENCJI CHLOROFILU A <i>ILEX SP.</i> ....	37
3.3. FLUORESCENCJA CHLOROFILU A ORAZ PRZEPIY W ENERGII W PRZELICZENIU NA WZBUDZONĄ POWIERZCHNIĘ PRÓBKII FOTOSYNTETYCZNIIE CZYNNIEJ U LIŚCI <i>ILEX CRENATA</i> ....	39
3.4. GĘSTOŚĆ STRUMIENIA FOTOSYNTETYCZNYCH FOTONÓW (PPFD), POMIAR ŚWIEŻEJ MASY ORAZ ANALIZA LIŚCI PROGRAMEM WINDIAS ORAZ IMAGEJ U <i>ILEX MESERVEAE</i> .....	40
3.5. FLUORESCENCJA CHLOROFILU A ORAZ PRZEPIY W ENERGII W PRZELICZENIU NA WZBUDZONĄ POWIERZCHNIĘ PRÓBKII FOTOSYNTETYCZNIIE CZYNNIEJ U LIŚCI <i>RHODODENDRON</i> <i>SP.</i> .....	43
3.6. ANALIZY HISTOLOGICZNE LIŚCI <i>RHODODENDRON SP.</i> .....	44
3.7. ANALIZA STATYSTYCZNA WYNIKÓW.....	46
<b>4. WYNIKI .....</b>	<b>48</b>
4.1. BADANIA FIZJOLOGICZNE WYBRANYCH TAKSONÓW ROŚLIN ZIMOZIELONYCH .....	48
4.1.1. INWENTARYZACJA DENDROLOGICZNA ROŚLIN ZIMOZIELONYCH W TERENACH ZIELENI KRAKOWA .....	48
4.1.2. POMIARY SPEKTROFOTOMETRYCZNE BARWY LIŚCI KRZEWÓW ZIMOZIELONYCH W SYSTEMIE $L^*A^*B$ , $\Delta E$ ORAZ FLUORESCENCJI CHLOROFILU A U <i>ILEX SP.</i> ....	56
4.1.2. OCENA KONDYCJI LIŚCI ZIMOZIELONYCH KRZEWÓW <i>ILEX MESERVEAE</i> .....	74
4.1.3. OCENA KONDYCJI LIŚCI ZIMOZIELONYCH KRZEWÓW <i>ILEX MESERVEAE</i> .....	83
4.1.4. OCENA KONDYCJI LIŚCI ZIMOZIELONYCH KRZEWÓW <i>RHODODENDRON SP.</i> .....	88
4.1.5. OCENA ZDJĘĆ MIKROSKOPOWYCH LIŚCI <i>RHODODENDRON SP.</i> .....	103
<b>5. DYSKUSJA .....</b>	<b>108</b>

5.1. INWENTARYZACJA DENDROLOGICZNA ROŚLIN ZIMOZIELONYCH W TERENACH ZIELENI KRAKOWA.....	108
5.2. POMIARY SPEKTROFOTOMETRYCZNE BARWY LIŚCI KRZEWÓW ZIMOZIELONYCH W SYSTEMIE L*A*B, ΔE ORAZ FLUORESCENCJI CHLOROFILU A <i>ILEX</i> SP. ....	114
5.3. OCENA KONDYCJI LIŚCI ZIMOZIELONYCH KRZEWÓW <i>ILEX CRENATA</i> .....	126
5.4. OCENA KONDYCJI LIŚCI ZIMOZIELONYCH KRZEWÓW <i>ILEX MESERVEAE</i> .....	131
5.5. OCENA KONDYCJI LIŚCI ZIMOZIELONYCH KRZEWÓW <i>RHODODENDRON</i> SP.....	140
<b>6. WNIOSKI I PODSUMOWANIE</b> .....	<b>147</b>
<b>7. SPIS LITERATURY</b> .....	<b>154</b>

## WYKAZ SKRÓTÓW

- ABS/CS – fenomenologiczny strumień energii absorbowanej przez anteny PSII, gdzie CS to wzbudzony, czynny przekrój liścia
- Area ( $A_M$ ) – pole powierzchni nad krzywą indukcji fluorescencji chlorofilu *a*
- AS – całkowite otwarcie porów aparatu szparkowego
- CBo – *Rhododendron* ‘Catawbiense Boursault’ (stanowisko osłonięte)
- CBw – *Rhododendron* ‘Catawbiense Boursault’ (stanowisko wietrzne)
- CH – chloroplasty
- Chl – fluorescencja chlorofilu *a*
- CSWs – *Rhododendron* ‘Cunningham’s Snow White’ (stanowisko słoneczne)
- CSWz – *Rhododendron* ‘Cunningham’s Snow White’ (stanowisko zacienione)
- DI<sub>o</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii rozpraszanej w centrach reakcji PSII
- ED – epiderma dolna
- EG – epiderma górna
- ET<sub>o</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii używanej do napędzania transportu elektronów
- F<sub>0</sub> – fluorescencja początkowa
- F<sub>M</sub> – fluorescencja maksymalna
- F<sub>V</sub> – fluorescencja zmienna
- F<sub>V</sub> = F<sub>M</sub> - F<sub>0</sub> – fluorescencja zmienna (różnica wartości fluorescencji maksymalnej i początkowej)
- F<sub>V</sub>/F<sub>M</sub> – maksymalna fotochemiczna wydajność fotosystemu II (PSII)
- GL – grubość liścia
- IcGG – *Ilex crenata* ‘Golden Gem’
- ImBPs – *Ilex meserveae* ‘Blue Prince’
- ImBPss – *Ilex meserveae* ‘Blue Princess’
- K – kutykula
- L\*a\*b\*, ΔE – system oceny barwy liści spektrofotometrem
- MG – miękisz gąbczasty
- MP – miękisz palisadowy
- PAS – metoda barwienia z wykorzystaniem reakcji kwasu nadjodowego i fuksyny
- PI – (Performance Index) wskaźnik funkcjonowania fotosystemu II (PSII)
- PPFD – gęstości strumienia fotosyntetycznych fotonów
- Rubisco - (ang. *ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase*), (karboksylaza/oksygenaza rybulozo-1,5-bisfosforanu, karboksydysmutaza), enzym występujący w komórkach roślin

RC/CS<sub>m</sub> – ilość aktywnych centrów reakcji w stanie relaksacji fragmentu liścia  
RC/CS<sub>o</sub> – ilość aktywnych centrów reakcji we wzbudzonym fragmencie liścia  
RE<sub>o</sub> – *Rhododendron* ‘Roseum Elegans’ (stanowisko osłonięte)  
RE<sub>w</sub> – *Rhododendron* ‘Roseum Elegans’ (stanowisko wietrzne)  
RZ – rośliny zimozielone  
T<sub>FM</sub> – czas uzyskania fluorescencji maksymalnej  
TR<sub>o</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii pułpkowanej w centrach reakcji PSII  
WBiO – Wydział Biotechnologii i Ogrodnictwa

## 1. WSTĘP

Rośliny zimozielone stanowią bardzo ważną grupę ozdobnych roślin drzewiastych. Posiadają wysokie walory dekoracyjne nie tylko w czasie kwitnienia, ale także zimą w okresie spoczynku ze względu na zimozielone ulistnienie. Charakteryzują się szerokim zasięgiem występowania i wykazują tym samym duże zróżnicowanie w reakcji na temperatury mrozowe [Peng i in. 2008]. Mroźne kontynentalne zimy pojawiające się co kilka lat w Polsce ograniczają możliwości uprawy nowych odmian wyhodowanych w Europie Zachodniej i USA. Równocześnie rozwijająca się produkcja szkółkarska i rynek ciągle poszukują nowości odmianowych [Świdorski i in. 2004]. Liście roślin zimozielonych rosnące w strefach klimatu umiarkowanego narażone są na niekorzystne warunki środowiska w różnych porach roku. Czynniki takie jak niska temperatura oraz jej wahania dobowe, wysuszające wiatry i pokrywa śnieżna uniemożliwiają pobieranie wody z zamrożonej gleby oraz wywołują zjawisko suszy fizjologicznej. Uszkodzenia wywołane tymi czynnikami występują przede wszystkim w błonach biologicznych, a ich konsekwencją są zaburzenia procesów fizjologicznych w komórce roślin [Wei i in., 2006].

Krzewy zimozielone występują w różnych odmianach kolorystycznych oraz formach, co powoduje, że idealnie nadają się do tworzenia wielobarwnych kompozycji ogrodowych. Zimozielone w przeciwieństwie do roślin sezonowych są dekoracyjne cały rok i nie wymagają wymiany, pod warunkiem, że zapewnimy im odpowiednie stanowisko. Ogród który przepełniają rośliny zimozielone nie tylko jest dekoracyjny, ale także ekonomiczny. Dzięki temu, że krzewy zimozielone są gęste, mogą stanowić parawan oddzielający od sąsiadów czy drogi, nadają się także na żywopłoty. W porównaniu do innych krzewów, RZ zmieniają liście stopniowo co znacznie zmniejsza liczbę prac porządkowych. W ostatnich latach stały się także bardzo popularne w projektach założeń osiedlowych architektów krajobrazu, ale również podobają się mieszkańcom ze względu na swoje całoroczne ulistnienie i bogactwo kwiatów. Obecność RZ na osiedlach często po kilku latach kończy się ich całkowitym lub częściowym zamieraniem. Literatura poświęcona RZ i ich wymaganiom w większości podkreśla ich mrozoodporność, a przecież jest wiele innych czynników, które warunkują ich przetrwanie. Opracowanie prawidłowego doboru gatunkowego roślin liściastych zimozielonych stanowi ważne wyzwanie dla całej Polski w także dla Krakowa.

Obserwacje zmian morfologicznych powstałych w wyniku uszkodzeń atmosferycznych są długotrwałym i kosztownym sposobem oceny kondycji roślin. Badania laboratoryjne procesów fizjologicznych zachodzących w zimozielonych liściach dają możliwość lepszego ich poznania,

a wnikliwa analiza tych reakcji pozwala na kompleksową ocenę ogólnego stanu fizjologicznego roślin.

Celem pracy była ocena ilościowa i jakościowa struktury nasadzeń zimozielonych krzewów liściastych w terenach zieleni Krakowa z uwzględnieniem głównych czynników środowiskowych (nasłonecznienie, wiatr), analiza procesów fizjologicznych i cech użytkowych często występujących w nasadzeniach krzewów, tj. ocena kondycji i barwy liści roślin *Ilex* sp. pod wpływem zmieniających się w sposób naturalny warunków termicznych oraz porównanie reakcji aparatu fotosyntetycznego określonych odmian *Ilex* sp. i *Rhododendron* sp. na warunki stworzone na osiedlach Krakowa, poszerzone o porównawcze analizy histologiczne i morfologiczne liści z wykorzystaniem technik analizy obrazu. Wszystkie te cele cząstkowe miały pomóc w udzieleniu odpowiedzi na pytanie o poprawność lokalizacji istniejących już nasadzeń zimozielonych krzewów liściastych jako elementu zieleni miejskiej. Założono też, że wykonane badania dostarczą informacji o fizjologii liści tych roślin w ekstremalnych warunkach panujących na osiedlach mieszkaniowych i przydatności zastosowanych metod spektroskopowych w praktyce i badaniach naukowych.

## **2. PRZEGLĄD LITERATURY**

### **2.1. ZIMOZIELONE KRZEWY LIŚCIASTE**

Rośliny zimozielone pozostają zielone przez cały rok i stanowią ozdobę terenów zieleni miejskich. Łatwa pielęgnacja jest ich także ogromną zaletą. Rośliny zimozielone występują w różnych odmianach kolorystycznych oraz formach, co powoduje, że idealnie nadają się do tworzenia wielobarwnych kompozycji zarówno ogrodowych jak i miejskich. Liściaste zimozielone w przeciwieństwie do roślin sezonowych są dekoracyjne przez cały rok i nie wymagają wymiany, pod warunkiem, że zapewnimy im odpowiednie stanowisko. Zieleniec, który przepełniają rośliny tego typu, jest nie tylko dekoracyjny, ale także ekonomiczny. Mogą one pełnić wiele funkcji z uwagi na swój gęsty pokrój, stanowiąc także parawan oddzielający od sąsiadów czy drogi, nadają się także na żywopłoty. Literatura według Bach i in. [2006], Sameckiej-Cymerman i Kempers [1999], podaje dane chociażby na temat zdolności do bioakumulacji jonów metali ciężkich przez zimozielone liście. W warunkach klimatycznych Krakowa położonego w zagłębieniu smogu, obecność roślin zimozielonych jest wskazana ze względu na potencjał powierzchni części zielonej u tego typu gatunków przez cały rok wegetacji. Przewagą tych roślin nad roślinami zrzucającymi liście na zimę jest także istotny fakt stopniowej wymiany liści, co sprawia, że ich grabienie nie jest pracochłonne. Wśród projektantów zieleni, rośliny zimozielone zyskały dużą popularność przy zakładaniu osiedli,

a także wśród mieszkańców tych miejsc ze względu na całoroczne walory estetyczne. Konieczne jest jednak opracowanie prawidłowego doboru gatunkowego liściastych roślin zimozielonych przez cały rok dla południowego regionu Polski w tym dla Krakowa.

## 2.2. WYMAGANIA SIEDLISKOWE ZIMOZIELONYCH KRZEWÓW LIŚCIASTYCH

Kraków leży w umiarkowanej strefie klimatycznej (6b), w której rośliny narażone są na niesprzyjające warunki w okresie późnej jesieni, zimy i wczesnej wiosny, głównie na obniżanie temperatury powietrza poniżej 0°C. Rośliny dzięki wykształconym specyficznym mechanizmom, które zwiększają odporność na mróz są w stanie przetrwać okresy ujemnych temperatur. W dużej mierze zdolność przetrwania tych niskich temperatur przez rośliny zimozielone warunkowana jest ich cechami genetycznymi. Uważa się, że podstawowym parametrem decydującym o powodzeniu uprawianych zimozielonych krzewów liściastych w Polsce to mrozoodporność. Mrozoodporność polega na tolerowaniu przez rośliny pozakomórkowej krystalizacji wody, z kolei zdolność tolerowania przez odwodnienie zależy od cech fizjologicznych. Aczkolwiek, jeżeli krystalizacja następuje w obrębie komórki, jest to dla niej zawsze śmiertelne [Kacperska 1986]. Okazuje się, że nie tylko mrozoodporność, a wiele innych czynników istotnie wpływa na powodzenie uprawy różnych gatunków roślin zimozielonych. Złożoność procesu nabywania odporności na niską temperaturę podczas hartowania wynika i zależy od współdziałania wielu czynników, takich jak: temperatura, światło, intensywność wzrostu i innych. Hartowanie przebiega wieloetapowo i jest stymulowane przez skracanie się dnia oraz zmian widma promieniowania w układzie czerwień – daleka czerwień [Hołubowicz 1984], a także przez obniżanie się temperatury (głównie nocą) bez przekraczania progu 0°C, a w kolejnym etapie - poniżej 0°C [Latocha 1999]. Pochodzenie z różnych ośrodków geograficznych w dużej mierze decyduje także o zdrowotności i przeżywalności roślin zimozielonych.

Według Hołubowicza [1984], powyższe czynniki powodują naruszenie równowagi hormonalnej w komórkach, co prowadzi do syntezy kwasów nukleinowych i enzymów (np. lipoksygenazy) [Kacperska 1986]. Następstwem tych czynników są zmiany w błonach cytoplazmatycznych, które zwiększają migrację wody z komórek do przestworzy międzykomórkowych. Miejsce wody zajmują cząsteczki cukrów i specyficzne frakcje białek. Przemiany te powodują, że komórka traci wrażliwość na silne odwodnienie i gwałtowne zmiany temperatury. Jak twierdzi Latocha [1999], dalsze nabywanie odporności spowodowane spadkiem temperatury poniżej 0°C jest krótkotrwałe i maleje gwałtownie w przypadku

podniesienia się temperatury powyżej 0°C, np. w czasie odwilży. Mrozoodporność u roślin nabywana jest więc w okresie spoczynku [ Hołubowicz 1984].

Skomplikowany proces hartowania i odporności roślin powoduje że jedynie wieloletnie obserwacje terenowe stają się najbardziej obiektywną i miarodajną metodą oceny mrozoodporności roślin. Warunkiem wiarygodności takiej oceny jest przede wszystkim duży spadek temperatury zimą, jak podaje Hołubowicz [1984].

### 2.3. PIELĘGNACJA I UPRAWA LIŚCIASTYCH KRZEWÓW ZIMOZIELONYCH W POLSCE

Zieleń miejska, a zwłaszcza rośliny zimozielone odgrywają istotną rolę w kształtowaniu jakości i wyglądu środowiska w terenach miejskich. Ich występowanie poprawia warunki klimatyczne, wpływa na zatrzymywanie pyłów, wzbogaca powietrze w tlen, pełniąc formę naturalnych osłon, a także przede wszystkim pełnią rolę dekoracyjną ze względu na ulistnienie utrzymujące się przez cały rok [Kubiak i Księżniak 2005]. Środowisko w miastach kształtują specyficzne warunki mikroklimatyczne i glebowe. Istotnie wpływa także jakość powietrza atmosferycznego w postaci smogu, który w ostatnich latach w Krakowie przekraczał dopuszczalne normy. Według Wittiga [1995] mierzalna emisja zanieczyszczeń, oraz zdolność przewietrzania obszarów zurbanizowanych, zależna jest od lokalnych warunków klimatycznych jak i od zabudowań terenowych (tj. wieżowce, biurowce, liczne osiedla), które utrudniają rozpraszanie się zanieczyszczeń, mając istotny wpływ na jakość powietrza. Autor podaje, że zanieczyszczenie powietrza w miastach jest 10-krotnie wyższe, niż poza miastem, np. na peryferiach. Wiele elementów środowiska miejskiego niekorzystnie wpływa na stan zdrowotny roślin zimozielonych i w licznych przypadkach prowadzi do ich stopniowego zamierania [Kosiński 2011].

Uszkodzenia oraz zamieranie liściastych roślin zimozielonych, szczególnie zlokalizowanych w terenach miejskich, wywoływane są zasadniczo przez warunki siedliskowe oraz klimatyczne, jak również poprzez niewłaściwy dobór roślin do istniejących warunków. Wybór gatunków liściastych zimozielonych do nasadzeń miejskich często odbywa się na podstawie cech kształtujących walory estetyczne, a nie wymagań odpornościowych. Nie opracowano żadnego dotychczas doboru tej grupy roślin do warunków miejskich Polski. Wieloletnie badania własne, a także zebrane doświadczenia innych badaczy pozwoliły Łukasiewiczowi [2010] jedynie na opracowanie wykazu gatunków drzew i krzewów najbardziej odpornych, średnio odpornych oraz najbardziej wrażliwych na działanie kompleksu czynników środowiska miejskiego. Według Baranowskiego [2010] przy opracowaniu doboru



zieleni do miast powinno się szczególnie uwzględnić gatunki lokalne, sprawdzone pod względem konkretnej lokalizacji i wymagań roślin poszczególnych regionów.

Występowanie całorocznego ulistnienia na pędach roślin zimozielonych wiąże się z krytycznym dla nich okresem, jakim jest zima. Odporność na niskie temperatury jest różnicowana oraz ściśle wynika z ich naturalnego pochodzenia. Pozostałe czynniki środowiska, np. smog, modyfikują wpływ niskich temperatur na ich uszkodzenia. Głównymi czynnikami, które warunkują przetrwanie zimozielonych są dobowe wahania temperatur, odwilże, wysuszające wiatry, pokrywa śnieżna oraz możliwe pobieranie wody z zamrożonej gleby [Cameron i Dixon 2000]. Według Marcinkowskiego [1986/1987] tylko niska temperatura jako pojedynczy czynnik, może wywołać uszkodzenia liściastych roślin zimozielonych, a także mieć wpływ na występowanie suszy fizjologicznej.

#### 2.4. WPŁYW WARUNKÓW ŚRODOWISKA NA WYBRANE ASPEKTY ZIMOZIELONYCH KRZEWÓW LIŚCIASTYCH

Warunki klimatyczne naszego kraju często są czynnikiem ograniczającym w uprawie niektórych drzew lub krzewów jak liściastych roślin zimozielonych, których pędy ulistnione są cały rok. Najbardziej niebezpieczne są przymrozki zimowe, te wczesne pojawiające się już we wrześniu i te późne, nawet w czerwcu. Polska jest krajem należącym do kilkunastu najchłodniejszych krajów świata, co stanowi ograniczenie w uprawie wszystkich możliwych roślin, a wiąże się to ze starannym doбором podczas ich planowania. Klimat Polski określany jest jako między atlantycki i kontynentalny, czyli tzw. przejściowy. Charakteryzuje go zmienność, nie tylko w trakcie roku, ale i w wieloleciu. Okresowo występują łagodne śnieżne zimy, albo styczniowe i lutowe ocieplenie, czy silne mrozy w listopadzie i marcu [Kondracki 2002]. Rośliny zimozielone to typy roślin o wysokich wymaganiach wilgotnościowych, natomiast w Polsce zdarzają się częściej suche lata, rzadziej deszczowe. Zmiany temperaturowe w zimie, zmienność pogody w okresie wegetacyjnym, wahania temperatur, a dodatkowo specyficzne czynniki środowiskowe miast zakłócają wzrost i rozwój, a przede wszystkim powodują uszkodzenia wszystkich roślin, w tym szczególnie zimozielonych, obniżając ich walory dekoracyjne.

Pierwsze próby rejonizacji upraw w Polsce podjęli Hellwig i Białobok w 1955 w książce, pt. „Drzewoznawstwo”. W terenach zurbanizowanych dla drzew i krzewów dokonali tego Czubiński, Hellwig i Zielonko w 1951 roku. Istotny przełom w podziale Polski na warunki uprawy zimozielonych, nastąpił w 1973 roku w Kórniku przez Bugałę, Chylareckiego i Bojarczuka [1980]. Autorzy podzielili kraj na 5 stref klimatycznych w oparciu o

ukształtowanie terenu i położenie geograficzne, dane klimatyczne oraz rozmieszczenie, żywotność, odporność na mróz okazów już rosnących na terenie kraju. Kraków został wówczas zakwalifikowany do rejonu podgórskiego. Jest to strefa IV, o strefie klimatu kontynentalnego, dosyć surowych i śnieżnych zimach, ale o długim okresie wegetacyjnym, ciepłych miesiącach letnich oraz największym w Polsce natężeniu promieniowania słonecznego. Biorąc pod uwagę inny podział opracowany przez Krüssmanna oraz Rehdera w jego kluczu „Manual of Cultivated Trees and Shrubs”, Kraków leżałby w innej strefie. Rehder wyróżnił 7 stref i opierał się tylko na średniej wieloletniej temperaturze minimalnej. Według jego koncepcji, strefy zostały wydzielone według równego przedziału temperatury co 5<sup>0</sup>F, 10<sup>0</sup>F lub 15<sup>0</sup>F, co odpowiada 2,8<sup>0</sup>C, 5,6<sup>0</sup>C i 8,3<sup>0</sup>C. Każdy opisany gatunek posiada swój numer strefy, który sugeruje w jakiej temperaturze dana roślina może być bezpiecznie uprawiana, jednak w strefach „niższych” już nie. Autor wyznaczył więc, że Polska leży w strefie V, a jej przedział zakłada (-20,6<sup>0</sup>C do -23,3<sup>0</sup>C), najchłodniejsza część kraju to strefa IV (-23,3<sup>0</sup>C do -28,9<sup>0</sup>C), natomiast najcieplejsza to VI (od -15,0<sup>0</sup>C do -20,6<sup>0</sup>C).

Krüssmann [1960,1962,1972] w swych starszych manuskryptach dodał do pozostałych, 6 stref klimatycznych, nomenklaturę alfabetyczną (a-f), również na podstawie średniej temperatury minimalnej powietrza, wydzielonych co 5<sup>0</sup>C. Większość kraju leży w strefie „e” w przedziale temperatur od -11,5<sup>0</sup>C do -20<sup>0</sup>C, a Kraków zajmuje strefę górzystą, południowo-wschodnią „f” (poniżej -20<sup>0</sup>C). Pojedynczy symbol ^ oznacza strefę „d”, dwa ^^ strefę „c”, a trzy ^^ „b”. Autor wyznaczył, że strefy od a-d nie występują w kraju, więc rośliny opatrzone „daszkami” nie nadają się do uprawy w klimacie Polski.

Początek kolejnego opracowania na strefy klimatyczne do uprawy drzew i krzewów nastąpił w Stanach Zjednoczonych przez Ministerstwo Rolnictwa (USDA) na podstawie Plant Hardiness Zone Map lub USDA Frost Hardiness Zone Map. Podział zawierał z kolei 10 stref.

W Europie twórcami podziału na strefy klimatyczne byli Heinze i Schreiber [1984], posługując się przyjętymi zasadami Amerykanów, Krüssmanna i Rehdera na podstawie wyników pomiarów z kilkuset stacji meteorologicznych. Polska znalazła się w granicach trzech stref: 5, 6 i 7. Posługując się roślinami – indykatorami, Autorzy wyznaczyli poszczególne gatunki do oceny możliwości uprawy roślin. Przyjęto, że dla strefy 5 będzie to: *Acer campestre*, *Cornus mas* i *Taxus cuspidata*, dla strefy 6: *Buxus sempervirens*, *Hedera helix*, *Juglans regia*, *Quercus petraea* i *Taxus baccata*, a dla strefy 7: *Cedrus atlantica*, *Ilex aquifolium* i *Prunus laurocerasus*. Podział ten, powszechnie obowiązuje w Europie, ale także w Polsce zaraz po „kórnickiej” charakterystyce odporności gatunków na mróz.

Według klasyfikacji Krüssmanna przedział temperaturowy stref w Europie różni się od podziału zaproponowanego przez Heinze'a i Schreiber'a. Według pierwszego autora, Polska leży w znacznie chłodniejszej strefie niż przedstawiają to niemieccy autorzy - Heinze i Schreiber. Strefa 5 obejmuje dużo większy obszar północno-wschodni Polski oraz dodatkową górzystą część południowo-wschodnią, natomiast strefa 7, stanowi tylko niewielką północno-zachodnią część województwa zachodniopomorskiego. Istotność tych różnic jest szczególnie ważna, gdyż podział „kórnicki” jest bliższy Heinze'a i Schreiber'a. Tumiłowicz [2000] dokonuje porównania, twierdząc, że Krüssmann i jego podział, szczególnie strefy 6 (obowiązującej dla Polski) zawiera zbyt znacznie różniące się regiony pod względem klimatycznym, tj. Olsztyn, Siedlce, ciepły Poznań, Wrocław, a także Berlin, Drezno, Praga, Norymbergę i Monachium. Autor wskazuje na uzasadniony wybór „kórnickiej” klasyfikacji jako tej właściwej.

Warunki klimatyczne miasta Krakowa różnią się od tych, które panują w terenach pozamiejskich. Głównymi czynnikami warunkującymi środowisko miejskie jest: natężenie promieniowania słonecznego, temperatura powietrza, prędkość wiatru i tzw. „przeciągi komunikacyjne”, zaleganie pokrywy śnieżnej oraz zanieczyszczenie powietrza [Lewińska 2000, Matuszko i Piotrowicz 2015].

Usłonecznienie, jak podaje serwis pogodowy METEO IMGW-PIB [<https://meteo.imgw.pl/> 20.05.2023] czyli czas operacji słonecznej słońca zależne są od lokalizacji, topografii oraz zachmurzenia. Według Marciniaka i Wójcika [1991] oraz Lewińskiej [2000] obszary poza miastem odznaczają się większym usłonecznieniem niż tereny miasta. W latach 2001-2006 Matuszko i Piotrowicz [2015] podały, że w Krakowie średnia roczna suma usłonecznienia wyniosła 1588,8 godzin z pomiarów w Ogrodzie Botanicznym, a 1539,3 godziny z pomiaru ze stacji w Balicach. Za najbardziej słoneczną porę roku uznali lato (240,0 h), a najmniejsze nasłonecznienie odnotowano w zimie (39,5 h). Według danych z METO IMGW-PIB roczna suma usłonecznienia w Polsce w roku 2020 zawierała się pomiędzy 1700 godzin, a 2200 godzin i była większa od normy klimatologicznej, która wynosi od 100 do 600 godzin. Portal podaje, że słońce najdłużej świeciło nad południowo-zachodnią i południowo-wschodnią Polskę, a także w okolicach Wybrzeża Środkowego.

Klimat miasta charakteryzuje się występowaniem wyższej temperatury powietrza niż w terenach pozamiejskich. Zjawisko to określa się jako miejską wyspę ciepła [Fortuniak 2003, Szymanowski 2004]. Przyczynami jej powstania jest akumulacja ciepła przez materiały budowlane z których wykonane są budynki oraz pozostała infrastruktura miasta. W Krakowie obserwujemy w przeciągu ostatniego 10-lecia olbrzymi wzrost działań deweloperskich, które są przyczyną zabudowania każdej wolnej przestrzeni tego miasta. Emisja ciepła, która

uwalniania jest do atmosfery wynika także z procesów spalania m.in. węgla i gazu, oraz transportu samochodowego [Lewińska 2000]. Kraków jest zatem przykładem miasta, gdzie występuje zjawisko, jakim jest miejska wyspa ciepła. Charakteryzuje się ona dużymi wahaniami temperatur w ciągu doby i roku. W trakcie zimy obserwuje się największe różnice temperatur powietrza, szczególnie podczas bezchmurnych i bezwietrznych nocy. Dynamika intensywności miejskiej wyspy ciepła związana jest także z wielkością miasta i liczbą mieszkańców. Różnica temperatur między miastem a peryferiami najczęściej wynosi do 7°-10°C [Szymanowski 2004]. W latach 2001-2010 prowadzonych badań przez Matuszko i Piotrowicz [2015] intensywność miejskiej wyspy ciepła wyniosła średnio 1,2°C, ale jak podają autorki w skrajnych przypadkach może osiągać nawet wartości 5°-7°C. Z porównania przebiegu temperatur dwóch stacji badawczych w Ogrodzie Botanicznym i w Balicach wynika, że z roku na rok temperatura miasta w każdym miesiącu jest wyższa niż w terenach pozamiejskich. Według danych METEO IMGW-PIB ostatnie 20-lecie to najcieplejszy okres od połowy XX wieku. W tym okresie odnotowano najcieplejszą zimę w sezonie od grudnia 2019 do lutego 2020 roku (średnio 3,1°C), najcieplejszą wiosnę odnotowano w 2007 roku (10°C), a najcieplejsze lato w 2019 roku (średnio 19,9°C), jesień należała do najcieplejszych w 2006 roku (11°C). A zatem uprzednio opisany podział Polski na strefy w odniesieniu do obecnego stanu klimatycznego Polski jest już nieaktualny. Pomimo, tego wielu architektów krajobrazu oraz ogrodników nadal posługuje się tymi wytycznymi.

Tab. 1. Temperatura powietrza. Zmienność warunków termicznych, 1951-2020 wg METEO IMGW-PIB [<https://meteo.imgw.pl/> 20.05.2023].

DEKADA	ŚREDNIA TEMPERATURA POWIETRZA (°C)		OKRES NORMALNY
1951-1960	7,25		
1961-1970	7,08		
1971-1980	7,25	7,19	1951-1980
1981-1990	7,61	7,31	1961-1990
1991-2000	7,91	7,59	1971-2000
2001-2010	8,22	7,91	1981-2010
2011-2020	9,33	8,73	1991-2020

ROK	ŚREDNIA TEMPERATURA POWIETRZA (°C)				ROK
	ZIMA	WIOSNA	LATO	JESIEŃ	
2000	0,5	9,9	16,9	10,2	9,5
2001	0,5	7,9	17,6	8,7	8,3
2002	0,2	9,7	19,0	8,3	9,1
2003	-3,8	8,2	18,6	8,3	8,3
2004	-0,9	7,9	17,1	9,1	8,3
2005	-0,1	7,3	17,2	9,3	8,3
2006	-3,2	7,0	18,7	11,0	8,7
2007	2,7	10,0	18,3	7,6	9,4
2008	1,7	8,4	18,0	9,1	9,4
2009	-0,7	8,8	17,5	9,3	8,5
2010	-3,2	7,9	18,7	8,0	7,5
2011	-3,0	8,9	17,9	9,0	8,9
2012	-1,2	9,3	18,0	9,4	8,5
2013	-1,8	6,8	18,3	9,2	8,5
2014	1,3	9,8	17,9	10,0	9,6
2015	1,1	8,5	18,9	9,3	9,7
2016	1,8	9,0	18,2	8,9	9,2
2017	-0,9	8,8	18,2	9,4	9,0
2018	0,1	9,8	19,5	10,2	9,8
2019	1,0	9,2	19,9	10,4	10,2
2020	3,1	8,1	18,6	10,4	9,9

Tabela pokazującą wartości średnich temperatur w Polsce ilustruje postępujący wzrost temperatury powietrza z dekady na dekadę. Najniższą średnią temperaturę w zimie w ostatnim 10-leciu odnotowano w 2013 roku i wyniosła ona  $-1,8^{\circ}\text{C}$ , w 2017 roku  $-0,7^{\circ}\text{C}$ , a pozostałe lata miały dodatnie średnie temperatury w okresie zimowym. W Krakowie w latach 2001-2010 nie odnotowano w każdym roku dni bardzo mroźnych tj. poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$ . Takie temperatury występowały średnio tylko przez około 12 dni przez 10 lat badań w stacjach meteorologicznych Ogrodu Botanicznego i w Balicach [Matuszko i Piotrowicz 2015].

Warunki wilgotnościowe powietrza w Krakowie wskazują na wysuszającą rolę miasta, gdzie odnotowuje się niskie wartości wilgotności względnej oraz więcej dni suchych, a mniej dni z mgłą [Matuszko i Piotrowicz 2015]. Zjawisko to związane jest z bardzo dynamicznym rozwojem miasta. Wzrost gęstości zabudowy, zmiana powierzchni roślinnych na betonowe i asfaltowe, likwidowanie powierzchni biologicznie czynnej doprowadziły do redukcji retencji wód opadowych i szybkiego spływu powierzchniowego. Przebieg procesów parowania i transpiracji w lecie jest utrudniony, a w zimie rośnie emisja sztucznego ciepła do atmosfery [Lewińska 2000, Matuszko i Piotrowicz 2015].

Autorki pracy nad klimatem Krakowa [Matuszko i Piotrowicz 2015] w latach 2001-2010 obserwują większe zachmurzenie w centrum miasta niż poza nim, zwłaszcza w letnich miesiącach roku. Różnice te, jak wskazują, nie są jednak zbyt duże. Zachmurzenie występuje częściej w dni występowania chmur konwekcyjnych. Z kolei te powodują większą liczbę burzowych dni i większe sumy opadów. Większa liczba dni deszczowych związana jest z częstym występowaniem opadów śladowych, które wywołują zanieczyszczenia miasta. W centrum miasta Krakowa notuje się większe opady atmosferyczne niż na jego peryferiach, podobnie jak burze. Zjawisko to może mieć pochodzenie antropogeniczne i, jak podaje Lewińska [2000], wywołane jest emitowaniem sztucznego ciepła przez miasto, szczególnie w okresie grzewczym, co wzmacnia konwekcję powietrza.

Zaleganie pokrywy śnieżnej jest kolejnym ważnym aspektem w uprawie zimozielonych roślin liściastych. Na jej występowanie ma wpływ temperatura powietrza, suma opadów atmosferycznych, zwłaszcza w postaci stałej, warunki nasłonecznienia oraz cyrkulacja powietrzna [Falarz 2007]. Wysokie temperatury powietrza, jakie odnotowuje się w Krakowie z roku na rok, mogą powodować zmniejszanie długości zalegania i grubości pokrywy śnieżnej, ale wyższe sumy opadów mogą z kolei wpływać na jej wzrost. Według Matuszko i Piotrowicz [2015] zbadanie pokrywy śnieżnej było w Krakowie trudne do analizy, ponieważ w swojej pracy poświęconej badaniom nad klimatem Krakowa w latach 2001-2010 autorki nie miały danych porównawczych ze stacji Balice. Powołują się na wyniki badań Falarz [1998] i Pajek

[200-2001] prowadzonych w Gaiku-Brzezowej, które nie wskazują jednoznacznie na to, by warunki miasta, szczególnie miejskiej wyspy ciepła, miały wpływ na długość oraz grubość zalegania pokrywy śnieżnej. Można się jednak spodziewać, że obserwowane ocieplenie klimatu Krakowa, chociażby przez zmieniającą się zabudowę tego miasta może mieć jednak istotny wpływ na topnienie śniegu.

Wiatr jest jednym z najważniejszych czynników pogodotwórczych oraz klimatotwórczych, który determinuje uprawę RZ. Cyrkulacja atmosferyczna w Polsce zmienia się z dnia na dzień, a nawet kilkakrotnie w ciągu dnia. Miasto Kraków jako obszar mocno zurbanizowany w ostatnim 20-leciu tworzy swoją charakterystyczną rzeźbę terenu ze względu na swoją zmienność wysokości i kształtów budynków, która wpływa na osłabienie prędkości wiatrów [Fortuniak i Kłysik 2008]. Zwiększenie prędkości wiatru w mieście generowane jest często w nocy pod wpływem występowania miejskiej wyspy ciepła [Fortuniak 2003]. Wyższa temperatura powietrza ma także wpływ na inicjację cyrkulacji bryzowej tzw. bryzy miejskiej, która odznacza się wysokimi prędkościami wiatru w stosunku do słabego wiatru na peryferiach miasta. Kolejną sytuacją, która wzmacnia prędkość wiatru jest powstawanie tzw. wiatru tunelowego. W miejskiej zabudowie dochodzi także do występowania dużych przeciągów powietrznych np. między wieżowcami i/lub w wyniku różnicy ciśnienia atmosferycznego związanego z nagrzanymi i pozostającymi w cieniu ulicami [Fortuniak 2003].

Odnotowuje się, że kierunek wiatru w Krakowie i w okolicach miasta silnie zależy od ukształtowania terenu. Spływ chłodnego powietrza następuje w bezchmurne noce od przebiegu dna doliny Wisły (wschód-zachód), która ograniczona jest od południa i północy wzniesieniami [Matuszko i in. 2014]. Analiza prędkości wiatrów w dwóch stacjach meteorologicznych w Ogrodzie Botanicznym i Balicach wykazała, że w Balicach, czyli bardziej na obrzeżach miasta, prędkość wiatru była ponad dwukrotnie większa niż w centrum miasta [Matuszko i Piotrowicz 2015]. Redukcja prędkości wiatru w mieście związana jest także z występowaniem cisz atmosferycznych. Najwięcej cisz odnotowuje się w godzinach porannych i wieczornych, a w godzinach okołopołudniowych, w związku z największym ruchem, cisze atmosferyczne występują z najmniejszą częstotliwością, ale w centrum miasta jest ich znacznie więcej niż poza obszarem zurbanizowanym [Matuszko i in. 2014].

#### 2.4.1. WPŁYW CZYNNIKÓW STRESOWYCH NA PRZEŻYWALNOŚĆ LIŚCIASTYCH ROŚLIN ZIMOZIELONYCH

Wybór stanowiska planowania roślin zimozielonych, a tym samym warunki siedliskowe, jakie będą na nim panować, decydują o występowaniu możliwych zaburzeń

procesów fizjologicznych i często związanych z tym widocznych uszkodzeń, osłabienia wzrostu lub całkowitego zamierania [Malinowska 2012].

Zdolność przetrzymywania roślin zimozielonych wiąże się ze zmianami zawartości wody ogólnej, w tym wolnej i związanej (tworzącej otoczkę hydratacyjną makrocząsteczek), stężeniem soku komórkowego oraz ruchami higronastycznymi liści [Arora 2013]. Zimą stan uwodnienia komórek od 65% do 70% obserwuje się u liści młodych, maleje on wraz ze starzeniem się rośliny. Zależy jest od gatunku i bardziej uwodnione liście spotyka się u form o mniejszej zimotrwałości. Wraz z wiekiem liści zimozielonych, a także w połowie lata, jesienią i zimą zawartość wody w komórkach maleje i na początku okresu wegetacyjnego jest niższa o 9-18% w porównaniu do stanu młodej rośliny [Fischer i Schaä 2008.]. Arora i in. [1992] nie odnotowują znacznego wpływu spadków temperatury poniżej 0°C na proces uwodnienia. Mniejsza zawartość wody ogólnej odbywa się kosztem wody wolnej. U wieloletnich okazów zawartość wody ogólnej w liściach spada, głównie z powodu obniżenia zdolności protoplastu do jej utrzymywania.

Najstarsze liście charakteryzują się najwyższą zawartością wody wolnej i wraz z przyjsciem największych mrozów (styczeń/luty) ulega ona obniżeniu do minimum. W połowie października, gdy temperatura dobową wynosi poniżej 5°C rośliny przechodzą pierwsze rozhartowanie i wtedy następuje gwałtowny spadek zawartości wody wolnej. Spadki temperatur przyczyniają się wyraźnie do jego obniżenia, jednak przebiega to z dwutygodniowym opóźnieniem. Wiosną, gdy temperatury są dodatnie, poziom wody ulega podniesieniu wraz z aktywizacją wszystkich procesów fizjologicznych przygotowujących do wegetacji [Hormaetxe i in. 2006]. Borowski i Pstrągowska [2010] podają, że zdolność do gromadzenia się wody na zimę w pniach i gałęziach posiadają rośliny drzewiaste. Wyka i in. [2013], udowadniają, że rośliny o całorocznym ulistnieniu magazynują więcej wody w liściach niż w pędach, a wraz z wiekiem dysproporcja ta pogłębia się jeszcze bardziej. Naturalnym zbiornikiem wodnym w tego typu gatunkach są liście starsze.

Kolejnym czynnikiem warunkującym uszkodzenia istotnie wpływającym na uwodnienie soku komórkowego w liściach roślin zimozielonych jest obecność cukrów rozpuszczalnych i nierozpuszczalnych oraz ich przemiany. Przez cały okres wegetacji liście zawierają cukry rozpuszczalne oraz skrobię. Wraz ze spadkiem temperatury poniżej 0°C, skrobia ulega rozkładowi, a wzrasta zawartość cukrów rozpuszczalnych [Czekalski i Aniśko 1986]. U azalii - roślin półzimozielonych [Chojnowska i Chojnowski 2003], czyli takich, u których liście częściowo opadają przed zimą - proces przemiany cukrów trwa krótko, a zaraz przed nim następuje rozkład wielocukrów i ich odpływ do tkanek zapasowych w pędach.

Z kolei u roślin zimozielonych, zawartość cukrów rozpuszczalnych wzrasta do okresu stycznia-luty, co poprawia znacznie ich zimotrwałość. W połowie października zwiększa się zawartość jednocukrów. Rozkład sacharozy występuje natomiast znacznie wcześniej i również wcześniej osiąga maksimum. Nagłe spadki temperatur zimą nie wywołują takich zmian jak pierwsze przymrozki jesienne. Zmiany zawartości sacharozy, związane z wahaniami temperatury również występują z pewnym opóźnieniem. Obecność sacharozy w ciągu całego roku jest niewielka [Czekalski 1999].

Okres wegetacji to czas, w którym ilość cukrów, tzn. około 70-80% jest zdecydowanie większa w liściach będących w trakcie wzrostu, niż w starszych. Jednocukrów jest o 3-4 razy więcej niż dwucukrów, których rosnące liście mają mniej niż starsze. W liściach, które rozpoczynają wzrost i wegetację, jednocukry są syntetyzowane i wykorzystywane do regulacji potencjału osmotycznego. Cukry pełnią funkcję energetyczną niezbędną do wzrostu komórek i w związku z tym ich ilość w miarę upływu czasu maleje [Czekalski 2001]. W monografii dotyczącej intensywności fotosyntezy, Starck i in. [1995] podają, że w dojrzałych liściach cukry rozpuszczalne nie gromadzą się w trakcie lata, lecz ulegają przemieszczeniu do rosnących organów i tam zostają zużywane. Autorzy potwierdzają, że proces rozkładu cukrów odgrywa kluczową rolę w zimotrwałości roślin o całorocznym ulistnieniu i zależy przede wszystkim od wieku liści. W liściach starszych dominują jednocukry, które zwiększają potencjał osmotyczny wiążąc wodę w wakuolach. Młode liście zawierają sacharozę i to ona w głównej mierze stabilizuje cytoplazmatyczne struktury i bierze udział w tworzeniu hydrofilnych struktur. Liście zimozielonych pełnią więc funkcje magazynu dla cukrów, oprócz tego fotosyntetyczną oraz transpiracyjną. Wraz z wiekiem liści zmniejsza się intensywność przebiegu wszystkich procesów z udziałem cukrów, ponieważ liście przejmują rolę związaną z przystosowaniem roślin do tej pory zimowej. Jednakże poziom cukrów nie jest jedynym czynnikiem wpływającym na uszkodzenia i wynika on z naturalnych procesów fizjologicznych.

Planowanie nasadzeń liściastych roślin zimozielonych na stanowiskach słonecznych z mocnym udziałem wschodnich wiatrów działa szczególnie niekorzystnie w okresie zimowym, gdy woda zawarta w roślinie wyparowuje, zwłaszcza podczas ciepłych dni i wiejących wiatrów, co wywołuje nadmierną transporację. Jej intensywność wynikająca z naturalnego przebiegu procesu rozwoju zwiększa się u młodszych liści wraz z ich wzrostem i osiąga maksimum od sierpnia do połowy września. Następnie gwałtownie spada, ale nie zanika nawet przy temperaturze  $-15^{\circ}\text{C}$ . Niewłaściwe stanowisko planowania roślin zimozielonych potęguje więc intensywność transpiracji, która u młodych liści przebiega szybciej i mocniej niż u starszych. Transpiracja u liści starszych skorelowana jest z zawartością



wody wolnej. Zależność ta nie występuje u młodych, rosnących liści. Jesienią, gdy temperatury spadają poniżej 5<sup>0</sup>C, następuje osłabienie transpiracji, co wprowadza roślinę w stan spoczynku [Bach i in. 2006].

Przystosowanie anatomiczne roślin zimozielonych istotnie wpływa na stan uszkodzenia ich liści. Przykładem jest licznie występująca grupa ponad 200 okazów *Rhododendron* sp., określonych na badanych terenach miejskich Krakowa. Wśród wszystkich zinwentaryzowanych nigdzie nie wystąpił różanecznik *Rhododendron yakushimanum*, który w swej anatomii posiada liście pokryte włoskami kutnerowatymi tarczowatymi na dolnej stronie liści i grubej kutykuli na górnej stronie. Pozostałe to większości *Rhododendron catawbiense*. Taki układ anatomiczny liści, jak u *R. yakushimanum*, mógłby wzmacniać naturalną ochronę przed ewentualnymi uszkodzeniami. Objawia się ona także w występowaniu kilkuwarstwowej skórki, a w miękiszu asymilacyjnym silniej rozbudowanej tkanki mechanicznej i przewodzącej [Czekalski 1980]. Nilsen i Tolbert [1993] wspominają także o funkcji zwijania liści różaneczników w rurkę przy ujemnych temperaturach, jako naturalnej formie ochrony przed nadmierną transpiracją. Izolowanie aparatów szparkowych, które znajdują się na spodniej stronie, od wpływu warunków zewnętrznych, znacznie zmniejsza intensywność transpiracji. Nieodpowiednie, wietrzne stanowisko oraz zwijanie się liści z przyczyn utraty turgoru potęguje jednak ich wysychanie, a podczas mrozów dodatkowo tworzy się lód w przestworach międzykomórkowych. Zamarzanie tej wody może doprowadzić także do naturalnego uszkodzenia komórki, a nawet śmierci przez zakłócenie jej metabolizmu lub mechaniczne oddziaływanie kryształów lodu tworzących się wewnątrz komórki. Proces odbywa się w oparciu o naturalne zwijanie się liści. Lód stanowi zagrożenie wówczas, gdy ulega rozmarzaniu w przestworach międzykomórkowych. Nagły dopływ wody prowadzi do wysokich napięć niszczących strukturę cytoplazmy. Zwijanie się liści obserwuje się jednak nawet przy dodatniej temperaturze, pod koniec zimy wskutek niedoboru wody.

Ważnym zjawiskiem warunkującym zwiększoną przeżywalność roślin zimozielonych i ich liści, jest obecność śniegu w zimie. W ostatnich latach obserwujemy bezśnieżne zimy z dodatnimi temperaturami. Śnieg pojawia się gdy przychodzi kalendarzowa wiosna, a wraz z nią rusza vegetacja. Liście niektórych gatunków roślin, np. *Rhododendron* sp. pokryte śniegiem nie zwijają się, następuje to dopiero po jego stopnieniu. Nawadnianie oraz deszcze jesienne znacznie opóźniają zwijanie się liści.

Światło nie wpływa na zwijanie się liści u gatunków, u których przebiega ten proces, chyba, że jest to bezpośrednie nasłonecznienie. Mała pojemność cieplna liści pozwala im na

szybkie nagrzanie nawet przy bezchmurnym niebie. Intensywność transpiracji może być wtedy wzmożona ze względu na ich większą temperaturę w stosunku do otoczenia. Poza tym światło jest czynnikiem otwierającym aparaty szparkowe, co bezpośrednio wpływa na intensywność transpiracji [Chojnowska 2000]. Światło może być także czynnikiem stresowym. Rośliny zimozielone wymagają odpowiedniego stanowiska półcienistego lub cienistego. Bezpośrednie promieniowanie wraz z niską temperaturą w zimie lub okresowo występującymi przymrozkami na wiosnę, zwiększają ryzyko występowania suszy fizjologicznej lub oparzeń słonecznych widocznych na liściach [De Jong i in. 2012]. Zalecenia dotyczące uprawy roślin zimozielonych podają, że tego typu rośliny powinny być osłaniane przed porannym i południowym nasłonecznieniem oraz suchym wiatrem od wschodu. Do tego typu działań należy np. przykrycie korony krzewów agrowłókniną podczas silnych mrozów bezśnieżnych, nawet wiosennych przymrozków oraz w trakcie intensywnego nasłonecznienia, a także zastosowanie grubej warstwy ściółki z jesiennych liści w strefie korzeni, co chroni przez cały rok przed uszkodzeniami [Banaszczak i Tumiłowicz 2007].

Biorąc pod uwagę wymagania siedliskowe i potencjalne czynniki stresowe w nasadzeniach miejskich za cel pracy postawiono:

- Analizę występowania gatunkowego i ilościowego RZ liściastych w terenach miejskich Krakowa,
- Ocenę wpływu warunków środowiskowych, klimatycznych oraz konserwacji i pielęgnacji na kondycję RZ,
- Analizę stanu fizjologicznego aparatu fotosyntetycznego RZ,
- Ocenę zastosowania przenośnych urządzeń spektroskopowych do oceny kondycji liści RZ i ich reakcji na czynniki środowiska w warunkach miejskich,
- Stworzenie wytycznych do nasadzeń wybranych RZ w terenach miejskich na podstawie przeprowadzonych badań fizjologicznych.

## 2.5. PRZEGLĄD STOSOWANYCH METOD BADAWCZYCH

### **Inwentaryzacja obiektów badawczych występowania roślin zimozielonych (RZ) w terenach zieleni Krakowa**

Celem inwentaryzacji dendrologicznej była ocena struktury nasadzeń roślin zimozielonych w terenach zieleni jednostek mieszkaniowych i usługowych Krakowa. Oceniano także fizjologiczny stan RZ, ich przeżywalność i przydatność w terenach miejskich. Analiza zebranego materiału miała ustalić w jaki sposób warunki środowiskowe, klimatyczne, ekonomiczne oraz konserwację i pielęgnację wpływają na kondycję wymienionych krzewów.

Inwentaryzacja miała także na celu wskazanie miejsc występowania RZ pod względem ilościowym oraz gatunkowym w terenach zieleni Krakowa.

Zakładano, że na nowo powstałych osiedlach (istniejących do 10 lat) w Krakowie występuje nieprawidłowy dobór gatunków i odmian RZ względem ich wymagań stanowiskowych oraz prowadzona jest nieprawidłowa pielęgnacja. Powstałe na etapie projektowym nieprawidłowości skutkują złym stanem zdrowotnym roślin, osłabieniem i pogorszeniem walorów estetycznych, a w konsekwencji generują koszty ich utrzymania.

### **Badania fizjologiczne wybranych taksonów roślin zimozielonych (RZ)**

Głównym celem badań w dziedzinie agronomii w szybko rozwijającym się świecie jest zwiększenie wydajności obszarów rolniczych, które potrzebują bardziej produktywnych i lepiej dostosowanych odmian roślin. Rośliny ozdobne w uprawie szkółkarskiej niewątpliwie mogą być także roślinami rolniczymi. Stosowane badania fizjologiczne nad fenotypem roślin rolniczych w celu zwiększenia wydajności upraw są takie same jak u roślin ozdobnych, gdyż wymagają tego samego procesu poznawczego znajomości fizjologii roślin.

Fotosynteza jest uważana za dobrą miarę ogólnej wydajności roślin. Udział energii świetlnej oraz szereg procesów zachodzących w komórkach wpływa na wszystkie aspekty metabolizmu roślin i fizjologii. Dlatego ocena takich zjawisk oraz aparatu fotosyntetycznego odgrywa bardzo ważną rolę w ocenie kondycji roślin liściastych zimozielonych [Walter i in. 2015, Lootens i in. 2016].

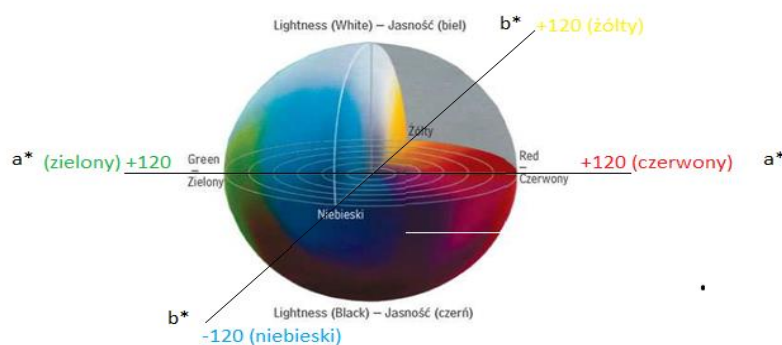
Celem badań fizjologicznych wybranych liściastych roślin zimozielonych na Kolekcji Roślin Zimozielonych Wydziału Biotechnologii i Ogrodnictwa było sprawdzenie za pomocą oceny barwy w układzie kolorymetrycznym, w jaki sposób temperatura otoczenia w warunkach miejskich determinuje zmiany fizjologiczne zachodzące w liściach roślin zimozielonych. Uzupełnieniem metody badawczej były badania fluorescencji chlorofilu *a* liści zimozielonych na Kolekcji Roślin Zimozielonych. Badania fizjologiczne dotyczyły także innych terenów miejskich Krakowa.

### **Ocena barwy liści spektrofotometrem w systemie $L^*a^*b$ , $\Delta E$**

Postrzegając barwę wykorzystujemy wrażenie wzrokowe wywoływane przez zakres promieniowania elektromagnetycznego. Jednak ocena barwy i jej interpretacja przez człowieka jest zjawiskiem złożonym i zależy od wielu czynników. Związana jest z właściwościami fizycznymi światła, fizjologią widzenia i budową oka oraz z punktu widzenia psychologicznego i neurologicznego, budowy układu nerwowego i mózgu [Rybczyński i Dobrzański 2004].

Barwa określa cechy fizyczne badanego podmiotu, może informować o składzie chemicznym, a tym samym o jego przydatności, przechowywaniu, możliwości transportu czy uprawy [Ozkan i in. 2003]. Aktualnie wyróżnia się dwie metody oceny barwy, ocenę sensoryczną oraz pomiar instrumentalny.

Analiza sensoryczna wymaga przeprowadzenia i przeszkolenia zespołu oceniającego oraz zastosowania metod, które obarczone są pewnym subiektywizmem. Zaletą tej metody jest szybkość oceny, szczególnie gdy badany podmiot nie jest jednorodny. Subiektywizm odbioru spowodował opracowanie najbardziej obiektywnej metody liczbowego opisu barwy i oceny różnicy barwy w stosunku do wzorca barwy [Zapotoczny i Zielińska 2005]. Obecnie do pomiaru barwy najczęściej wykorzystywane są spektrofotometry. Pomiary dokonuje się na podstawie odbicia lub transformacji światła. Wynikami pomiarów są przykładowo krzywe spektralne, mierzone w zakresie widzialnym. Sposób tego instrumentalnego określania barwy został opracowany i znormalizowany przez Międzynarodową Komisję Oświetleniową – Commission Internationale de l’Eclairage (CIE) [Anonim 1986]. Widma tkankowe absorpcyjne można wykonywać nawet na cienkich powierzchniach o minimalnej średnicy 0,5 cm. Widma refleksyjne otrzymuje się obecnie na przenośnych spektrofotometrach, które umożliwiają dotarcie do żywych roślin i ich pomiar na stanowisku, nie wykluczając dalszych pomiarów laboratoryjnych. Znormalizowana w 1976 roku przez CIE przestrzeń barw precyzuje obiektywną ocenę barwy, wykorzystywaną przez spektrofotometr [Woźniak 2013]. Program spektrofotometru Minolta uzyskuje nie tylko widmo refleksyjne, ale także otrzymuje wyniki pomiarów o współrzędnych  $L^*a^*b^*$ . Zalecany system przez CIE o nazwie CIELab, składa się



z trzech osi,  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$ , które usytuowane są względem siebie pod kątem prostym i definiują tonację barwy (Ryc. 1). Wartości  $a^*$  to barwy od zielonej do czerwonej,  $b^*$  to wartości na osi od żółtej do niebieskiej. Trzecia oś, oznacza jasność  $L^*$  (luminancję). Jest ona

Ryc. 1. Przestrzenny obraz współrzędnych  $L^*a^*b^*$  [Kazimierska 2014].

prostopadła do płaszczyzny  $a^*$  i  $b^*$ . Wartości  $L^*$  mieszczą się w przedziale od 0 (czarna) do 100

(biel) [Kazimierska 2014]. Te trzy płaszczyzny definiują wspomnianą wcześniej przestrzeń barw.

Z przeglądu literatury [Motonaga i in. 1997, Herold i in. 2013, Szopa i in. 2009, Łysiak 2012] wynika, że większość prac oceny barwy w pomiarach spektrofotometrycznych znajduje zastosowanie w ocenie procesów technologicznych w różnych dziedzinach nauki, jak wzornictwo, dekoracje ceramiczne, produkcja samochodów itp., czy w rolnictwie, np. strukturalne różnicowanie owoców i warzyw. Niewiele jest natomiast badań na roślinach ozdobnych. Tymczasem rośliny i ich barwy różnicowane są najczęściej na podstawie ich koloru odpowiadającego danej sklasyfikowanej odmianie. W wielu wypadkach kontrola barwy ich liści dokonywana jest wizualnie, gdy można stwierdzić wiele uszkodzeń wywołanych przez różne czynniki biotyczne i abiotyczne w terenach zieleni. Niestety indywidualne odczucie barwy jest zróżnicowane. Skrajną trudność stanowi zdefiniowanie określonej barwy, która zależy od indywidualnej percepcji obserwatora, jego wiedzy ogrodniczej i interpretacji opisu w oparciu o sklasyfikowane taksony gatunkowe. Ze względu na subiektywizm odbioru możemy stwierdzić ogólnie, że liście są zielone, a występująca ich różnorodność to cecha waloryzująca ich odmianę.

Barwa liści roślin zimozielonych uwarunkowana jest odmianowo w obrębie danego gatunku. Ocena barwy metodą porównawczą w systemie Royal Horticulture Society Color Chart (RHS CC) jest niełatwa ze względu na trudne do uchwycenia dla oka odcieni barw. Polega na porównaniu barwy badanej części rośliny z przyjętym wzorem kolorów. Kolory oznaczone są numerami. Porównanie zachodzi między ustalonym numerem, któremu odpowiada kolor w stosunku do badanej próbki.

Wykonane pomiary instrumentalne widm refleksyjnych spektrofotometrem Minolta dają natomiast obiektywną ocenę w postaci szeregu cyfr porównywalnych ze sobą. Barwy są identyczne, jeśli leżą w przestrzeni barw w tym samym punkcie, ich charakterystyki widmowe są zgodne, a różnice wszystkich parametrów barw są równe zero. Przykład takiego idealnego zrównania barw w praktyce spektrofotometrycznej jest nieosiągalny. Wynika to z różnych przyczyn np. czynników atmosferycznych, niewyrównanych odmian w produkcji roślin ozdobnych, możliwych występujących chorób czy w końcu zmian fizjologicznych, jakie zachodzą wewnątrz liścia, a niewidoczne są gołym okiem. Procesy te przyczyniają się do tego, że idealne zobrazowanie barwy wzorcowej jest praktycznie niemożliwe. Każdy materiał roślinny poddawany ocenie barwy obarczony jest pewnym odchyleniem kolorystycznym. W praktyce badawczej wprowadza się pojęcie tolerancji odchyłeń kolorystycznych czyli przedziału, w którym barwa może być uznana za praktycznie zgodną z wzorcem lub podobną

w stosunku do innych wyników. Ustalenia takie nie posiadają żadnych definicji akceptowalności barwy. Możliwe są jedynie ustalenia pomiędzy badaczami lub indywidualnie, że akceptowalność odpowiada zakresowi dopuszczalnych odchyleń pomiędzy pomiarami parametrów [Kazimierska 2014].

### **Ocena stanu fizjologicznego aparatu fotosyntetycznego RZ na podstawie fluorescencji chlorofilu *a***

Technika fluorescencji chlorofilu (Chl) jest szybką i ekonomiczną metodą pomiaru procesów fotosyntetycznych. Dzięki niej otrzymujemy na dużą skalę bardzo wiele danych, które z kolei dostarczają informację o stanie roślin i ostatecznie jest parametrem wyboru w selekcji roślin [Maxwell i Johnson 2000(A), Murchie i Lawson 2013]. Pomiar procesu fotochemicznego na poziomie PSII i zawartości pigmentów fotosyntetycznych daje jasny obraz przechodzenia rośliny przez stres [Kalaji i in. 2016]. W ostatnich latach pomiar fluorescencji Chl stał się popularną metodą oceny wpływu różnych czynników stresowych na przebieg fotosyntezy. Analiza parametrów fluorescencji Chl może być użyta jako precyzyjne narzędzie do testowania odpowiedzi niekorzystnych warunków środowiskowych na fotosyntezę, a zatem pośredniego wpływu na rośliny [Strasser i in. 2000, Fracheboud i Leipner 2003, Dai i in. 2009, Kuckenbergl i in. 2009,]. Techniki fluorescencji Chl wykorzystywane są do dokładnego zbadania skutków różnych czynników stresu, takich jak wysoka i niska temperatura [Mathur i in. 2011], intensywność promieniowania, stres wodny, zasolenie [Mehta i in. 2010], herbicydy jako inhibitory fotosyntezy, metale ciężkie [Mathur i in. 2016], zanieczyszczenia pyłem w miastach [Tomar i Jajoo 2014] czy materiały fitotoksyczne na roślinach w atmosferze [Dai i in. 2009]. Analizy można przeprowadzić zarówno na pojedynczych roślinach jak i na całych ekosystemach, aby ocenić tolerancję na indywidualne lub różne czynniki stresowe [Maxwell i Johnson 2000 (A), Kalaji i in. 2016]. Pomiary fluorescencji Chl pozwalają wykryć reakcję na stres przed zauważeniem widocznych uszkodzeń (martwica, chloroza, wędnięcie) lub zanim zostaną widoczne po zastosowaniu innych metod, takie jak zmiany zawartości Chl [Kalaji i Guo 2008, Tsimilli-Michael i Strasser 2008].

Szybki pomiar fluorescencji Chl może dać także wyobrażenie o przydatności rośliny do różnych abiotycznych czynników stresowych na podstawie wskaźnika wydajności PI, który jest parametrem zintegrowanych z  $F_v/F_m$ , a który uwzględnia różne zjawiska związane z aktywnością fotochemiczną PSII [Kalaji i in. 2018].

## **Analiza morfologiczna liści za pomocą programów WinDIAS i ImageJ**

System WinDIAS oraz program ImageJ oferują specjalistyczne funkcje analizy obrazu, które są bardzo przydatne w szeroko rozumianych badaniach fizjologii roślin.

System WinDIAS ma wiele możliwości zastosowań laboratoryjnych – począwszy od prostych pomiarów powierzchni liści do złożonych pomiarów rozkładu kolorów. Program ten jest zoptymalizowany do szybkich analiz powierzchni na podstawie zróżnicowania kolorów, co czyni go bardzo przydatnym w ocenie kondycji liści. Program wykonuje pomiary po wprowadzeniu podstawowych ustawień. Za pomocą kursora oraz myszki wybiera się obszar oraz do 10 progów kolorów dla wybranej części liści lub całego liścia i dwa zakresy po 10 progów dla innej części liścia np. różnice kolorów między górnymi i dolnymi blaszkami liścia. Obszary, których kolory zostały zdefiniowane w pierwszym, drugim i trzecim zakresie progów kolorów są natychmiast wyróżnione na ekranie, co pozwala na kontrolę prawidłowości zdefiniowania progów kolorów [Nick 2011]. Po prawidłowym zdefiniowaniu kolorów program WinDIAS wykonuje obliczenia powierzchni, kształtu liści i innych jego parametrów.

ImageJ to także program do komputerowego przetwarzania obrazu, napisany w programie Java. Program wyświetla, edytuje, analizuje, przetwarza, zapisuje oraz drukuje obrazy o 8, 16 i 32 bitowej głębi kolorów. Obsługiwane są m.in. następujące formaty plików graficznych – TIFF, GIF, JPEG, BMP, PNG, PGM, FITS, DICOM, a także obrazy RAW [Barboriak i in. 2005]. Narzędzie pozwala na obliczenie rozmiarów dowolnego zaznaczenia grafiki oraz kalkuluje ilość pikseli w nim zawartych, potrafi także mierzyć odległości i kąty pomiędzy punktami lub elementami obrazów [Collins 2007]. Program umożliwia kalibrowanie przestrzeni obrazów pod względem miar rzeczywistych, a także daje dostęp do ustawień gęstości grafiki oraz skali szarości [Schneider i in. 2012].

W pracy wykorzystano program ImageJ do obliczenia powierzchni, kształtu, obwodu, długości, szerokości, współczynnika kształtu, krągłości oraz wielkości liści. Zastosowano go także do analiz histologicznych liści mierząc grubość liścia, grubość miększu palisadowego, gąbczastego, epidermy górnej i kutykuli oraz całkowite otwarcie porów szparkowych.

### **3. MATERIAŁ I METODY**

#### **3.1. INWENTARYZACJA OBIEKTÓW BADAWCZYCH WYSTĘPOWANIA LIŚCIASTYCH ROŚLIN ZIMOZIELONYCH W TERENACH ZIELENI KRAKOWA.**

Inwentaryzację dendrologiczną wykonano w latach 2014-2017. Obiektami badawczymi stanowiły tereny zieleni osiedli powstałych do 10 lat wstecz, jednostek mieszkaniowych i

usługowych oraz obiekty publiczne, na których zakładano występowanie RZ. Wytypowano następujące osiedla (Tab. 2):

Tab. 2. Spis inwentaryzowanych osiedli gdzie zakładano występowanie RZ w terenach zieleni Krakowa w latach 2004-2017.

<b>Nazwa osiedla/Ulica</b>	<b>Region Krakowa</b>
Mała Góra	Bieżanów – Prokocim
Słoneczne Miasteczko	Bieżanów – Prokocim
Wzgórze Aleksandry 20F i 20G	Bieżanów – Prokocim
Zielony Złocień	Bieżanów – Prokocim
Złocień	Bieżanów – Prokocim
Polana Borkowska	Borek Fałęcki
Apartamenty Pasternik	Bronowice
Apartamenty Pod Magnoliami	Bronowice
Bronowice Residence	Bronowice
Brama Zwierzyniecka	Bronowice
Chełmońskiego	Bronowice
Pasternik	Bronowice
Salwator City	Bronowice
Tarasy Verona	Bronowice
Zielony Mostek	Bronowice
Złota Podkowa	Bronowice Małe
Żeleńskiego	Bronowice Małe
Eldorado	Czyżyny
Fajny Dom	Czyżyny
Kłosowskiego 24	Czyżyny
Przy Parku	Czyżyny
Osiedle Avia	Czyżyny, Dębniki, Ruczaj
City Park	Dębniki
Enklawa Twardowskiego	Dębniki
Europejskie	Dębniki
Grota Roweckiego	Dębniki
Kapelanka/Brozka	Dębniki
Kapelanka 6a	Dębniki
Ks. St. Pawlickiego	Dębniki
Ludwinów	Dębniki
Millenia Fort	Dębniki
Na Skale	Dębniki
Nowe Kliny Zacisze	Dębniki
Pod Fortem	Dębniki
Polana Żywiecka Apartamenty	Dębniki
Sentopark (Invest Park)	Dębniki
Słoneczny Dom	Dębniki
Szwai	Dębniki
Twardowskiego (Leopard)	Dębniki
Wierzbowa (Leopard)	Dębniki



Za Fortem	Dębniki
Zachodnia 21	Dębniki
Zielony Ruczaj A,B,C,D	Dębniki
Osiedle Bobrzyńskiego	Ruczaj
Apartamenty Przy Bulwarze	Grzegórzki
Apartamenty Ludwinów	Grzegórzki
Atrium Verde	Grzegórzki
Cystersów	Grzegórzki
Dąbie Park	Grzegórzki
Dom pod Słowikiem	Grzegórzki
Józefińska 31	Grzegórzki
Kamienica Nova	Grzegórzki
Nowe Dąbie (BRE.locum)	Grzegórzki
Nowe Dąbie (SEMACO)	Grzegórzki
Wiślane Tarasy	Grzegórzki
Złota Brama	Grzegórzki
Dom nad Młynówką	Kleparz
Siemiradzkiego 25	Kleparz
ul. Łobzowska	Kleparz
Komuny Paryskiej	Kliny zacisze, Borek Fałęcki
Wichierkiewicza	Kliny zacisze, Borek Fałęcki
Aleja Kijowska	Krowodrza
Fabryka Czekolady	Krowodrza
Kijowska K. Wielkiego (Leopard)	Krowodrza
Kuźnica Kołłątajowska	Krowodrza
Lea Residence	Krowodrza
Ukryte Pragnienia	Krowodrza
Wallek-Walewskiego	Krowodrza
Wrocławska 80	Krowodrza
Wyspiański Park	Krowodrza
ul. Halszki – Łowieniecka	Kurdwanów
ul. Wysłouchów	Kurdwanów
ul. Huculska	Łagiewniki
ul. Obozowa	Łagiewniki
ul. Lipińskiego	Łagiewniki
Cegielniana Residence	Łagiewniki – Borek Fałęcki
Elka	Łagiewniki – Borek Fałęcki
Enklawa Łagiewnicka	Łagiewniki – Borek Fałęcki
Szylinga	Łagiewniki – Borek Fałęcki
Bohomolca (Dom Bud)	Mistrzejowice
Familijne	Mistrzejowice
Złoty Orłów	Mistrzejowice
Apartamenty Ostoja	Mydlniki
Enklawa Bronowicka	Mydlniki
Osiedle Rodzinne	Nowa Huta
„Czyżyny” Os. Dywizjonu 303	Nowa Huta
Broggi	Olsza
ul. Wodna	Płaszów

Avangarda	Podgórze
Cztery Domy	Podgórze
Dom Pod Kopcem	Podgórze
Garden Residence	Podgórze
Malwy	Podgórze
Mały Przewóz	Podgórze
Mój Dom	Podgórze
Myśliwska	Podgórze
Nad Wilgą	Podgórze
Nowy Przewóz	Podgórze
Ogród Płaszów	Podgórze
Pod Dębami	Podgórze
Przemysłowa 15	Podgórze
Villa Rejtana 4	Podgórze
Wielicka Park	Podgórze
Zielona Galicja	Podgórze
Halszki 28	Podgórze Duchackie
Klonowica (Wawel Service)	Podgórze Duchackie
MojeM2	Podgórze Duchackie
Nordic House	Podgórze Duchackie
Plejady	Podgórze Duchackie
Pszenna 5	Podgórze Duchackie
Słoneczna Macedonia	Podgórze Duchackie
Słoneczne Wzgórze	Podgórze Duchackie
Twoje M	Podgórze Duchackie
Walerego Sławka	Podgórze Duchackie
Biała Polana	Prądnik Biały
Bociana domowe pielesze	Prądnik Biały
Bocianie Gniazdo	Prądnik Biały
Brzoskwińniowa	Prądnik Biały
Dożynkowa	Prądnik Biały
Frycza-Modrzewskiego	Prądnik Biały
Krakowskie Wzgórze	Prądnik Biały
Magnolie	Prądnik Biały
Mozarta	Prądnik Biały
Natansona	Prądnik Biały
Ogrody Żabińca	Prądnik Biały
Torre Verona	Prądnik Biały
Apartamenty Kaskada	Prądnik Czerwony
Apartamenty Śródmieście – Łepkowskiego	Prądnik Czerwony
Apartamenty Wieniawski	Prądnik Czerwony
Bursztynowy Dom	Prądnik Czerwony
Enklawa Prądnika	Prądnik Czerwony
Gant na Olszy	Prądnik Czerwony
Reduta	Prądnik Czerwony
Rua Bonita	Prądnik Czerwony
Stella Nova	Prądnik Czerwony
Śliczna	Prądnik Czerwony

ul. Słoneckiego	Prądnik Czerwony
Villa Galicja	Prądnik Czerwony
Wileńska 4	Prądnik Czerwony
Zaczarowany Młyn	Prądnik Czerwony
Zielony Zakątek	Prądnik Czerwony
ul. Chełmońskiego	Ruczaj
Angel City	Stare Miasto
Studio Art Deco	Stare Miasto
Angel Plaza	Stare Miasto ul. Zwierzyniecka
Krakowskie Przedmieście	Swoszowice
Apartamenty pod Kasztanami	Wola Justowska
Agrestowa	Wola Justowska
Kogucia	Wola Justowska
Niezapominajek	Wola Justowska
ul. Orna	Wola Justowska
Villa Verde	Wola Justowska
Villa Vinci	Wola Justowska
Willa Wiosenna	Wola Justowska
Osiedle ul. Przemysłowa	Zabłocie
Apartamenty na Wierzchowinach 5	Zwierzyniec
Apartamenty Kasztelańskie	Zwierzyniec
Enklawa na Woli	Zwierzyniec
Rezydencja Focha	Zwierzyniec
Rezydencja Piastowska	Zwierzyniec
Tarasy na Woli	Zwierzyniec
Ville pod Sikornikiem	Zwierzyniec
Willa Sowiniec	Zwierzyniec

Spośród 300 zinwentaryzowanych obiektów wskazano 163 osiedla, na których występowały RZ. Wśród nich tylko 25 osiedli miało widoczny plan zagospodarowania przestrzeni zielonej. Odnotowano liczne występowanie RZ na podstawie projektów opracowanych dla administracji lub deweloperów tych osiedli. Wytypowano także miejsca użytku publicznego w celu zwiększenia liczby obiektów badawczych ich występowania. Przedstawiono je w Tab. 3.

Tab. 3. Spis zinwentaryzowanych osiedli i obiektów publicznych na których odnotowano planowe występowanie RZ w terenach zieleni Krakowa w latach 2004-2017.

<b>Nazwa osiedla/Obiektu/Ulica</b>	<b>Region Krakowa</b>
ul. W. Żeleńskiego 57; 59	Bronowice Małe
ul. Tetmajera	Bronowice Małe
Enklawa Bronowicka	Bronowice Wielkie
Eldorado, Al. Jana Pawła II 33	Czyżyny
Centrum handlowe Real - Krokus	Czyżyny ( <i>obiekt publiczny</i> )
Centrum handlowe - Obi	Czyżyny ( <i>obiekt publiczny</i> )

Capgemini – Quattro Business Park	Czyżyny ( <i>obiekt publiczny</i> )
Serwis samochodowy - NorAuto	Czyżyny ( <i>obiekt publiczny</i> )
ul. Lubostroń 7b/a	Dębniki, Ruczaj
Lubostroń 10	Dębniki, Ruczaj
ul. Kuźnicy Kołłątajowskiej 13 C, D	Górka Narodowa
Złota Brama, ul. Cystersów 6; 8; 10; 12; 14	Grzegórzki
Wiślane Tarasy ul. Grzegórzecka	Grzegórzki
Bajeczne Dąbie, ul. Bajeczna 2b	Grzegórzki
Ul. Łobzowska 55	Kleparz
Dom Opieki Społecznej, ul. Helclów	Kleparz ( <i>obiekt publiczny</i> )
Oaza, ul. Stańczyka 10	Krowodrza
Lea Residence ul. Juliusza Lea	Krowodrza
Campus AGH	Krowodrza
ul. Czysta (Parking Wydziału Rolno-Ekonomicznego, UR)	Krowodrza ( <i>obiekt publiczny</i> )
Plac Centralny	Nowa Huta ( <i>obiekt publiczny</i> )
Zaczarowany Młyn, ul. Kaczary	Olsza II
Garden Residence, ul. Przemysłowa 4	Podgórze
Magnolie, ul. Wariusa	Prądnik Biały
ul. Mikołaja Reja 17; 18; 15; 12	Prądnik Biały
Plac Imbramowski	Prądnik Biały ( <i>obiekt publiczny</i> )
ul. Słoneckiego 4; 6	Prądnik Czerwony
Europejskie, ul. Prof. Bobrzyńskiego	Ruczaj
ul. Szwai 7	Ruczaj
ul. Chmieleniec 2b; 4; 6; 8; 10; 14; 16; 18	Ruczaj
ul. Szuwarowa	Ruczaj
Angel Plaza, ul. Zwierzyniecka 24	Stare Miasto
Plac Matejki	Stare Miasto ( <i>obiekt publiczny</i> )
Apartamenty pod Kasztanami al. Kasztanowa 73	Wola Justowska

W pracach terenowych planowano zinwentaryzować wszystkie istniejące rośliny o liściach zimozielonych wg „Katalogu roślin - drzewa, krzewy, byliny” polecanego przez Związek Szkółkarzy Polskich [2006]:

#### Krzewy liściaste

- Berberys – *Berberis* ‘Klugowski’
- Berberys bukszpanolistny – *Berberis buxifolia* ‘Nana’
- Berberys gruczołkowaty – *Berberis verruculosa*
- Berberys Juliany – *Berberis julianae*
- Bukszpan drobnolistny – *Buxus microphylla* ‘Faulkner’
- Bukszpan wieczniezielony – *Buxus sempervirens*: ‘Aureovariegata’, ‘Blauer Heinz’, ‘Elegantissima’, ‘Latifolia Maculata’, ‘Rotundifolia’, ‘Suffruticosa’

- Irga – *Cotoneaster* ‘Ursynów’
- Irga Dammera – *Cotoneaster dammeri*: ‘Major’, ‘Mooncreeper’
- Irga łyżeczkowata – *Cotoneaster cochleatus* ‘Schneider’
- Irga płózająca – *Cotoneaster procumbens*: ‘Queen of Carpets’, ‘Streib’s Findling’
- Irga rozesłana – *Cotoneaster radicans* ‘Eichholz’
- Irga szwedzka – *Cotoneaster x suecicus*: ‘Coral Beauty’, ‘Skogholm’
- Irga wierzbolistna – *Cotoneaster salicifolius* ‘Prakteppich’
- Wawrzynek główkowy – *Daphne cneorum*
- Trzmielina Fortune’a – *Euonymus fortunei*: BLONDY ‘Interbolwi’, ‘Canadale Gold’, ‘Coloratus’, ‘Dart’s Blanket’, ‘Emerald Gaiety’, ‘Emerald ‘n’ Gold’, ‘Minimus’, ‘Silver Queen’, ‘Sunspot’
- Dziurawiec kielichowaty – *Hypericum calycinum*
- Ostrokrzew kolczasty – *Ilex aquifolium*: ‘Alaska’, ‘Argentea Marginata’, ‘Ferox Argentea’, ‘Golden van Tol’, ‘Rubricaulis Aurea’
- Ostrokrzew karbowany – *Ilex crenata* ‘Golden Gem’
- Ostrokrzew Meservy – *Ilex x meserveae*: ‘Blue Angel’, ‘Blue Boy’, ‘Blue Girl’, ‘Blue Prince’, ‘Blue Princess’
- Ostrokrzew okółkowy – *Ilex verticillata*
- Lawenda wąskolistna – *Lavendula angustifolia*: ‘Alba’, ‘Dwarf Blue’, ‘Hidcote’, ‘Munstead’, ‘Rosea’
- Ligustr – *Ligustrum* ‘Vicaryi’
- Ligustr okrągłolistny – *Ligustrum ovalifolium* ‘Aureum’
- Ligustr jajolistny – *Ligustrum ovalifolium* ‘Argenteum’
- Suchodrzew mirtolistny – *Lonicera nitida*: ‘Elegant’
- Suchodrzew chiński – *Lonicera pileata*: ‘Moss Green’
- Mahonia pospolita – *Mahonia aquifolium*: ‘Apollo’, ‘Smaragd’
- Mahonia pośrednia – *Mahonia x media*: ‘Charity’, ‘Winter Sun’
- Runianka japońska – *Pachysandra terminalis*: ‘Green Carpet’, ‘Variegata’
- Głógownik Frasera – *Photinia x fraseri* ‘Red Robin’
- Laurowiśnia wschodnia – *Prunus laurocerasus*: ‘Otto Luyken’
- Ognik – *Pyracantha* sp.: ‘Golden Charmer’, ‘Orange Charmer’, ‘Orange Glow’, ‘Soleil d’Or’, ‘Teton’
- Ognik szkarłatny – *Pyracantha coccinea*: ‘Kasan’, ‘Red Column’
- Ognik szkarłatny var. kuntayi – *Pyracantha coccinea* ‘kuntayi’

- Kalina – *Viburnum 'Pragense'*
- Kalina sztywnolistna – *Viburnum rhytidophyllum*
- Barwinek większy – *Vinca major 'Variegata'*
- Barwinek pospolity – *Vinca minor*: 'Argenteovariegata', 'Atropurpurea', 'Gertrude Jekyll', ILLUMINATION 'Cahill', 'La Grave', 'Multiplex', 'Ralph Shugert', 'Sebastian'

### Rośliny wrzosowate

- Modrzewnica pospolita – *Andromeda polifolia*: 'Blue Ice', 'Compacta', 'Nikko'
- Wrzos pospolity – *Calluna vulgaris*: 'Alexandra', 'Alicia', 'Allegretto', 'Allegro', 'Amethyst', 'Anette', 'Annemarie', 'Bonita', 'Boskoop', 'Carmen', 'Con Brio', 'Dark Beauty', 'Darkness', 'Dark Star', 'Firefly', 'Gold Haze', 'Golden Wonder', 'Jan Dekker', 'J.H. Hamilton', 'Kinlochruel', 'Larissa', 'Long White', 'Marleen', 'Marlies', 'Melanie', 'Mullion', 'Peter Sparkes', 'Radnor', 'Red Favorite', 'Roter October', 'Sandy', 'Silver Knight', 'Spring Torch', 'Theresa', 'Wickwar Flame'
- Dabecja kantabryjska – *Daboecia cantabrica*: 'Arielle', 'Bicolor', 'Praegerae', 'Alba'
- Bażyna czarna – *Empetrum nigrum* 'Bernstein'
- Wrzosiec sp. – *Erica* sp.: 'Challenger', 'Foxhollow', 'Golden Starlet', 'Isabell', 'Myretoun Ruby', 'Nathalie', 'Rosantha', 'Rubinteppich', 'Snow Queen', 'Vivellii', 'Wintersonne'
- Wrzosiec darlejski – *Erica x darleyensis*: 'Kramer's Rote', 'White Perfection'
- Brukentalia ostrolistna – *Erica spiculifolia* 'Balkan Rose'
- Wrzosiec bagienny – *Erica tetralix* 'Ken Underwood'
- Wrzosiec rozpierzchły – *Erica vagans* 'Mrs D.F. Maxwell'
- Wrzosiec Watsona – *Erica x watsonii* 'Dawn'
- Golteria pełzająca – *Gaultheria procumbens*
- Kalmia wąskolistna – *Kalmia angustifolia* 'Rubra'
- Kalmia szerokolistna – *Kalmia latifolia*: 'Kaleidoskop', 'Minuet', 'Muras', 'Olympic Wedding', 'Ostbo Red'
- Kalmia wielolistna – *Kalima polifolia* (*Kalmia glauca*)
- Kiścień wawrzynowy – *Leucothoe fontanesiana* 'Rainbow'
- Kiścień – *Leucothoe* SCARLETTA 'Zebliid'
- Pieris – *Pieris* 'Forest Flame'

- Pieris japoński – *Pieris japonica*: ‘Cupido’, ‘Debutante’, ‘Little Heath’, ‘Mountain Fire’, ‘Red Mill’, ‘Rondo’, ‘Valley Rose’, ‘Valley Valentine’
- *Rhododendron* sp. (wszystkie odmiany azalii japońskich)
- *Rhododendron* sp. (wszystkie odmiany różaneczników wielkokwiatowych)
- *Rhododendron* sp. (wszystkie odmiany z grupy różaneczników Forrest’a)
- *Rhododendron* sp. (wszystkie odmiany z grupy różanecznika jakuszymańskiego)
- *Rhododendron* sp. (wszystkie odmiany różaneczników drobnokwiatowych)
- *Borówka brusznica* – *Vaccinium vitis-idaea* ‘Koralle’

### Pnącza

- Akebia pięciolistkowa – *Akebia quinata*
- Akebia pięciolistkowa – *Akebia quinata* ‘Variegata’
- Bluszcz pospolity – *Hedera helix*: ‘Gold Heart’, ‘Thorndale’, ‘Woerner’ (‘Remscheid’), ‘Arborescens’
- Bluszcz irlandzki – *Hedera hibernica*
- Wiciokrzew zaostrowy – *Lonicera acuminata*
- Wiciokrzew Henry’ego – *Lonicera henryi*
- Wiciokrzew japoński – *Lonicera japonica* ‘Halliana’

W celu oceny wizualnej uszkodzeń RZ, zastosowano przyjętą skalę uszkodzeń mrozowych tzw. „poznansko-kórnicką” [wg Łukasiewicza 1987], którą zmodyfikowano na potrzeby inwentaryzacji własnej.

### **Skala uszkodzeń roślin zimozielonych (RZ):**

- 0 – brak uszkodzeń
- A – liście zimozielone częściowo uszkodzone
- B – liście całkowicie uszkodzone
- C – uszkodzenie liści i pąków kwiatowych oraz liściowych, pędy zazwyczaj nieuszkodzone
- D – uszkodzenie wierzchołków pędów jednorocznych
- E – uszkodzenia pędów jednorocznych
- F – pędy jednoroczne całkowicie uszkodzone oraz częściowo uszkodzone pędy starsze
- G – uszkodzenia pędów do powierzchni ziemi, ale roślina odbija od nasady
- H – całkowite uszkodzenie rośliny bez możliwości regeneracji

Do inwentaryzacji stworzono kartę stanowiska (obiektu), według której wykonywana była inwentaryzacja (RZ), która zawierała następujące informacje.

### KARTA STANOWISKA

Nazwa obiektu i adres		
Data inwentaryzacji		
Powierzchnia (m <sup>2</sup> )/ Wysokość (cm/m)		
Nazwa RZ		
Stanowisko występowania (ekspozycja na światło)		
cień (c)		
zmiennie (zm)		
nasłonecznione (n)		
Stanowisko występowania (ekspozycja na wiatr)		
Zaciszne (zc)		
Osłonięte (os)		
Odsłonięte (od)		
Wietrzne (w)		
Kierunek wiatru (róża wiatrów)		
Skala uszkodzeń RZ (0, A, B, C, D, E, F, G, H)		
Obecność pielęgnacji		
Inne uwagi		



### 3.2. OCENA BARWY LIŚCI SPEKTROFOTOMETREM W SYSTEMIE $L^*a^*b^*$ , $\Delta E$ ORAZ FLUORESCENCJI CHLOROFILU A *ILEX* SP.



Ryc. 2. Kolekcja dendrologiczna WBiO krzewów zimozielonych. [fot. Karolina Wietnik].

Budynkiem. W trakcie prowadzonych badań nawożono dwa razy do roku nawozem Hydrocomplex.

Barwę liści RZ mierzono w latach 2014 i 2015 (w dwóch terminach, I od 10.01.2014 do 09.05.2014, II od 05.11.2014 do 13.05.2015) za pomocą spektrofotometru CM-2600d (Konica Minolta) (Ryc. 3). Pomiary refleksyjności wykonano w systemie oceny barw CIE  $L^*a^*b^*$ , w którym wyniki definiowane są w postaci trzech liczb, gdzie:  $L^*$  (jasność) przyjmuje wartości od 0 (czarny) do 100 (biały);  $a^*$  oznacza intensywność barwy od zielonej ( $\pm 120$ ) do czerwonej ( $\pm 120$ );  $b^*$  określa intensywność barwy od niebieskiej ( $\pm 120$ ) do żółtej ( $\pm 120$ ).



Ryc. 3. Spektrofotometr Konica Minolta 2600d [www.konicaminolta.pl].

Pomiary wykonano na 3 taksonach, każdy liczył po 5 roślin. Pomiary wykonywano przy: iluminacja (źródło światła) =D65; kąt odczytu (obserwator kolorymetryczny) =10° w godzinach porannych, na 2 liściach z każdego krzewu, oznaczonych czerwoną nitką, tak by każdy pomiar w miesiącu, także następnego roku odbywał się na tych samych liściach. Uzyskano 10 powtórzeń dla każdego taksonu, przy czym spektrofotometr każdy pojedynczy pomiar wykonywał 3-krotnie uśredniając wynik. Do analiz wykorzystano średnie wartości składowej achromatycznej  $L$  i dwóch składowych chromatycznych  $a$  i  $b$  wyznaczone za pomocą programu *Spectra Manager*. Interpretacji barwy liści wykonano na roślinach z rodzaju *Ilex* sp. Wybrano z kolekcji te odmiany, które licznie

występowały w terenach zieleni Krakowa: *Ilex crenata* 'Golden Gem', *Ilex meserveae* 'Blue Prince' oraz *Ilex meserveae* 'Blue Princess'.

W tej metodzie dopuszczono różnicę pomiędzy wynikami parametru chromatyczności  $a^*$  jako 0,5, a między liczbami parametru  $b^*$  1,0. Dopuszczono więc zakres tolerancji odchyłeń kolorystycznych w widmach refleksyjnych w taki sposób, że różnice te między wynikami można traktować jako barwę identyczną.

### **Fluorescencja chlorofilu *a* wybranych gatunków z rodzaju *Ilex* sp.**

Doświadczenie prowadzono w latach 2014-2015 na kolekcji RZ, Wydziału Biotechnologii i Ogrodnictwa w Krakowie przy ulicy al. 29 Listopada 54 (Kraków, Poland 50°5'21.228"N, 19°57'28.116"E), w dwóch terminach: I termin obejmował pomiary od 10.02.2014 do 02.05.2014, II termin od 05.11.2014 do 06.05.2015 roku. Materiał pobierano co dwa tygodnie w godzinach porannych (Ryc. 6). W każdym terminie ścinano losowo 10 liści z części sferycznej korony krzewów (po dwa liście z każdej rośliny). W celu uzyskania informacji o funkcjonowaniu aparatu fotosyntetycznego i zdolności adaptacyjnej RZ do warunków stresowych, wykonano analizę badanych roślin przy użyciu fluorymetru Handy PEA firmy Hansatech (Wielka Brytania) (Ryc. 5), nie później niż 2 godziny od momentu pobrania liści. Do oceny reakcji roślin wybrano parametr  $F_v/F_m$  oraz PI. Wskaźniki te definiują wydajność oraz funkcjonowanie fotosystemu PS II. Zmierzony po całkowitym zaciemnieniu liścia, parametr określa maksymalną aktywność fotochemiczną [Stirbet i in. 2018].

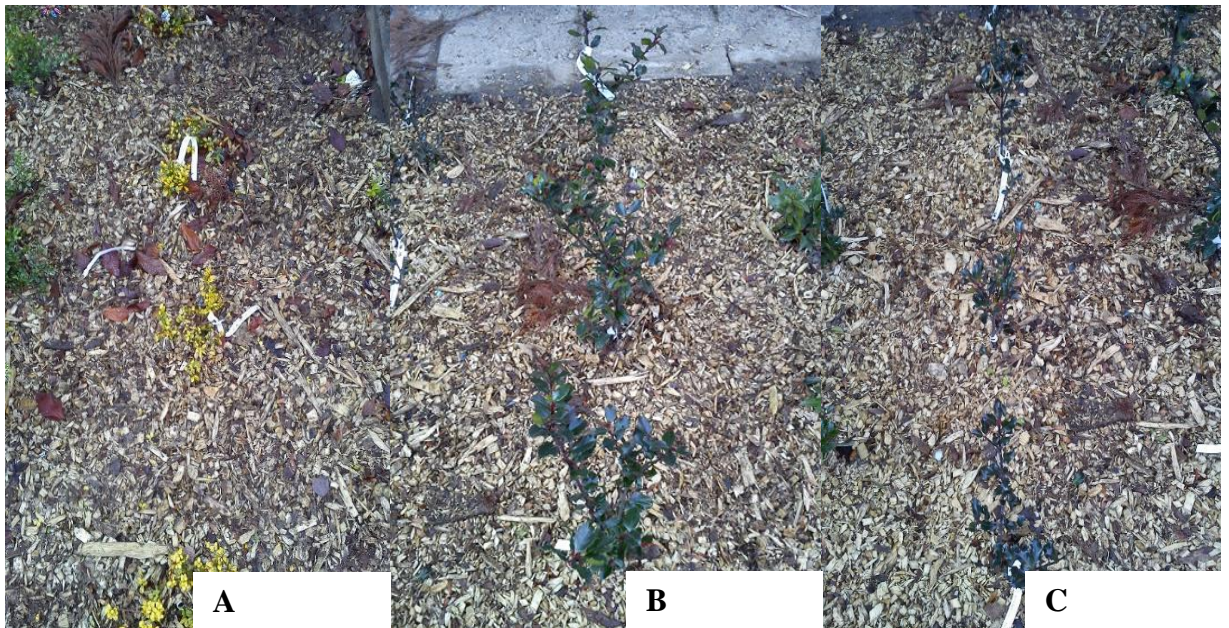
Pomiary zostały przeprowadzone na górnej stronie blaszki liściowej przy użyciu 'dark leaf clip', przymocowanych do liści 20 minut przed rozpoczęciem pomiaru w celu adaptacji do ciemności (Ryc. 4). Fluorescencję mierzono przez optyczną wiązkę światłowodu, której koniec był zbliżany do powierzchni liścia.



Ryc. 4. Pomiar fluorescencji chlorofilu *a* *Ilex meserveae* 'Blue Prince', przy użyciu 'dark leaf clip' [fot. Karolina Wietnik].



Ryc. 5. Fluorometr Handy PEA, firmy Hansatech [fot. Karolina Wietnik].



Ryc. 6. Kolekcja dendrologiczna WBiO krzewów zimozielonych – *Ilex crenata* ‘Golden Gem’ (A), *Ilex meserveae* ‘Blue Prince’ (B), *Ilex meserveae* ‘Blue Princess’ (C) [fot. Karolina Wietnik].

### 3.3. FLUORESCENCJA CHLOROFILU A ORAZ PRZEPIY W ENERGII W PRZELICZENIU NA WZBUDZONĄ POWIERZCHNIĘ PRÓBKII FOTOSYNTETYCZNIIE CZYNNNEJ U LIŚCI *ILEX CRENATA*

W terenach zieleni miejskiej Krakowa, na osiedlu „Wiślane Tarasy”, zlokalizowanego przy rondzie Grzegórzeckim (Kraków, Polska 50°3'20.639"N, 19°57'51.646"E.) w dniu 4.06.2018 wykonano pomiary wartości fluorescencji chlorofilu *a* oraz oszacowano przepływ energii w przeliczeniu na wzbudzoną powierzchnię próbki fotosyntetycznie czynnej u liści *Ilex* sp (Ryc. 7). Wykorzystano do tego fluorometr Handy PEA (Hansatech Instruments Ltd., Wielka Brytania). Objęto badaniami gatunek: *Ilex crenata* w odmianie: ‘Golden Gem’, a jego występowanie odnotowano na 6 stanowiskach, które poddano analizom:

- 1 – rośliny rosnące pod okapem innych krzewów (cień), skarpa zewnętrzna
- 2 – bez roślin dających cień, skarpa zewnętrzna
- 4 – słoneczne, na skarpie (dziedziniec)
- 5 – cieniste; „studnia” na skarpie (dziedziniec)
- 7 – rośliny rosnące w pasach, trawnik, sąsiedztwo krzewów, teren płaski od strony ulicy
- 8 – rośliny rosnące w betonowych rabatach, odsłonięte, teren płaski, przy ogrodzeniu blisko ulicy





Ryc. 7. Stanowiska występowania *Ilex crenata* ‘Golden Gem’ (IcGG) w terenach zielonych „Wiślane Tarasy” w Krakowie w miejscu występowania przeciągów; 1\_O – (O - okap) rośliny rosnące pod okapem innych krzewów (cień), skarpa zewnętrzna, 2\_bO – (bO - bez okapu) bez roślin dających cień, skarpa zewnętrzna [fot. Karolina Wietnik].

#### 3.4. GĘSTOŚĆ STRUMIENIA FOTOSYNTETYCZNYCH FOTONÓW (PPFD), POMIAR ŚWIEŻEJ MASY ORAZ ANALIZA LIŚCI PROGRAMEM WINDIAS ORAZ IMAGEJ U *ILEX MESERVEAE*

Materiałem badawczym był *Ilex meserveae* w odmianie ‘Blue Princess’ i ‘Blue Prince’, odmiany żeńskiej i męskiej, rosnący na 3 stanowiskach w dzielnicy Ruczaj przy ulicy Chmieleniec 16, Kraków, Polska 50°1'3.126"N, 19°53'48.876"E oraz ul. Lubostroń 7A i 7B, Kraków, Polska 50°0'53.388"N, 19°53'58.2"E.

Doświadczenie wykonano na liściach 4 krzewów na przełomie marca 2019 i listopada 2020. Wybrano po 10 liści z każdego krzewu.

##### **Świeża masa**

Wykonano pomiary świeżej masy liści [g] na wadze, model: Radwag WPS 360, d=0,001 g), następnie obliczono średnią.

##### **PPFD**

Zmierzono czujnikiem kwantów (Quantum Sensor, Hansatech, Wielka Bytania) gęstość strumienia fotosyntetycznych fotonów (PPFD) i temperaturę względną na trzech badanych stanowiskach występowania obiektów. Zbadano wartości PPFD czyli ilość światła, która dociera do badanej rośliny tj. liczbę fotosyntetycznie aktywnych fotonów padających na powierzchnię liści *Ilex* sp. w ciągu sekundy, wyrażone w  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (mikromolach na metr kwadratowy na sekundę). Pomiary wykonywano poziomo w określonych punktach na powierzchni rośliny tj. na jej wysokości. Czujnik trzymany był na tej samej wysokości obchodząc krzew 360°. Odczytano 10 wyników z czujnika dla każdej odmiany o 3 porach dnia (8:00, 12:00, 15:00).

## WinaDIAS, ImageJ

Zebrano i zeskanowano liście odmiany żeńskiej 'Blue Princess' i odmiany męskiej 'Blue Prince' ze stanowiska 2. Przeanalizowano powierzchnię górnej (adaksjalnej) i dolnej (abaksjalnej) strony blaszki liści *Ilex meserveae* sp. metodą analizy obrazu systemem WinDIAS firmy Delta-T Devices Ltd, Cambridge, Wielka Brytania. Te same liście poddano także analizie morfologicznej za pomocą programu ImageJ [Ferreira i Rasband 2012] w celu określenia parametrów liści: kształtu, powierzchni, obwodu, długości, szerokości, liczby ząbków, krągłości i współczynnika kształtu (AR). Liście były analizowane z wyłączeniem ogonków liściowych, jednak wszelkie uszkodzenia w liściach były traktowane jako normalna strefa pomiarów. Do najważniejszego parametru różnicującego liście pod względem morfologii zaliczono współczynnik kształtu (AR), zwany także współczynnikiem proporcji. Współczynnik AR jest to najdokładniejszy sposób opisu w tym przypadku morfologii liścia, który wykorzystuje mniej lub bardziej skomplikowane współczynniki kształtu oraz wielkości.

Charakterystyka stanowisk:

### **Stanowisko 1** – *Ilex meserveae* 'Blue Princess' (ImBPss) (Ryc. 8)

- Miejsce występowania: ul. Chmieleniec 16, Kraków, Polska 50°1'3.126"N, 19°53'48.876"E
- Opis stanowiska i roślin: Stanowisko między blokami, bardzo wietrzne; w przeciągu komunikacyjnym. Liście ciemnozielone. Ekspozycja na światło: stanowisko cieniste.

### **Stanowisko 2** – *Ilex meserveae* 'Blue Princess' (ImBPss) i *Ilex meserveae* 'Blue Prince' (ImBPs) (Ryc. 9)

- Miejsce występowania: ul. Lubostroń 7A, Kraków, Polska 50°0'53.388"N, 19°53'58.2"E
- Opis stanowiska i roślin: Stanowisko wietrzne, szczególnie od strony ulicy. Zaobserwowano antocyjanowe zabarwienie ogonków liściowych, częściowo także unerwienia. Nekrozy widoczne na spodniej stronie blaszki liści. Ekspozycja na światło: oświetlenie zmienne/intensywne.

### **Stanowisko 3** – *Ilex meserveae* 'Blue Princess' (ImBPss) (Ryc. 10)

- Miejsce występowania: ul. Lubostroń 7B, Kraków, Polska 50°0'53.388"N, 19°53'58.2"E
- Opis stanowiska i roślin: Stanowisko osłonięte, zacienione, zaciszne, między budynkiem, a klatką schodową. Wilgotność (odczuwalna) większa niż na pozostałych stanowiskach. Brak przeciągów oraz silnych wiatrów. Liście ciemnozielone. Ekspozycja na światło: oświetlenie zmienne, stanowisko półcieniste.





Ryc. 8. Stanowisko 1 występowania *Ilex meserveae* 'Blue Princess' (ImBPss) – między blokami, wietrzne w przeciągu komunikacyjnym; stanowisko cieniste [fot. Karolina Wietnik].



Ryc. 9. Stanowisko 2 występowania *Ilex meserveae* 'Blue Princess' (ImBPss) i *Ilex meserveae* 'Blue Prince' (ImBPs) – wietrzne od strony ulicy, oświetlenie zmienne/intensywne [fot. Karolina Wietnik].





Ryc. 10. Stanowisko 3 występowania *Ilex meserveae* 'Blue Princess' (ImBPss) – osłonięte, stanowisko cieniste, zaciszne, między budynkiem a klatką schodową [fot. Karolina Wietnik]

### 3.5. FLUORESCENCJA CHLOROFILU A ORAZ PRZEPIY W ENERGII W PRZELICZENIU NA WZBUDZONĄ POWIERZCHNIĘ PRÓBKII FOTOSYNTETYCZNIIE CZYNNIEJ U LIŚCII *RHODODENDRON* SP.

Doświadczenie zostało przeprowadzone 4.06.2018 i 19.06.2018 roku na terenie osiedla „Wiślane Tarasy”, wybudowanego w 2013 roku przy skrzyżowaniu ulicy Grzegórzeckiej oraz Kotlarskiej, Kraków, Polska 50° 3' 20.639" N, 19° 57' 51.646" E.

Wykonano pomiary wartości fluorescencji chlorofilu *a*, indeksu zieloności oraz oszacowano przepływ energii w przeliczeniu na wzbudzoną powierzchnię próbki fotosyntetycznie czynnej u liści *Rhododendron* sp. Wykorzystano do tego fluorometr Handy PEA (Hansatech Instruments Ltd., Wielka Brytania). Zmierzono także zawartość chlorofilu *a* przy użyciu miernika chlorofilu Chlorophyll Content Meter Cl-01 (Hansatech Instruments Ltd. Wielka Brytania (Ryc. 11), a objęte badaniami grupy różaneczników to:

- Grupa mieszańców *Rhododendron caucasicum*
  - *Rhododendron* 'Cunningham's Snow White' (stanowisko słoneczne), (CSWs)
  - *Rhododendron* 'Cunningham's Snow White' (stanowisko zacienione), (CSWz)
- Grupa mieszańców *Rhododendron catawbiense*
  - *Rhododendron* 'Catawbiense Boursault' (stanowisko wietrzne), (CBw)
  - *Rhododendron* 'Catawbiense Boursault' (stanowisko osłonięte), (CBo)
  - *Rhododendron* 'Roseum Elegans' (stanowisko wietrzne), (REw)
  - *Rhododendron* 'Roseum Elegans' (stanowisko osłonięte), (REo)





Ryc. 11. Pomiar fluorescencji chlorofilu *a* oraz indeksu zieloności na liściach *Rhododendron* 'Roseum Elegans' i *Rhododendron* 'Cunningham's Snow White' na stanowisku słonecznym na osiedlu 'Wiślane Tarasy' w Krakowie – rok 06. 2018 [fot. Renata Bączek-Kwinta].



Ryc. 12. *Rhododendron* 'Roseum Elegans' i *Rhododendron* 'Cunningham's Snow White' na stanowisku słonecznym na osiedlu 'Wiślane Tarasy' w Krakowie – porównanie 10.2012 (zdjęcie po lewej) i 06.2020 (zdjęcie po prawej) [fot. Karolina Wietnik].

### 3.6. ANALIZY HISTOLOGICZNE LIŚCI *RHODODENDRON* SP.

Materiał do analizy histologicznej pobierano i utrwalono 5.07.2018 roku na terenie osiedla „Wiślane Tarasy”, wybudowanego w 2013 roku przy skrzyżowaniu ulicy Grzegórzeckiej oraz Kotlarskiej, Kraków, Polska 50°3'20.639"N, 19°57'51.646"E.

Analiza histologiczna obejmowała liście mieszańców z rodzaju *Rhododendron* sp.:

1) grupa *Rhododendron caucasicum*:

– *Rhododendron* 'Cunningham's Snow White' (stanowisko słoneczne - CSWs),



– *Rhododendron* ‘Cunningham’s Snow White’ (stanowisko zacienione - CSWz),

2) grupa *Rhododendron catawbiense*:

– *Rhododendron* ‘Catawbiense Boursault’ (stanowisko wietrzne - CBw),

– *Rhododendron* ‘Catawbiense Boursault’ (stanowisko osłonięte - CBo),

– *Rhododendron* ‘Roseum Elegans’ (stanowisko wietrzne - REw),

– *Rhododendron* ‘Roseum Elegans’ (stanowisko osłonięte - REo),

Materiał zatapiano w syntetycznej żywicy Technovit 7100 (metakrylan-2-hydroksyetylu) (Heraeus Kulzer, Niemcy) według procedury opisanej poniżej. Liczba powtórzeń biologicznych (liści) wynosiła 3 powtórzenia (3 liście). Analizy wykonano w Zakładzie Cytologii i Embriologii Roślin w Instytucie Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie.

Fragmety liści utrwalano przez 24 godziny w temperaturze pokojowej w 5% (v/v) roztworze (0,1 M bufor fosforanowy, pH=7.2) glutaraldehydu. Następnie usuwano utrwalcacz poprzez czterokrotne płukanie tkanki (każdorazowo po 15 min.) w wyżej wspomnianym buforze fosforanowym (PBS), po czym odwadniano w serii roztworów etanolu (10, 30, 50, 70, 90% v/v), każdorazowo po 15 min. i pozostawiano w etanolu absolutnym do następnego dnia. Kolejnym krokiem było usuwanie 100% etanolu i przesycaanie materiału mieszaniną etanolu absolutnego oraz roztworu Technovitu A w proporcjach: 3:1, 1:1, 1:3 (v/v) (każdorazowo przez 1 godzinę). Do następnego dnia materiał pozostawiano w 100% roztworze Technovitu A. Fragmenty tkanek układano w foremkach, zatapiano w roztworze Technovitu B (Technovit A z utwardzaczem), a następnie foremki umieszczano w temperaturze 37°C na kilka godzin, w celu przyspieszenia polimeryzacji. Błoczki spolimeryzowanej żywicy trzymowano i przyklejano do holderów. Materiał krojono przy użyciu mikrotomu rotacyjnego (Microm, Adamas Instrumenten, USA) na skrawki o grubości 5 µm.

W celu uwidocznienia nierozpuszczalnych polisacharydów (głównie skrobi - kolor różowy do fioletowo-czerwonego) zastosowano metodę barwienia z wykorzystaniem reakcji kwasu nadjodowego i fuksyny (PAS, periodic acid Schiff’s). Procedura barwienia przebiegała następująco:

1) traktowanie skrawków 1% (v/v) kwasem nadjodowym (10 min.),

2) płukanie w wodzie destylowanej (10 min.),

3) umieszczanie skrawków w odczynniku Schiffa w ciemności (30 min.)

4) dwukrotne płukanie w wodzie siarkowej (0,5 g K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 5 ml 1M HCl, dopełnione wodą dejonizowaną do 100 ml roztworu), każdorazowo po 10 min.,

5) płukanie pod bieżącą wodą (1 godz.),

6) pozostawienie preparatów do wyschnięcia (24 godz.).

Dodatkowo, w celu uwidocznienia białek i kwasów nukleinowych (kolor błękitny do ciemnogranatowego), w przypadku wybranych preparatów zastosowano barwienie w czerni naftolowej (NBB, naphtol blue black) [Fisher 1968]. W tym celu skrawki wybarwione uprzednio metodą PAS poddano następującej procedurze:

- 1) umieszczenie w 0,5% (w/v) roztworze czerni naftolowej (45 sek., temperatura 60°C),
- 2) dwukrotne płukanie w 7% (v/v) roztworze kwasu octowego (pierwsze płukanie: 4 min., drugie: 2 min.),
- 3) pozostawienie preparatów do wyschnięcia (24 godz.).

Preparaty zamykano w Entellanie (Merck, Niemcy) i analizowano, korzystając z mikroskopu Nikon DS – Fi2 z oprogramowaniem NIS – Elements D 4.00.00 4.0.

W każdym przypadku fotografowano obszar nerwu głównego oraz fragment blaszki liściowej w obszarze 3 i 4 wiązki przewodzącej, licząc od nerwu głównego.

Analizę histologiczną zdjęć mikroskopowych liści *Rhododendron* sp. wykonano w programie ImageJ (NH, USA) biorąc pod uwagę następujące parametry w danym powiększeniu:

- grubość liścia (GL),
- grubość miękiszu palisadowego (MP),
- miękiszu gąbczastego (MG),
- grubość epidermy górnej (EG),
- grubość kutykuli (K).

Pomiary wykonywano w trzech miejscach przekroju mikroskopowego po prawej i po lewej stronie oraz w środkowej części liścia. Obraz dzielony był zgodnie z przyjętą metodą według ustawień programu ImageJ, równo na trzy obszary. Wyniki uśredniono. Obliczono także gęstość rozmieszczenia chloroplastów (CH) oraz całkowite otwarcie porów aparatu szparkowego (AS).

### 3.7. ANALIZA STATYSTYCZNA WYNIKÓW

We wszystkich metodach przeprowadzono analizy statystyczne przy użyciu pakietu IBM SPSS Statistics 25.

W ocenie barwy liści spektrofotometrem w systemie L\*a\*b\*,  $\Delta E$  oraz fluorescencji chlorofilu *a* u *Ilex* sp., wykonano analizę podstawowych statystyk opisowych wraz z testami Kołmogorowa-Smirnowa i analizami korelacji ze współczynnikiem *r* Pearsona oraz testy Kruskala-Wallisa, testy  $\chi^2$  oraz jednoczynnikowe analizy wariancji w schemacie

międzygrupowym. Za poziom istotności uznano klasyczny próg  $\alpha = 0,05$ , jednakże wyniki prawdopodobieństwa statystyki testu na poziomie  $0,05 < p < 0,1$  interpretowano jako istotne na poziomie tendencji statystycznej. Wykonane testy Kruskala-Wallisa okazały się istotne statystycznie we wszystkich trzech badanych *Ilex* sp., obliczono także serię analiz *post-hoc* przy użyciu testów Dunnetta i Sidaka [Ostasiewicz 2011].

Oceniając kondycję liści *Ilex meserveae* wykonano serię jednoczynnikowych analiz wariancji w schemacie międzygrupowym bądź też – w przypadku niespełnienia założeń o homogeniczności wariancji – mocne testy równości średnich Browna-Forsythea. W przypadku uzyskania istotnych statystycznie wyników wymienionych powyżej testów wykonywano analizy *post-hoc* przy użyciu testów – odpowiednio – Sidaka bądź Dunnetta. W przypadku statystyki wyników z programu ImageJ zastosowano analizę statystyk opisowych wraz z testem Shapiro-Wilka, dwuczynnikowe analizy wariancji w schemacie mieszanym oraz testy *t*-Studenta dla prób niezależnych. Należy dodać, że najpierw obliczono podstawowe statystyki opisowe badanych zmiennych ilościowych wraz z testami Shapiro-Wilka sprawdzającymi normalność rozkładów badanych zmiennych ilościowych. Jednak dla większości zmiennych odnotowano rozkłady zbliżone do rozkładu normalnego. Sytuację odmienną odnotowano dla przebarwień antocyjanowych u *Ilex meserveae* ‘Blue Princess’ i ‘Blue Prince’ oraz wskaźnika krągłości liścia. W takiej sytuacji wskazana była dodatkowa weryfikacja wartości skośności rozkładów tych zmiennych. Jeśli mieści się ona w przedziale  $\pm 2$  można przyjąć, że rozkład badanej zmiennej nie jest znacząco asymetryczny względem średniej [George i Mallery 2010]. Takie wartości skośności odnotowano w przypadku wszystkich badanych zmiennych. Z tego względu postanowiono, że wykonywane będą analizy statystyczne przy użyciu testów parametrycznych.

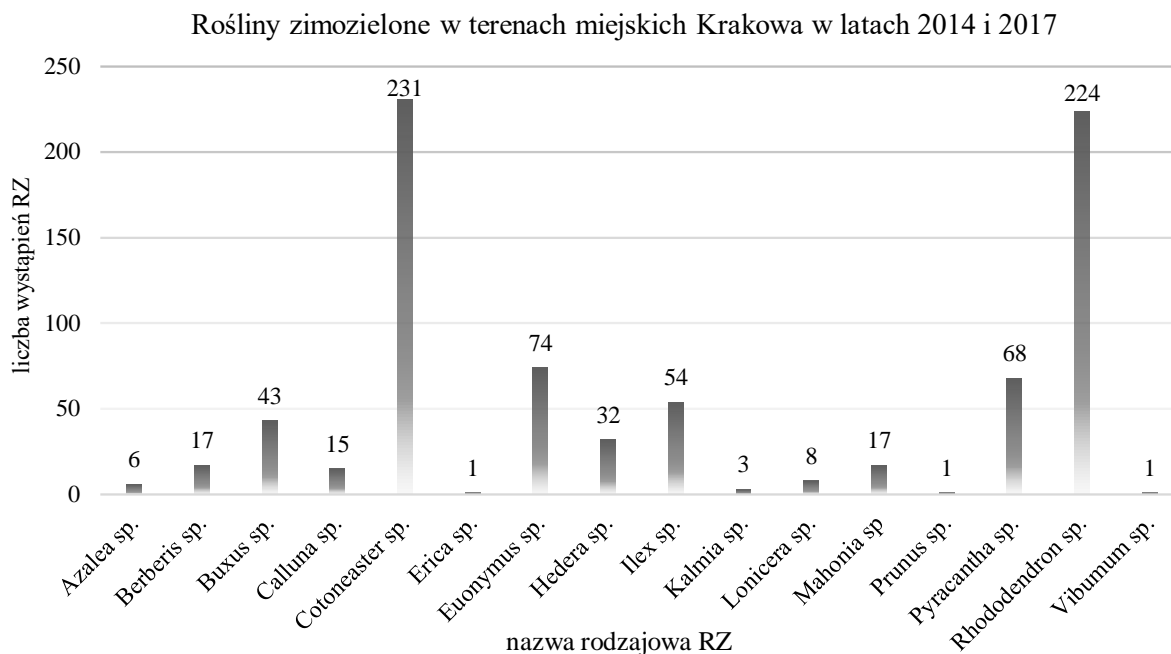
Analizy histologiczne prowadzone były na próbie trzech liści każdego gatunku na danym stanowisku. Analizę statystyczną parametrów kondycji liści *Rhododendron* sp. wykonano w oparciu o jednoczynnikową ANOVA; wielokrotne porównania *post-hoc*, test Sidaka oraz Dunnetta. Dla uzyskanych wyników wykonano Test *t*-Studenta dla prób niezależnych.

Dla wszystkich pozostałych analiz w tym dla odmian liści *Ilex crenata* za poziom istotności uznano klasyczny próg  $p < 0,05$  oraz wykonano Test *t*-Studenta, jednakże wyniki prawdopodobieństwa statystyki testów na poziomie  $0,05 < p < 0,1$  były interpretowane jako istotne na poziomie tendencji statystycznej.

## 4. WYNIKI

### 4.1. BADANIA FIZJOLOGICZNE WYBRANYCH TAKSONÓW ROŚLIN ZIMOZIELONYCH

#### 4.1.1. INWENTARYZACJA DENDROLOGICZNA ROŚLIN ZIMOZIELONYCH W TERENACH ZIELENI KRAKOWA



Ryc. 13. Przynależność RZ w obrębie określonego rodzaju w terenach miejskich Krakowa w latach 2014 i 2017.

Skład florystyczny badanych stanowisk przedstawiał się następująco: na 16 stwierdzonych rodzajów botanicznych dominowały dwa (Ryc. 13). Były to *Cotoneaster* sp. (irga) i *Rhododendron* sp. (rózaniecznik) – naliczono ponad 200 wystąpień każdego z wymienionych rodzajów. Dalsze w kolejności pod względem występowania były *Euonymus* sp. (trzmielina) i *Pyracantha* sp. (ognik) – około 70, następnie około 50 miejsc występowania *Buxus* sp. (buzszpan) i *Ilex* sp. (ostrokrzew), 32 razy *Hedera helix* sp. (bluszcz) (Ryc. 13 i Tab. 4), po kilkanaście razy *Berberis* sp. (berberys), *Mahonia* sp. (mahonia), *Calluna* sp. (wrzos), *Lonicera* sp. (suchodrzew) oraz *Azalea* sp. (azalia) i tylko raz zinwentaryzowano *Kalmia* sp. (kalmia) i *Viburnum* sp. (kalina).

Szczegółowy skład gatunkowy z podaniem odmian przedstawiono w Tab. 41. Wynika z niego, że w obrębie rodzaju w największej liczbie preferowano *Cotoneaster* w odmianie 'Ursynów' (80 wystąpień na 200), a następnie *Cotoneaster horizontalis* i *Cotoneaster x suecicus* 'Coral Beauty' (około 30). Pojawiły się 23 razy okazy *Cotoneaster radicans* 'Eichholz', po kilkanaście razy *Cotoneaster procumbens* w odmianach: 'Queen of Carpets' i 'Streib's

Findling'. Pozostałe wystąpiły od 9 do 1 miejsca, można zatem przyjąć, że ich planowanie było przypadkowe bądź eksperymentalne.

W przypadku również licznie występującego rodzaju *Rhododendron* sp. chętniej sadzono odmianę 'Cunningham's Snow White', niż *Rhododendron catawbiense* 'Roseum Elegans'. *Rhododendron luteum* zwany Azalią pontyjską pojawił się w 37 przypadkach, natomiast około 15-20 razy odnotowano *Rhododendron* 'Catawbiense Boursault', *Rhododendron catawbiense* 'Pearce's American Beauty', *Rhododendron* 'Catawbiense Grandiflorum'. Pozostałe pojawiły się w niewielkiej liczbie od 4 do 1 miejsca występowania, pomimo że pod względem stref mrozoodporności gatunki te są zalecane do klimatu terenów miejskich Krakowa.

Kolejną grupą licznie występujących rodzajów z grupy badanych był gatunek *Buxus sempervirens*, pojawił się 43 razy, oraz około 50 rodzaj *Ilex* sp., w którym przeważała w największej liczbie odmiana 'Golden Gem' (43). Jedyne po 2 razy wystąpiła krzyżówka *Ilex* x *meserveae* w odmianach: 'Blue Angel', 'Blue Boy', 'Blue Prince', 'Blue Princess'. Wśród badanych rodzajów *Euonymus* sp., 37 oraz 20 razy wystąpiła odmiana 'Emerald 'n' Gold' i 'Silver Queen', pozostałe 'Sunspot' oraz 'Canadale Gold' pojawiły się mniej niż 10 razy. Jedyne 2 razy ze wszystkich wystąpiła *Euonymus europaeus*.

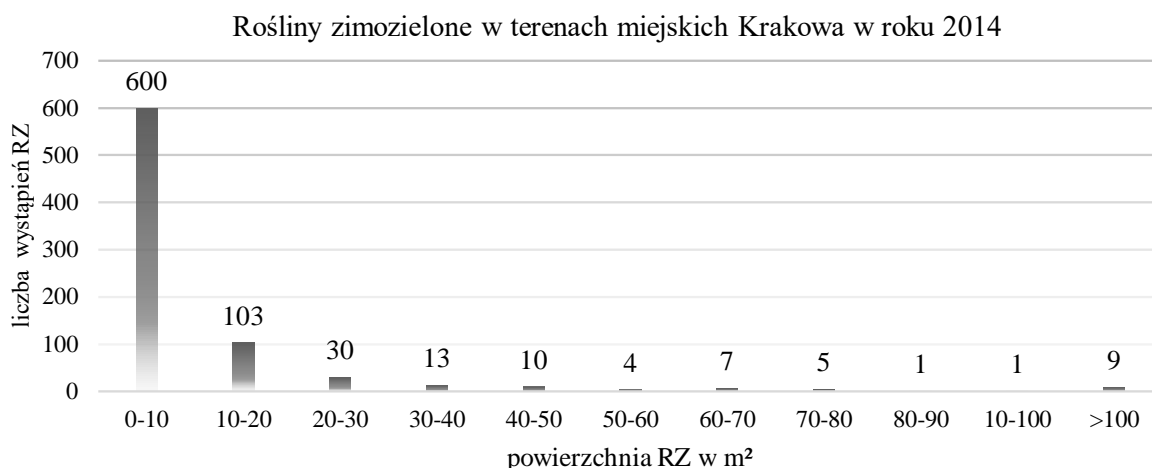
Następnie rodzaj *Pyracantha* sp. najczęściej był planowany w gatunku *Pyracantha coccinea* i pojawił się od 20 do 10 razy kolejno w postaci odmian: 'Golden Charmer', 'Orange Glow', 'Red Column' oraz 'Soleil d' Or'. Najmniej stanowiła odmiana 'Teton' oraz *Pyracantha coccinea* var. Kuntayi. Odnotowano także występowanie na 17 stanowiskach rodzaj *Mahonia* sp., natomiast rodzaj *Berberis* sp. w 12 razach stanowiła odmiana 'Klugowski' i najmniej bo tylko około 2 razy, *Berberis buxifolia* 'Nana' i *Berberis julianae*.

Do najrzadziej występującej grupy roślin zimozielonych podczas wykonanej inwentaryzacji należał rodzaj *Calluna* sp. Tylko około 4 razy odnotowano występowanie takich odmian jak: 'Anette', 'Bonita', 'Marleen', 'Larissa'. *Erica carnea*, także należąca do rodziny wrzosowatych, stanowiła tylko 3 przypadki. Gatunki takie jak: *Kalmia latifolia*, *Prunus laurocerasus* i *Viburnum* 'Pragense' zinwentaryzowano jedynie w pojedynczych miejscach występowania.

Tab. 4. Spis występowania RZ w terenach miejskich Krakowa w latach 2014 i 2017.

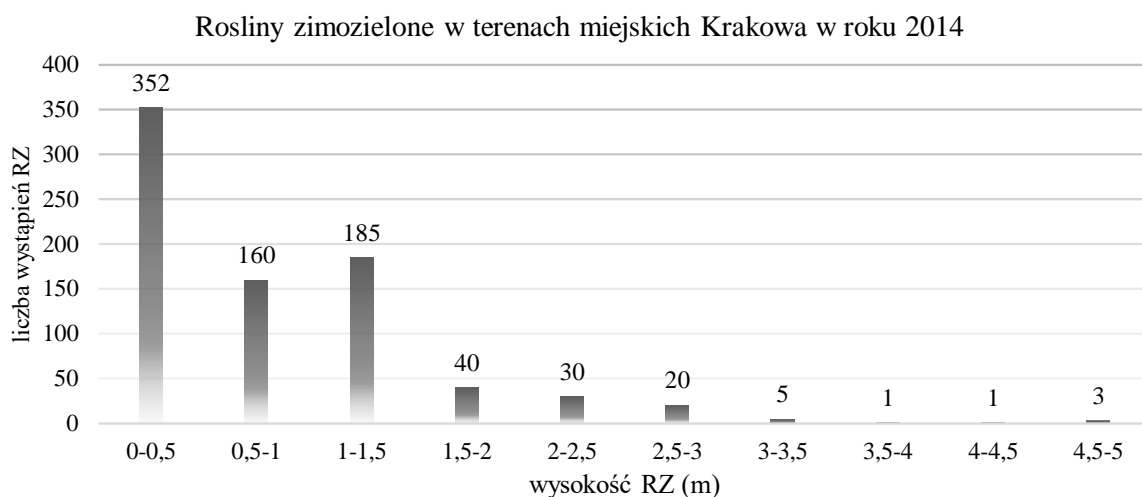
Nazwa gatunku RZ	Liczba RZ [m <sup>2</sup> ]	Udział RZ [%]
<i>Cotoneaster</i> 'Ursynów'	80	9,84
<i>Rhododendron</i> 'Cunningham's Snow White'	73	8,98
<i>Rhododendron catawbiense</i> 'Roseum Elegans'	45	5,54
<i>Buxus sempervirens</i>	43	5,29
<i>Ilex crenata</i> 'Golden Gem'	43	5,29
<i>Cotoneaster horizontalis</i>	38	4,67
<i>Euonymus fortunei</i> 'Emerald 'n' Gold'	37	4,55
<i>Rhododendron luteum</i>	37	4,55
<i>Hedera helix</i>	32	3,94
<i>Cotoneaster x suecicus</i> 'Coral Beauty'	31	3,81
<i>Cotoneaster radicans</i> 'Eichholz'	23	2,83
<i>Pyracantha coccinea</i> 'Golden Charmer'	21	2,58
<i>Euonymus fortunei</i> 'Silver Queen'	20	2,46
<i>Rhododendron</i> 'Catawbiense Boursault'	19	2,34
<i>Cotoneaster procumbens</i> 'Streib's Findling'	18	2,21
<i>Mahonia aquifolium</i>	17	2,09
<i>Rhododendron catawbiense</i> 'Pearce's American Beauty'	17	2,09
<i>Pyracantha coccinea</i> 'Orange Glow'	15	1,85
<i>Cotoneaster procumbens</i> 'Queen of Carpets'	14	1,72
<i>Pyracantha coccinea</i> 'Red Column'	14	1,72
<i>Berberis</i> 'Klugowski'	12	1,48
<i>Rhododendron</i> 'Catawbiense Grandiflorum'	12	1,48
<i>Pyracantha coccinea</i> 'Soleil d' Or'	11	1,35
<i>Cotoneaster dammeri</i> 'Major'	9	1,11
<i>Cotoneaster x suecicus</i> 'Skogholm'	8	0,98
<i>Euonymus fortunei</i> 'Sunspot'	8	0,98
<i>Euonymus fortunei</i> 'Canadale Gold'	7	0,86
<i>Lonicera nitida</i> 'Elegant'	7	0,86
<i>Azalea japonica</i>	5	0,62
<i>Calluna vulgaris</i> 'Anette'	5	0,62
<i>Pyracantha coccinea</i> var. <i>Kuntayi</i>	5	0,62
<i>Calluna vulgaris</i> 'Bonita'	4	0,49
<i>Calluna vulgaris</i> 'Marleen'	4	0,49
<i>Cotoneaster lucidus</i>	4	0,49
<i>Ilex x meserveae</i> 'Blue Princess'	4	0,49
<i>Rhododendron yakushimanum</i> 'Hoppy'	4	0,49
<i>Berberis buxifolia</i> 'Nana'	3	0,37
<i>Cotoneaster procumbens</i>	3	0,37
<i>Kalmia latifolia</i>	3	0,37
<i>Rhododendron forrestii</i> 'Baden-Baden'	3	0,37
<i>Rhododendron yakushimanum</i> 'Lumina'	3	0,37
<i>Berberis julianae</i>	2	0,25
<i>Calluna vulgaris</i> 'Larissa'	2	0,25

<i>Euonymus europaeus</i>	2	0,25
<i>Ilex x meserveae</i> 'Blue Angel'	2	0,25
<i>Ilex x meserveae</i> 'Blue Boy'	2	0,25
<i>Pyracantha coccinea</i> 'Teton'	2	0,25
<i>Rhododendron forrestii</i> 'Bengal'	2	0,25
<i>Rhododendron heamatodes</i> 'Brigitte'	2	0,25
<i>Rhododendron</i> 'Nova Zembla'	2	0,25
<i>Rhododendron williamsianum</i> 'Aprilglocke'	2	0,25
<i>Azalea</i> 'Glowing Embers'	1	0,12
<i>Cotoneaster dammeri</i> 'Mooncreeper'	1	0,12
<i>Cotoneaster perpusillus</i>	1	0,12
<i>Cotoneaster salicifolius</i> 'Parkteppich'	1	0,12
<i>Erica carnea</i>	1	0,12
<i>Lonicera pileata</i>	1	0,12
<i>Prunus laurocerasus</i>	1	0,12
<i>Rhododendron hybrid</i> 'Hachmann's Charmant'	1	0,12
<i>Rhododendron hybride</i> 'Ann Lindsay'	1	0,12
<i>Rhododendron williamsianum</i> 'Gartendirektor Glocker'	1	0,12
<i>Viburnum</i> 'Pragense'	1	0,12



Ryc. 14. Powierzchnia występowania badanych RZ w terenach miejskich Krakowa w roku 2014.

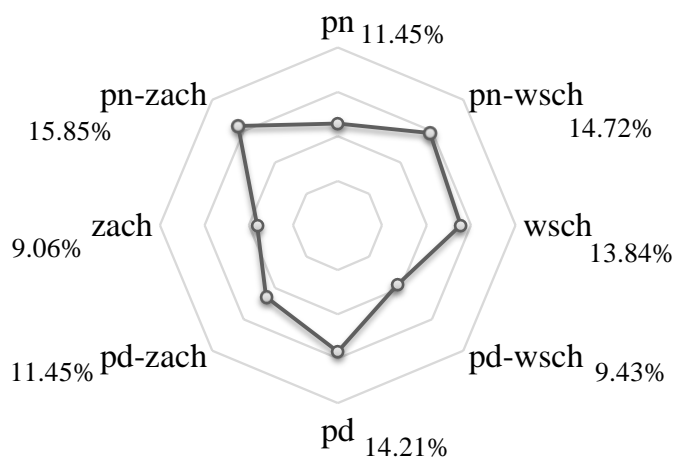
Wśród zinwentaryzowanych roślin zimozielonych (Ryc. 14) w większości, bo w 600 przypadkach, zajmowały niewielką, bo do 10 m<sup>2</sup> powierzchnię. Nasadzenia planowane w grupach na obszarach 10-20 m<sup>2</sup> wystąpiły jedynie w 100 miejscach, znacznie mniej, bo około 30 razy, było ich na powierzchni 20-30 m<sup>2</sup>. Pozostałe wystąpiły na stanowiskach o powierzchni od 30 do ponad 100 m<sup>2</sup>. Wskazuje to na planowe zastosowanie roślin w większości przypadkach w mniejszych kompozycjach grupowych bądź pojedynczych.



Ryc. 15. Wysokość RZ w terenach miejskich Krakowa w roku 2014.

Większość RZ (Ryc. 15) mierzyła do 0,5 m wysokości. Pozostałe licznie (160 miejsc występowania) do 1 m, a w 185 stanowiskach RZ były wysokie do 1,5 m. Rośliny zimozielone w 100 stanowiskach były bardzo wysokie od 1,5 m do 5 m.

Udział kierunku wiatru w miejscu występowania RZ w terenach miejskich Krakowa w roku 2014

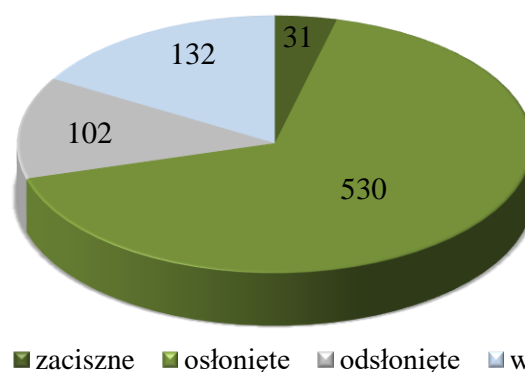


Ryc. 16. Udział kierunku wiatru w miejscu występowania RZ na badanych stanowiskach w terenach miejskich Krakowa w roku 2014.

W miejscach występowania roślin zimozielonych udział kierunku wiatru (Ryc. 16) był zróżnicowany. Przeważały wiatry północno-zachodnie (16 %); około 14-15 % stanowiły wiatry północno-wschodnie, wschodnie oraz południowe. Mniejszy udział procentowy, bo od 9% do 12% stanowiły wiatry północne, południowo-zachodnie, południowo-wschodnie oraz zachodnie.



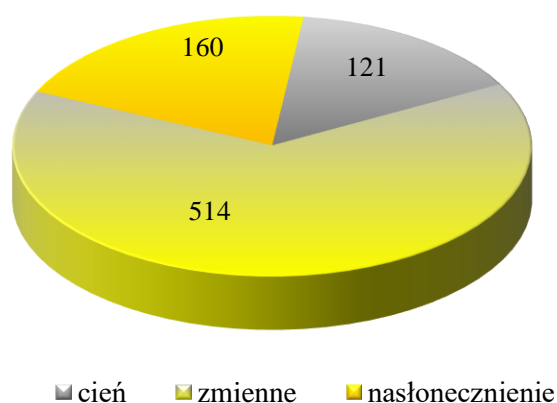
Charakterystyka stanowisk pod względem ekspozycji na wiatr w miejscu występowania RZ w terenach miejskich Krakowa w roku 2014



Ryc. 17. Charakterystyka stanowisk pod względem ekspozycji na wiatr w miejscu występowania RZ w terenach miejskich Krakowa w roku 2014.

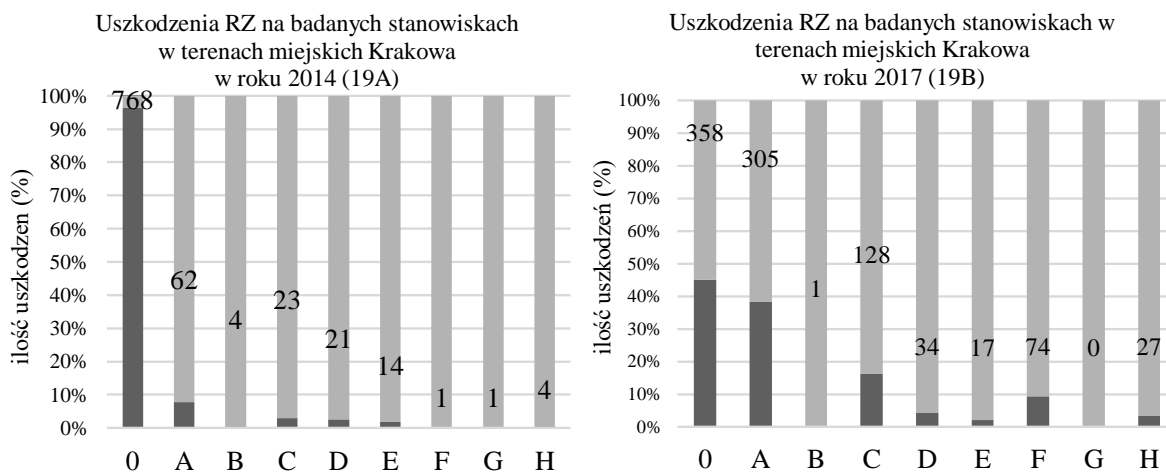
Nasadzenia RZ (Ryc. 17) ponad 500 razy zostały zaplanowane na stanowiskach osłoniętych. Jednak w ponad 100 przypadkach rośliny posadzono w miejscach odsłoniętych, bez sąsiedztwa innych gatunków lub okazów tego samego rodzaju botanicznego czy też dodatkowego zabezpieczenia, a także charakteryzujących się przeciągami. Te ostatnie stanowiska nazwano stanowiskami wietrznymi. RZ posadzono tylko w 31 miejscach zacisznych, pozbawionych zmiennych warunków wietrznych.

Charakterystyka stanowisk pod względem ekspozycji na światło w miejscu występowania RZ w terenach miejskich Krakowa w roku 2014



Ryc. 18. Charakterystyka stanowisk pod względem ekspozycji na światło w miejscu występowania RZ w terenach miejskich Krakowa w roku 2014.

Udział oświetlenia światłem słonecznym na stanowiskach występowania roślin zimozielonych (Ryc. 18) był zmienny w ponad 500 przypadkach na około 800 zinwentaryzowanych stanowisk. Ponad 100 razy RZ posadzono w miejscach zacienionych, natomiast 160 razy w pełnym słońcu.



- 0 – rośliny nieuszkodzone
- A – liście zimozielone częściowo uszkodzone
- B – liście całkowicie uszkodzone
- C – uszkodzenie liści i pąków kwiatowych oraz liściowych, pędy zazwyczaj nieuszkodzone
- D – uszkodzenie wierzchołków pędów jednorocznych
- E – uszkodzenia pędów jednorocznych
- F – pędy jednoroczne całkowicie uszkodzone oraz częściowo uszkodzone pędy starsze
- G – uszkodzenia pędów do powierzchni ziemi, ale roślina odbija od nasady
- H – całkowite uszkodzenie rośliny bez możliwości regeneracji

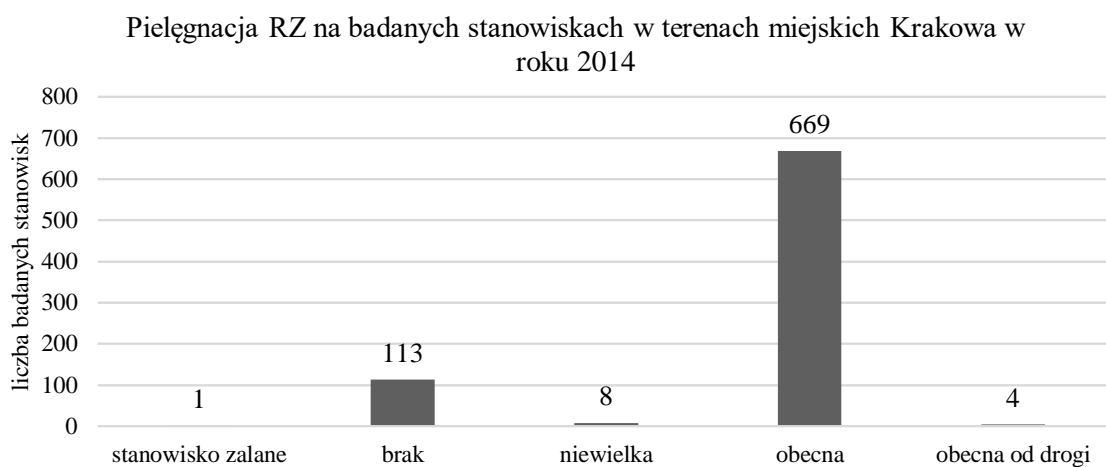
Ryc. 19A i 19B. Uszkodzenia RZ na badanych stanowiskach w terenach miejskich Krakowa w roku 2014 i 2017.

W trakcie inwentaryzowania roślin zimozielonych w środowisku miejskim odnotowywano ich uszkodzenia. Każdemu rodzajowi uszkodzeń przypisano odpowiednią literę z opisem stopnia uszkodzenia, gdzie 0 oznacza nieuszkodzoną roślinę, natomiast H jej całkowite zamarcie. Stan uszkodzenia roślin oszacowano w dwóch powtórzeniach w roku 2014 i 2017. W 2014 roku (Ryc. 19A) w przypadku większości zinwentaryzowanych RZ, bo w ponad 90%, stwierdzono brak uszkodzeń (0). Mniej niż 10% przypadków stanowiły częściowe uszkodzenia liści, pąków kwiatowych oraz liściowych (A), przy czym pędy zazwyczaj były nieuszkodzone. Uszkodzenie pędów jednorocznych i ich wierzchołków występowało sporadycznie. Jedynie w przypadku 4 miejsc odnotowano całkowite uszkodzenie roślin bez możliwości regeneracji (H). W roku 2017 (Ryc. 19B) stan tych samych badanych RZ uległ zmianie w stosunku do roku 2014. Roślin nieuszkodzonych odnotowano już tylko ponad 40%, natomiast pojawiły się częściowe uszkodzenia na liściach zimozielonych w liczebności około 40% (A). Zaobserwowano znaczny wzrost uszkodzeń pąków kwiatowych oraz liściowych, pędów jednorocznych, a także ich wierzchołków (C, D, E) w stosunku do 2014 roku. Nastąpiło także całkowite uszkodzenie pędów jednorocznych lub częściowe uszkodzenie pędów starszych (F) w 10%, badanych przypadków, którego nie odnotowano w 2014 roku. Liczebność roślin całkowicie uszkodzonych bez możliwości regeneracji (H) w 2017 roku zwiększyła się

o 15% w stosunku do roku 2014. W ogólnym udziale uszkodzeń RZ w latach 2104 i 2017 stwierdzono wzrost uszkodzeń roślin zimozielonych w 2017 roku (427) niż zaobserwowano w 2014 roku (368) (Ryc. 20).



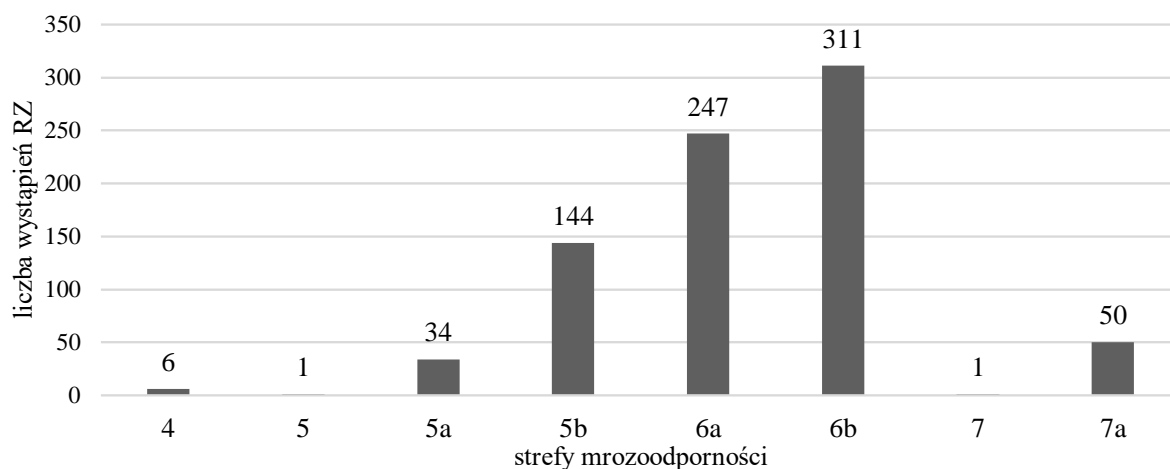
Ryc. 20. Udział RZ na których zaobserwowano wzrost lub brak wzrostu uszkodzeń w latach 2014 i 2017.



Ryc. 21. Pielęgnacja RZ na badanych stanowiskach w terenach miejskich Krakowa w roku 2014.

Pielęgnacja roślin zimozielonych na badanych stanowiskach terenów miejskich Krakowa była obecna w większości przypadków kompozycji roślinnych (Ryc. 21). Na prawie 800 zbadanych, w ponad 650 przypadkach zostały wykonane stosowne zabiegi. W tej grupie pojawiała się pielęgnacja na kompozycjach badanych obiektów miejskich. Jednakże na 113 stanowiskach miejsca występowania RZ odnotowano brak zabiegów, które mogłyby poprawić lub wpłynąć na brak uszkodzeń okazów.

Udział RZ w badanych terenach miejskich Krakowa w roku 2014 i 2017 według obowiązujących stref mrozoodporności



Ryc. 22. Udział RZ w badanych terenach miejskich Krakowa w roku 2014 i 2017 według obowiązujących stref mrozoodporności.

Stwierdzono, że rośliny nasadzone w badanych terenach miejskich Krakowa pochodziły w większości (ponad 300 stanowisk) ze strefy 6b klimatu odpowiadającego temperaturze  $-20,5^{\circ}\text{C}$  do  $-17,8^{\circ}\text{C}$  (Ryc. 22). Kolejną licznie stanowiącą grupą RZ były gatunki ze strefy 6a,  $-23,3^{\circ}\text{C}$  do  $-20,6^{\circ}\text{C}$ , która występowała na około 250 miejscach. Mniej niż 150 wystąpień zinwentaryzowano roślin zalecanych do klimatu strefy 5b, temperatury  $-26^{\circ}\text{C}$  do  $-23,4^{\circ}\text{C}$ . Odnotowano także niewielkie występowanie gatunków zalecanych do klimatu stref najchłodniejszych 5a (mniej niż 50), oraz kilka gatunków strefy 4 i 5. Wśród zinwentaryzowanych roślin zimozielonych pojawiły się również zalecane do strefy 7 i 7a. Zanotowano 50 stanowisk występowania, odpowiadające strefie 7a, gdzie temperatura uprawy takich roślin wynosi od  $-17,7^{\circ}\text{C}$  do  $-15^{\circ}\text{C}$ , a ich wytrzymałość na uszkodzenia jest największa.

#### 4.1.2. POMIARY SPEKTROFOTOMETRYCZNE BARWY LIŚCI KRZEWÓW ZIMOZIELONYCH W SYSTEMIE $L^*A^*B$ , $\Delta E$ ORAZ FLUORESCENCJI CHLOROFILU A U *ILEX* SP.

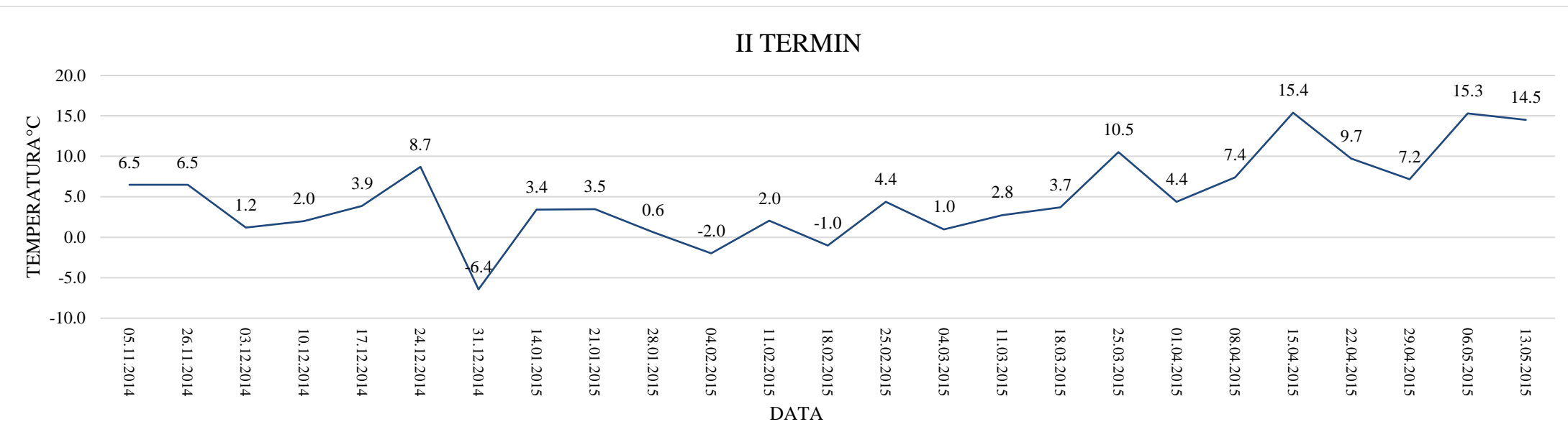
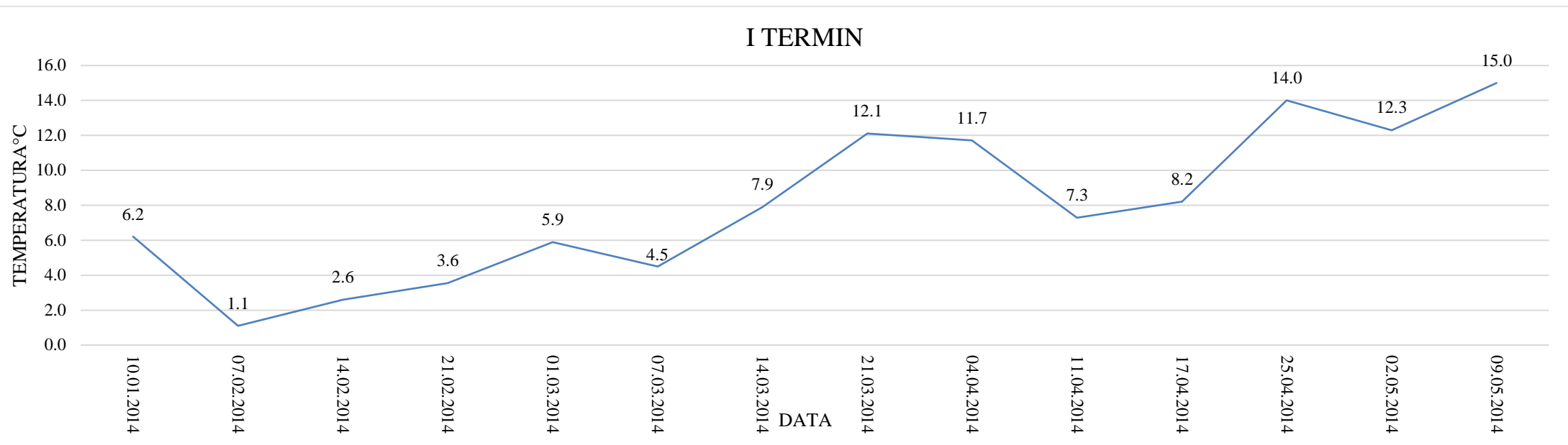
##### Warunki meteorologiczne

W I terminie prowadzonych badań przez cały okres trwania doświadczenia temperatura przyjmowała wartości dodatnie z wyjątkiem spadku temperatury jaki nastąpił w dniu 20.01.14 z  $4,4^{\circ}\text{C}$  do  $-12,2^{\circ}\text{C}$  26.01.14. Następnie temperatura w kolejnych dniach zaczynała wzrastać i 03.02.14 sięgnęła  $1,5^{\circ}\text{C}$ . Potem nastąpił nieznaczny spadek 05.02.14 do  $-3^{\circ}\text{C}$ . W późniejszych dniach do końca trwania pomiarów temperatura była już dodatnia.

W II terminie prowadzonych pomiarów wahania temperatury były już znaczące. Na początku doświadczenia od 05.11.14 do 28.11.14 odnotowano dodatnie temperatury. Wraz

z nadejściem grudnia temperatura zaczęła spadać do wartości ujemnych. Pierwszy spadek odnotowano 29.11.14 do  $-3^{\circ}\text{C}$ , potem 04.12.14 z  $1^{\circ}\text{C}$  w ciągu jednej doby temperatura spadła do  $-9^{\circ}\text{C}$ . Następnie kolejnego dnia już wzrastała. Przez większość dni grudnia odnotowano wysokie dodatnie temperatury, a pomiędzy 20.12.14 - 25.12.14 średnio temperatura wyniosła  $\sim 8^{\circ}\text{C}$ . Końcem 2014 roku tj. 27.12.14 następował spadek temperatury do ujemnych, a najniższą odnotowano 31.12.14 ( $-8,5^{\circ}\text{C}$ ). Wartości temperaturowe ponownie w ciągu doby wzrastały i 04.01.15 na czujniku pomiaru temperatury odnotowano  $3,5^{\circ}\text{C}$ , po czym 08.01.15 było już  $-7,5^{\circ}\text{C}$ . Przez cały styczeń 2015 roku temperatura była dodatnia, nawet  $7^{\circ}\text{C}$ . W lutym spadła do niewiele poniżej  $0^{\circ}\text{C}$ , następnie 13.02.15 wyniosła ponownie dodatnio  $3^{\circ}\text{C}$ . Luty oraz marzec okazały się ciepłymi miesiącami z temperaturą do  $6,6^{\circ}\text{C}$ . W ciągu 3 dni z 24.03.15 na 27.03.15 nastąpił wzrost temperatury z  $1,7^{\circ}\text{C}$  na  $13^{\circ}\text{C}$ . Następnie z początkiem kwietnia temperatury spadły do  $2^{\circ}\text{C}$  i rosły do  $15^{\circ}\text{C}$ . Do końca trwania doświadczenia w miarę ocieplania się klimatu temperatura fluktuowała i można było zaobserwować duże różnice temperatur w ciągu zaledwie jednego lub dwóch dni: 15.04.15 –  $8^{\circ}\text{C}$  po 1 dniu  $15,5^{\circ}\text{C}$ , 16.04.15 –  $15,5^{\circ}\text{C}$  po 3 dniach  $5^{\circ}\text{C}$ , 28.04.15 –  $17^{\circ}\text{C}$  po 2 dniach  $7^{\circ}\text{C}$ , 04.05.15 –  $10^{\circ}\text{C}$  po 2 dniach  $17^{\circ}\text{C}$ .

Przebieg pogody w latach 2014 i 2015 był łagodny co nie znaczy, że dobry. Wahania temperatury w miesiącach pomiarów były stopniowo różne, niezależne od pory roku. Wysokie, dodatnie temp. (do  $10^{\circ}\text{C}$ ) występowały w zimie, w okresie grudnia, stycznia i lutego, po czym spadały do poniżej  $0^{\circ}\text{C}$ .



Ryc. 23. Przebieg średnich dobowych temperatur w miejscu występowania krzewów zimozielonych kolekcji WBiO w I i II. terminie prowadzonych badań w latach 2014-2015.

## Analiza oceny barwy liści krzewów zimozielonych

Wyniki pierwszego przeanalizowanego *Ilex crenata* 'Golden Gem' w I i II terminie prowadzonych badań, przedstawiono w postaci rycin (Ryc. 24 i 27), którym odpowiadają kolory widm refleksyjnych według wzorca kolorymetrycznego podanego w metodzie. Wyniki odniesiono do przebiegu temperatur (Ryc. 23).

Parametry chromatyczności  $a^*$  i  $b^*$  odpowiadające za intensywność barwy wskazują, że najbardziej intensywna barwa liści odpowiadająca wartościom chromy  $a^*$  u *Ilex crenata* 'Golden Gem' (IcGG) wystąpiła w lutym (21.02.14), z początkiem marca (01.03.14) oraz w styczniu (10.01.14) (Ryc. 24). Widma refleksyjności chromy  $a^*$  przyjmowały wartości dodatnie. Jednak między najwyższymi wartościami chromy  $a^*$  (styczeń-luty-marzec) zarejestrowano podczas pomiaru 14.02.14 gwałtowny spadek barwy czerwonej. Wykres temperaturowy wskazuje na spadek z dodatnich temperatur jakie występowały w styczniu ( $3,5^{\circ}\text{C}$ ) do temperatur ujemnych  $-12^{\circ}\text{C}$  jakie odnotowano 26.01.14, po czym temperatura ponownie rosła osiągając 12.02.14,  $5,2^{\circ}\text{C}$ , a w dniu wykonywanej oceny 14.02.14 zmalała do  $1^{\circ}\text{C}$ . Wartości refleksyjności chromy  $a^*$  w marcu oraz w kwietniu nie różniły się statystycznie, oprócz 11.04.14 kiedy wartości te z dodatnich przeszły w ujemne. Temperatura tego okresu wskazuje na spadek temperatur z  $\sim 15^{\circ}\text{C}$  (9.04.14) na  $\sim 7^{\circ}\text{C}$  (14.02.14), czyli prawie o połowę.

Wraz ze wzrostem temperatury w maju ( $16^{\circ}\text{C}$ ) intensywność wybarwienia przyjmowała wartości ujemne chromy  $a^*$ . Wartość parametru  $a^*$ , która w zimie utrzymywała wartość dodatnią 25.04.14 przeszła w wartości ujemne. Intensywność barwy była zielona, a między pomiarami nie zaszła istotność statystyczna. Wyniki statystyczne (Tab. 5) pokazują dla IcGG, że zachodzi jednak istotna korelacja, ale między parametrami chromatyczności  $a^*$  i  $b^*$ .

Tab. 5. Zachodząca korelacja pomiędzy parametrami chromatyczności  $a^*$  i  $b^*$  w liściach RZ.

Nazwa RZ	I termin	II termin
	Chroma $a^*$ i $b^*$	Chroma $a^*$ i $b^*$
<i>Ilex crenata</i> 'Golden Gem'	0,99*	-0,65
<i>Ilex meserveae</i> 'Blue Princess'	-0,23	-0,56
<i>Ilex meserveae</i> 'Blue Prince'	-0,40	-0,54

Parametr chromatyczności  $b^*$  w I terminie prowadzonych badań przyjmował przez wszystkie daty pomiarów wartości dodatnie. Podobnie jak u chromy  $a^*$ , najwyższe wartości odnotowano w lutym, styczniu oraz z początkiem marca. W kwietniu intensywność chromy  $b^*$

nie różniła się statystycznie. Wraz ze wzrostem temperatury jaki następował w maju, wartości chromy  $b^*$  malały, utrzymując jednak wartości dodatnie. Pomiedzy parametrami chromatyczności  $a^*$  i  $b^*$  zaszła istotna statystycznie korelacja.

W II terminie oceny barwy intensywności liści IcGG nie zaszła istotna korelacja między parametrami  $a^*$  i  $b^*$  (Tab. 5). Widma reflektancji  $a^*$  przyjmowały przez cały okres pomiarów wartości ujemne (zielone). Przez większość dat pomiarów mało różniły się statystycznie, ich barwa była w zasadzie wyrównana. Najbardziej intensywna barwa liści u IcGG wystąpiła w listopadzie oraz w maju, kiedy temperatury były wysokie ( $\sim 15^{\circ}\text{C}$ – $\sim 17^{\circ}\text{C}$ ). Najniższe wartości chromy  $a^*$  zaobserwowano jednak podczas pomiaru w dniach 05.02.14, 18.02.14 oraz 25.03.14. Obniżenia te spowodowane były poprzedzonymi wzrostami i spadkami temperatury przed wykonywanymi pomiarami np. z temperatury  $1,1^{\circ}\text{C}$  do  $-2^{\circ}\text{C}$  (05.02.14), z  $3,1^{\circ}\text{C}$  do  $-1,5^{\circ}\text{C}$  (18.02.14).

W obserwacjach pomiarów widm reflektancji chromy  $b^*$  wynika, że w każdym pomiarze widoczne były ciągle wahania barwy, jej spadki intensywności oraz wzrosty. Wynika to z przebiegu pogodowego od listopada 2014 roku do maja 2015 roku (Ryc. 23). Temperatury fluktuowały przez cały okres wykonywanej oceny barwy. Najwyższe wartości chromy  $b^*$  odnotowano 10.12.14 oraz w marcu (11.03.15, 25.03.15). Wszystkie pomiary przyjmowały wartości dodatnie (żółte)

Kolejną przeanalizowaną odmianą rodzaju *Ilex* sp., był *Ilex meserveae* 'Blue Princess' (ImBPss) w typie żeńskim (Ryc. 25 i 28). Najwyższe wartości współczynnika barwy  $a^*$  odnotowano w listopadzie oraz w maju wraz ze wzrostem temperatury (Ryc. 25). Najniższe zaś w lutym, oraz z początkiem marca. Parametr ten 09.03.14 osiągnął najniższe wartości. Dnia 02.03.14 na 03.03.14 odnotowano spadek temperatury z  $6,4^{\circ}\text{C}$  na  $1,6^{\circ}\text{C}$ . Występujący taki nieznaczny spadek temperatury przed wykonywanym pomiarem mógł mieć wpływ na jego obniżoną wartość.

W kwietniu to parametr  $a^*$  miał zbliżoną intensywność barwy (dla 5 pomiarów wartość wynosiła  $\sim 6,8$ ). Wartości współczynnika barwy  $a^*$  były zmienne w styczniu 2014 roku oraz w marcu 2014 roku, w związku ze wzrostem temperatury w tym okresie. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem temperatury intensywność widm refleksyjnych także rośnie, tzn. intensywność barwy wzmacnia się.

Parametry chromatyczności  $b^*$  odpowiadające za intensywność barwy wskazują, że najbardziej intensywna barwa liści u ImBPss w I terminie pomiarów, została odnotowana w zasadzie przez cały okres zimy, a szczególnie w lutym i w marcu. Wraz ze wzrostem temperatur w maju chroma  $b^*$  osiągnęła najwyższe wartości (09.05.14).



Najwyższe wartości refleksyjności ( $a^* \sim 6$ ,  $b^* 13$ ) u ImBPss odnotowano 9.05.2014 roku. Liście tej odmiany były najbardziej intensywnie żółte i zielone. Powodem takich wartości był wzrost temperatury ( $15^\circ\text{C}$ ) i związane z tym rozpoczęcie okresu wegetacji, a także zwiększona intensywność światła dziennego.

W II terminie pomiarów spektrofotometrycznych intensywność barwy parametrów chromatyczności  $a^*$  i  $b^*$  co tydzień spadały lub rosły (Ryc. 28). Najwyższe widma refleksyjności ImBPss osiągnęły 31.12.2014 roku oraz 14.01.2015 roku. Stwierdzono w tym okresie znaczny spadek temperatury w grudniu 2014 roku z temperatury dodatniej  $9,5^\circ\text{C}$  do  $-8,5^\circ\text{C}$ . W wyniku tego liście osobnika żeńskiego w ocenie spektralnej wybarwiły się najbardziej na żółto-niebiesko i czerwono-zielono. Należy stwierdzić, że barwa liści mimo nagłego spadku temperaturowego była właściwa dla tego typu odmiany. Wartości refleksyjności dla obu parametrów  $a^*$  i  $b^*$  u ImBPss o takich samych widmach odnotowano na przełomie marca i kwietnia, czyli przez 2 tygodnie pomiarów. Pomiar chromatyczności  $a^*$  wynosił  $\sim 4$ , a  $b^* \sim 7$ .

W przypadku *Ilex meserveae* odmiany męskiej 'Blue Prince' (ImBPs) w I terminie pomiarów oba parametry chromatyczności  $a^*$  i  $b^*$  miały wartości zbliżone i wynosiły  $a^* \sim 4$ ,  $b^* \sim 7,5$  (Ryc. 26). Nie zaszła żadna istotna korelacja (Tab. 5) między chromą  $a^*$  i  $b^*$  w różnicy koloru. Wynik testu Kruskala-Wallisa był także nieistotny statystycznie. Grupy wartości refleksyjności  $a^*$  i  $b^*$  nie różniły się między sobą.

W II terminie pomiarów u ImBPs wartości refleksyjności fluktuowały w poszczególnych terminach pomiarów w zależności od wzrostu i spadku temperatury (Ryc. 29). Nie zaszła żadna istotna korelacja (Tab. 5) między parametrami chromatyczności  $a^*$  i  $b^*$ . Wysokie intensywności wartości chromy  $a^*$  i chromy  $b^*$  odnotowano w tych samych miesiącach: 17.12.14, 11.02.15, 11.03.15, 02.04.2015, 09.04.2015, 6.05.2015. Każdy taki skok wartości widma refleksyjnego w wymienionych dniach pomiarowych spowodowany był nagłym wzrostem temperatury w tym okresie. Najniższą wartość refleksyjności u ImBPs, odnotowano 31.12.14 roku, podobną tendencję jednak zupełnie odwrotną zaobserwowano u ImBPss (osobnika żeńskiego), gdzie występowały w tym pomiarze najwyższe wartości widm, a kiedy to nastąpił nagły spadek temperatury z  $9,5^\circ\text{C}$  do  $-8,5^\circ\text{C}$ .

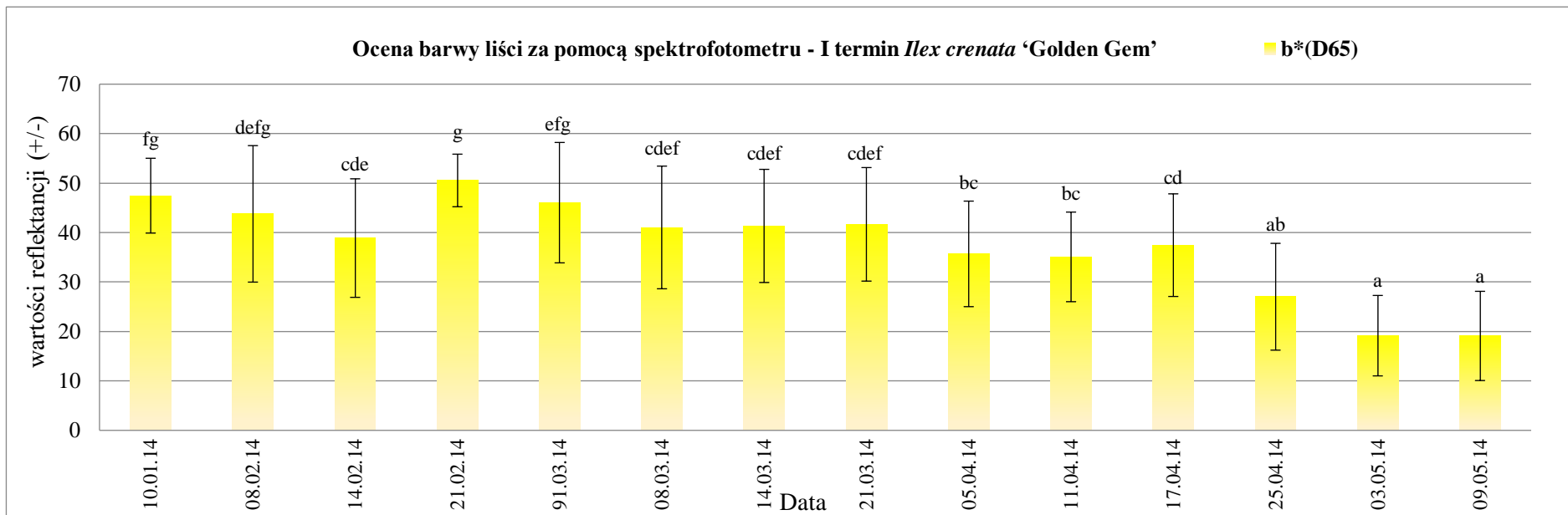
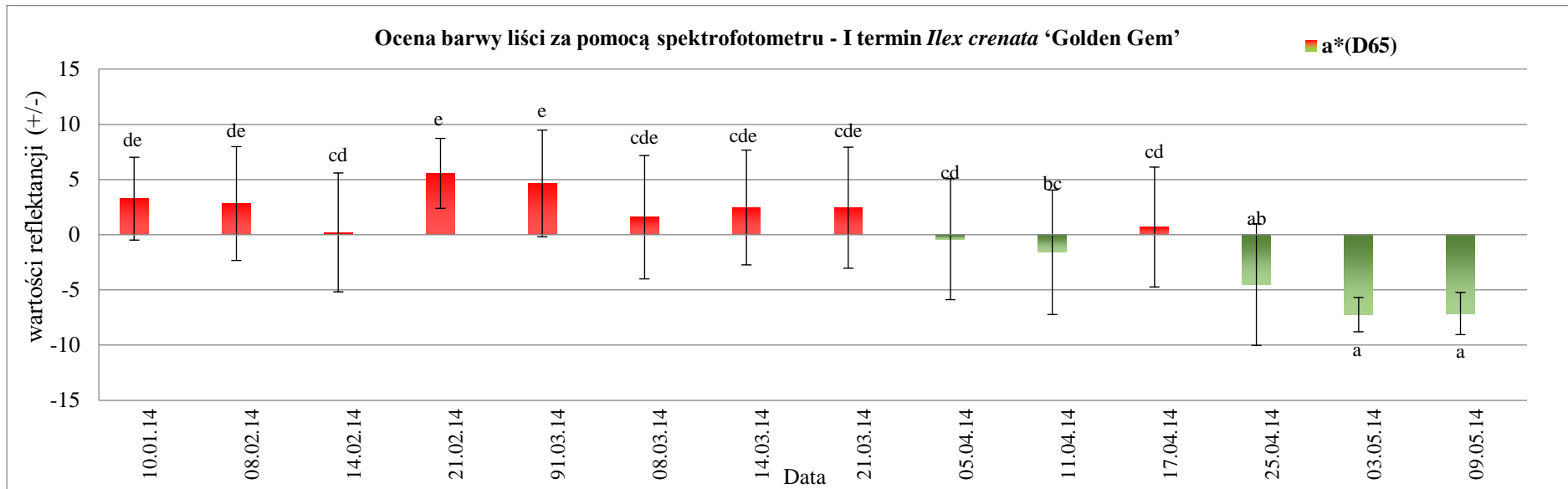
Uzyskane wartości pomiarów chromatyczności  $a^*$  i  $b^*$  rodzaju *Ilex* sp. poddano także analizom korelacji z przebiegiem temperatury w okresie prowadzonych badań (Tab.6). Wykonano analizy podstawowych statystyk opisowych wraz z testem Kołmogorowa-Smirnowa oraz analizy korelacji ze współczynnikiem  $r$  Pearsona. Za poziom istotności w niniejszym rozdziale uznano  $p < 0,05$ . Wyniki  $p$  w zakresie od 0,05 do 0,1 uznawane były za wyniki bliskie istotności statystycznej.

W I terminie prowadzonych badań zaszła istotna korelacja pomiędzy wartościami widm reflektancji  $a^*$  u IcGG, ImBPs i ImBPss, oraz osobno dla wartości  $b^*$  u IcGG, a wartościami temperatury. Oznacza to, że wraz ze wzrostem temperatury wartości chromy  $a^*$  u wszystkich badanych *Ilex* sp. i wartości  $b^*$  u IcGG, ulegały obniżeniu. W przypadku korelacji pozostałych wartości widma  $b^*$  względem temperatury dla ImBPs oraz ImBPss nie zaszła żadna istotność na poziomie tendencji statystycznej.

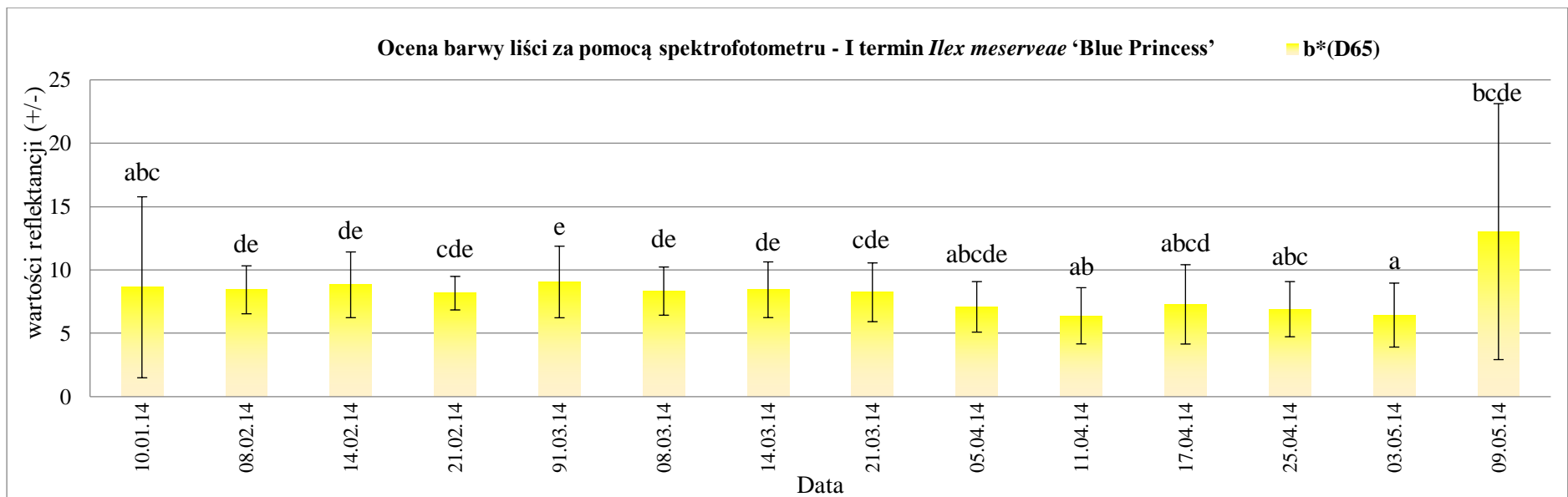
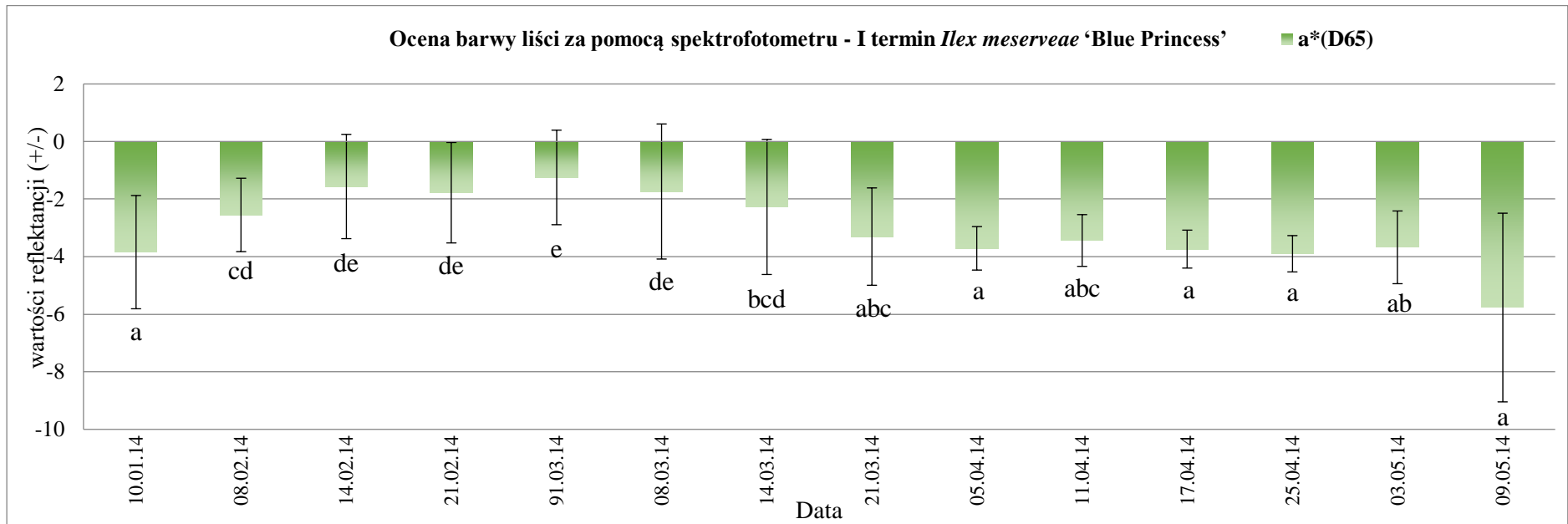
Tab. 6. Zachodząca korelacja pomiędzy średnią dobową temperaturą, a parametrami chromatyczności  $a^*$  i  $b^*$  w liściach RZ.

Nazwa RZ	I termin		II termin	
	Chroma $a^*$	Chroma $b^*$	Chroma $a^*$	Chroma $b^*$
<i>Ilex crenata</i> 'Golden Gem'	-0,716*	-0,750*	-0,386*	0,065
<i>Ilex meserveae</i> 'Blue Princess'	-0,674*	0,292	-0,532*	0,411*
<i>Ilex meserveae</i> 'Blue Prince'	-0,768*	0,082	0,118	-0,300

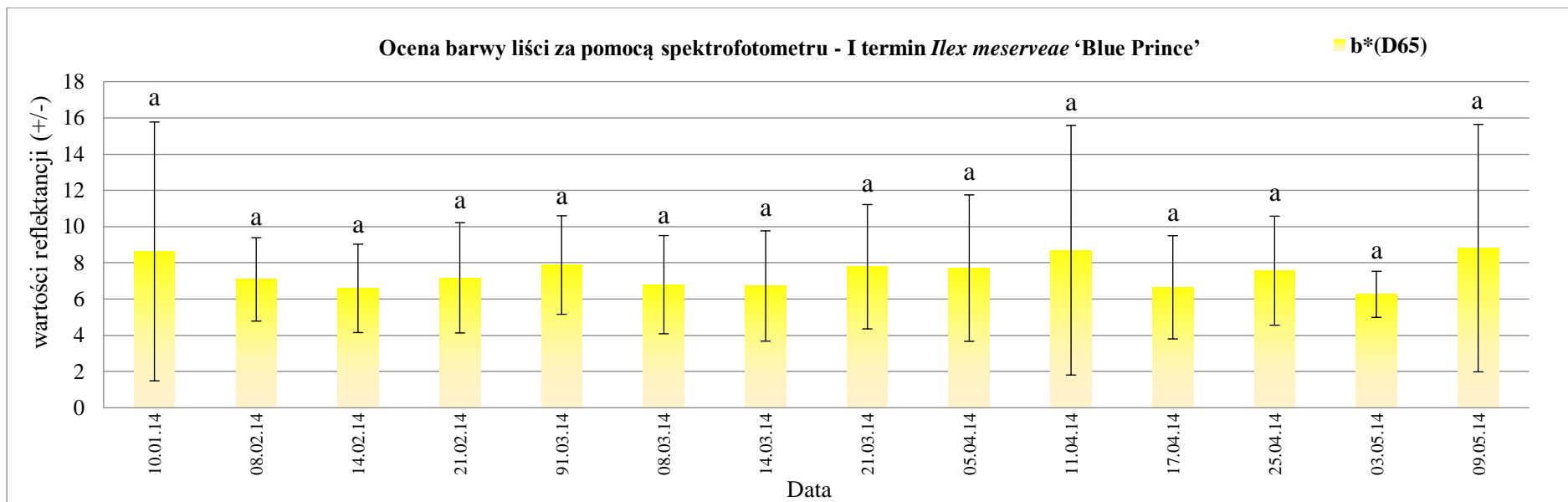
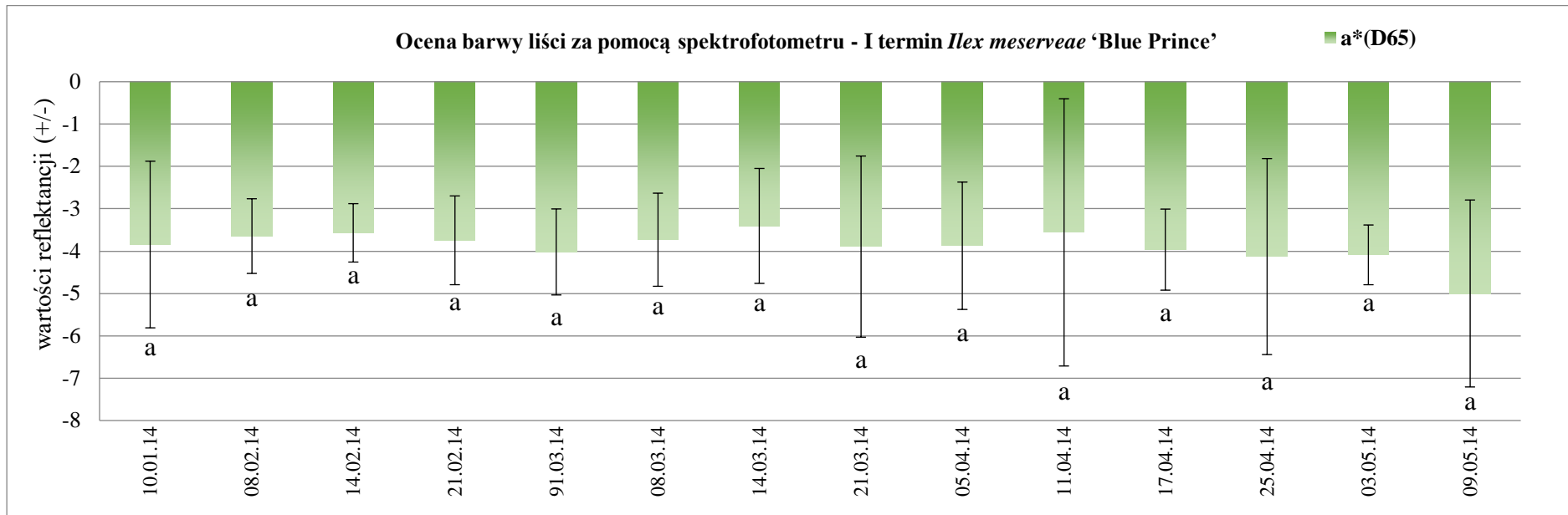
W II terminie prowadzonych badań, zaszła istotna korelacja między temperaturą, a parametrami chromatyczności, zarówno  $a^*$  i  $b^*$  u ImBPs (Tab. 6, Ryc.29). Wraz ze wzrostem temperatury, widma reflektancji  $a^*$  i  $b^*$  malały. Temperatura korelowała także z wartościami reflektancji parametru  $a^*$  u IcGG, podobnie jak w I terminie badań. W przypadku pozostałego ImBPss, między temperaturą, a parametrami  $a^*$  i  $b^*$  nie zaszła żadna zależność statystyczna.



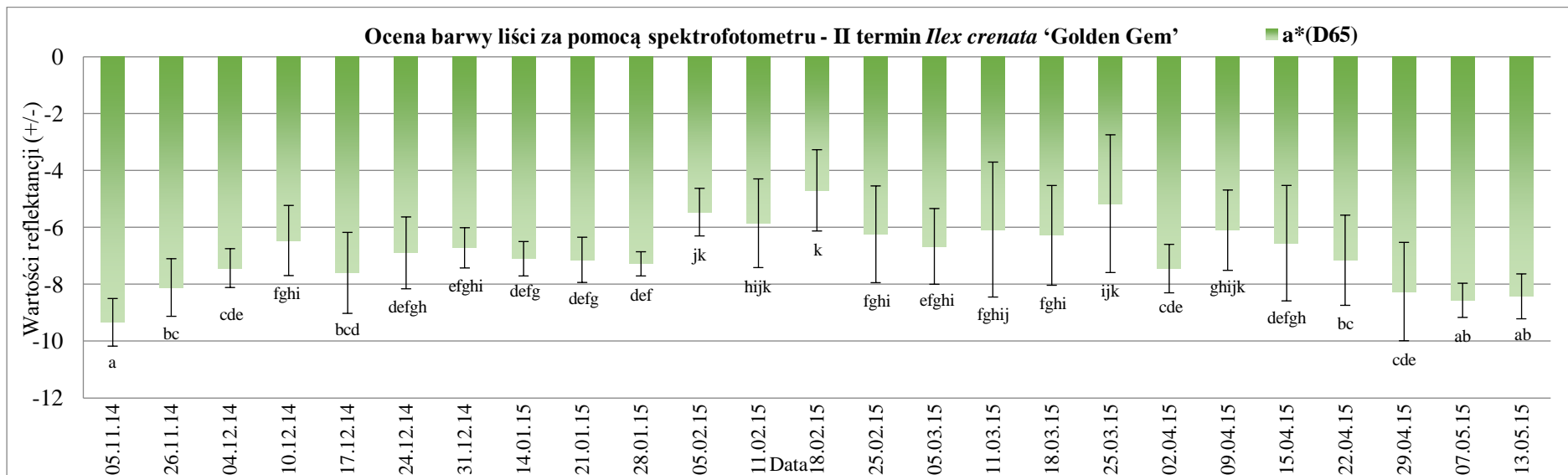
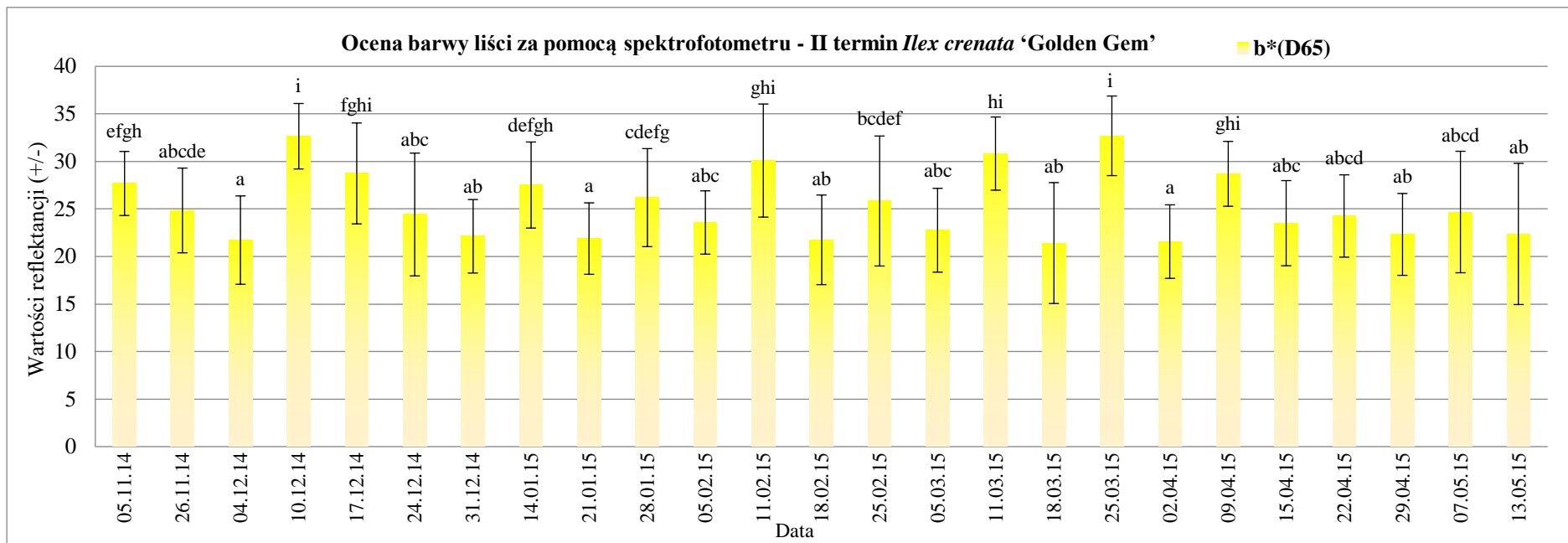
Ryc. 24. Ocena barwy liści RZ spektrofotometrem 2600d (Konica Minolta) parametrów chromatyczności a\* i b\* w I terminie pomiarów.



Ryc. 25. Ocena barwy liści RZ spektrofotometrem 2600d (Konica Minolta) parametrów chromatyczności a\* i b\* w I terminie pomiarów.



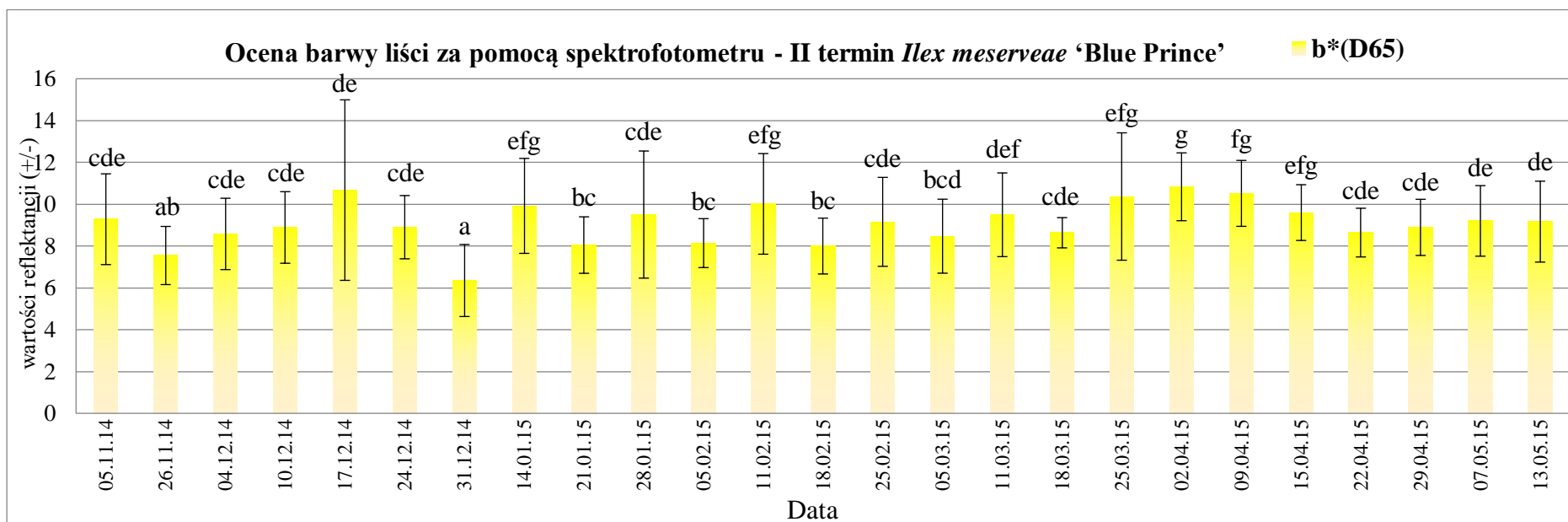
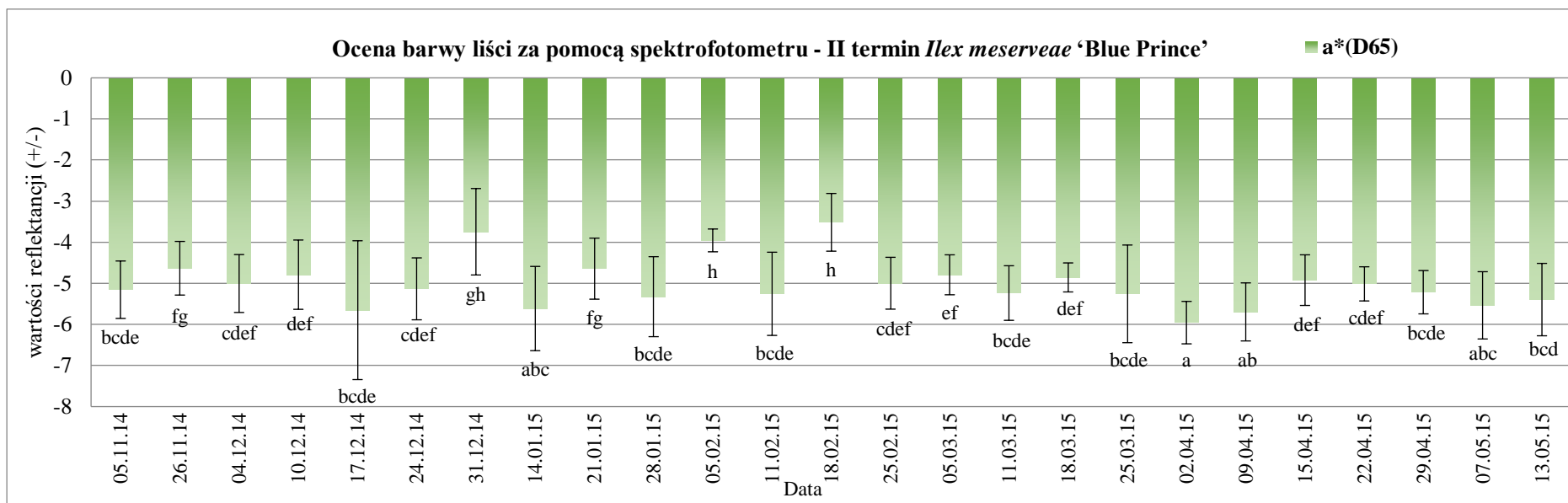
Ryc. 26. Ocena barwy liści RZ spektrofotometrem 2600d (Konica Minolta) parametrów chromatyczności a\* i b\* w I terminie pomiarów.



Ryc. 27. Ocena barwy liści RZ spektrofotometrem 2600d (Konica Minolta) parametrów chromatyczności a\* i b\* w II terminie pomiarów.



Ryc. 28. Ocena barwy liści RZ spektrofotometrem 2600d (Konica Minolta) parametrów chromatyczności a\* i b\* w II terminie pomiarów.



Ryc. 29. Ocena barwy liści RZ spektrofotometrem 2600d (Konica Minolta) parametrów chromatyczności a\* i b\* w II terminie pomiarów.



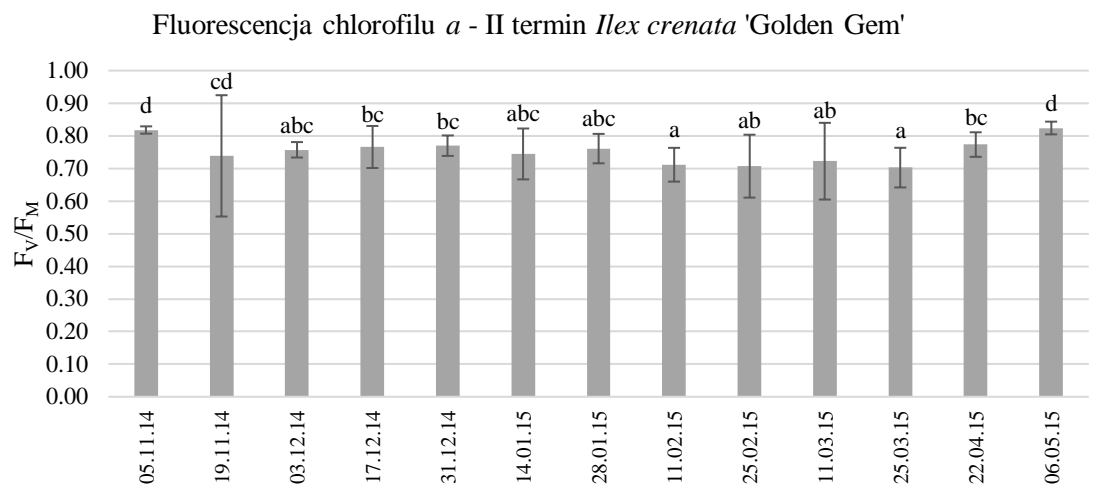
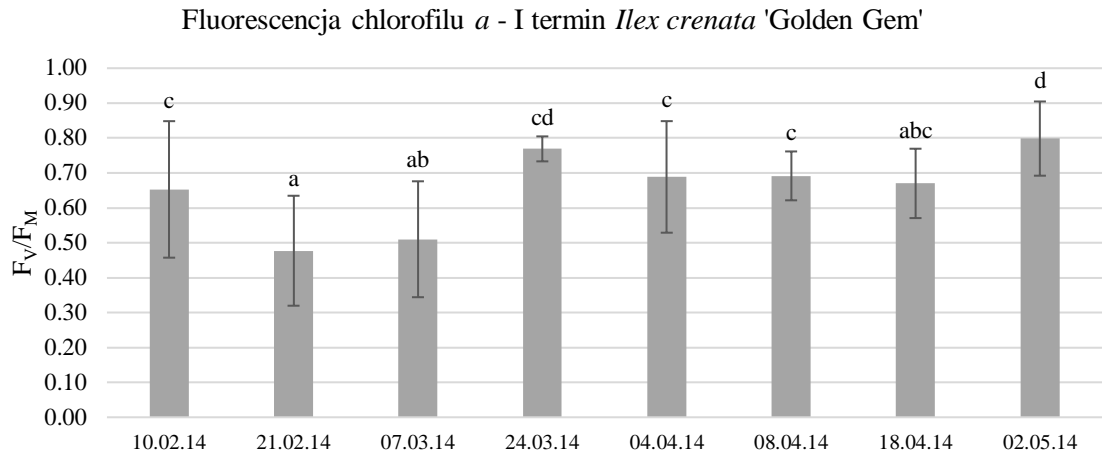
### **Maksymalna wydajność fotochemiczna PSII ( $F_v/F_M$ )**

Najniższą wartość fluorescencji  $F_v/F_M$  w I terminie pomiarów u *Ilex crenata* ‘Golden Gem’ (IcGG) odnotowano 21.02.14 roku (0,48) oraz 7.03.14 roku (0,51) i 18.04.14 (0,67). Najwyższą natomiast 2.05.2014 roku, wartość parametru wyniosła wtedy 0,80. W II terminie prowadzonych badań odnotowano szereg różnic istotnych statystycznie parametru  $F_v/F_M$ . Najniższa maksymalna wydajność PSII została odnotowana 11.02.15 i 25.03.15. Wyniki jej nie różniły się istotnie statystycznie od pozostałych terminów. W maju (02.05.14) wraz ze wzrostem temperatury wydajność ta wzrastała i osiągnęła 0,80 (Ryc. 30).

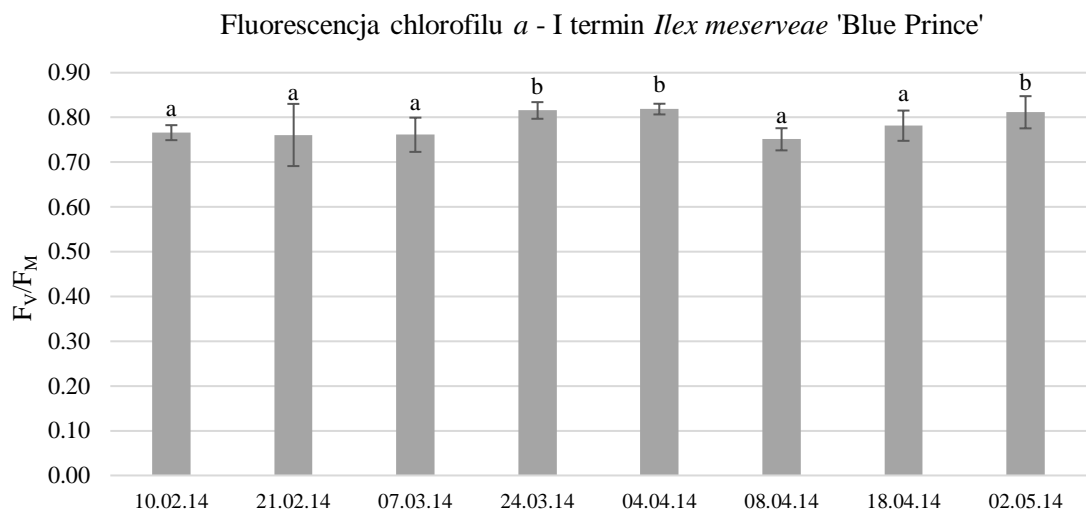
W ciągu pierwszych trzech pomiarów  $F_v/F_M$ , w I i II terminie, średnio wyniósł dla obu odmian: *Ilex meserveae*, ~0,77, natomiast wraz ze wzrostem temperatury, jaki następował w marcu (07.03.2014) z 3,9°C do 12,6°C (24.03.2014), wzrastał także ich parametr fluorescencji, a 2.05.2014 osiągnął średnio 0,82.

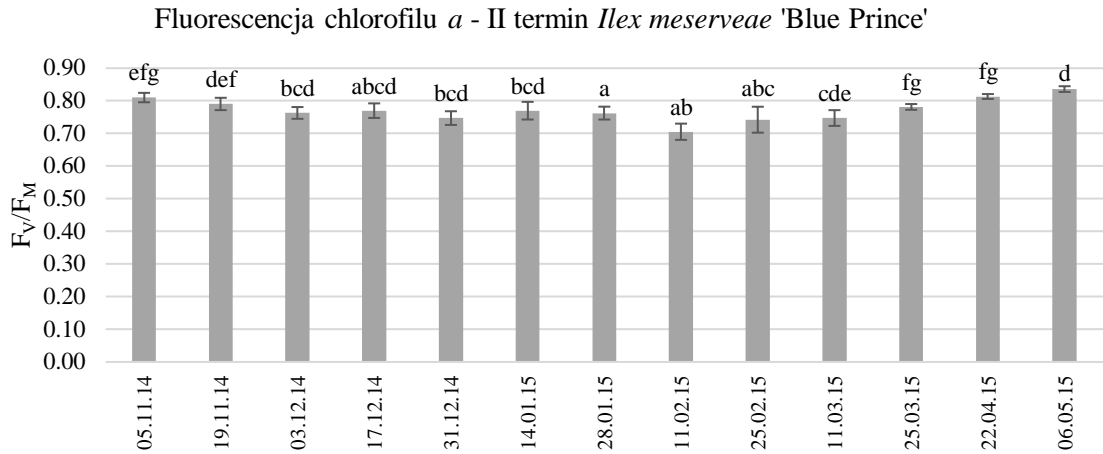
Wysokie wartości parametru  $F_v/F_M$  w każdym z analizowanych dat pomiarów wykonywania fluorescencji w II terminie odnotowano u wszystkich RZ z rodzaju *Ilex* sp. (Ryc. 31 i 32). W przypadku IcGG oraz ImBPs i ImBPss, najwyższy istotnie statystycznie  $F_v/F_M$  wykazano podczas analizy 5.11.14 (~0,81), oraz 6.05.15, bo średnio ~0,82. Najniższą wydajność PSII odnotowano u ImBP, 11.02.15 (0,71) (Ryc.31). Zbliżone wartości utrzymywały się w kolejnych terminach do marca, nie różniąc się istotnie statystycznie. Wydajność fotochemiczna fotosystemu II ( $F_v/F_M$ ) po 5.11.14 zaczęła spadać i przez kolejne 5 pomiarów była stała, średnio wynosząc ~0,77. Wraz ze wzrostem temperatury parametr  $F_v/F_M$  zaczął się podnosić.

Najniższe  $F_v/F_M$  u ImBPss odnotowano w II terminie 11.02.15 (Ryc. 32), tak samo, jak u ImBPs, najwyższe zaś w listopadzie oraz w maju, podobnie także jak u ImBPs. Obie odmiany *Ilex meserveae*, zarówno ‘Blue Princess’ (odmiana żeńska) jak i ‘Blue Prince’ (odmiana męska) w I i II terminie pomiarów miały zbliżone tendencje wzrostu i spadku maksymalnej wydajności PSII.

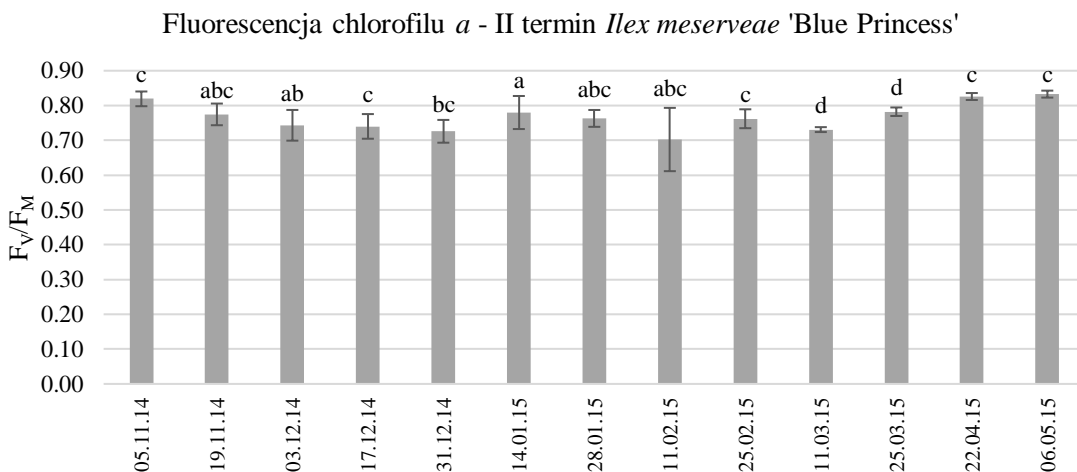
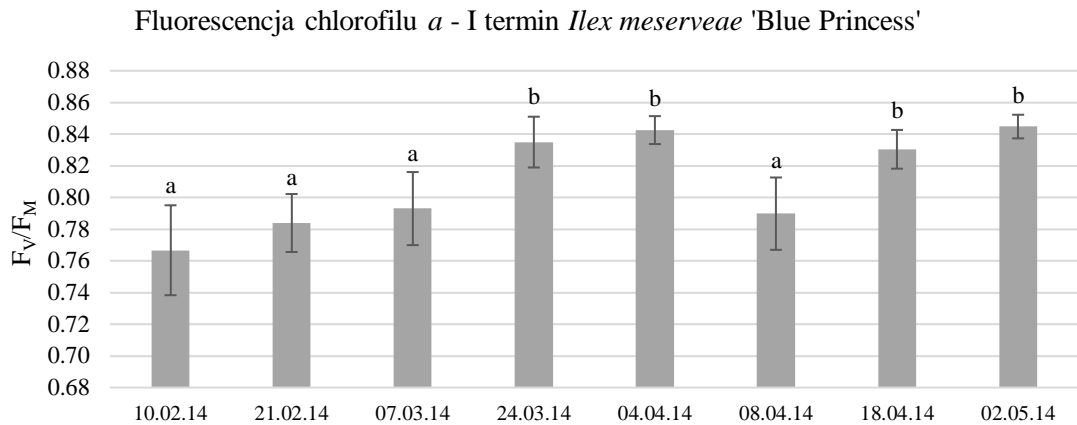


Ryc. 30. Maksymalna fotochemiczna wydajność PSII dla *Ilex crenata* 'Golden Gem' w I i II terminie pomiarów. Podano średnie  $\pm$  odchylenie standardowe, za poziom istotności uznano  $\alpha = 0,05$ . Jednakowe litery oznaczają brak istotnego statystycznie zróżnicowania średnich wg testu Kruskala-Wallisa przy  $0,05 < p < 0,1$  w obrębie daty pomiaru (grupy jednorodne).





Ryc. 31. Maksymalna fotochemiczna wydajność PSII dla *Ilex meserveae* 'Blue Prince' w I i II terminie pomiarów. Podano średnie  $\pm$  odchylenie standardowe, za poziom istotności uznano  $\alpha = 0,05$ . Jednakowe litery oznaczają brak istotnego statystycznie zróżnicowania średnich wg testu Kruskala-Wallisa przy  $0,05 < p < 0,1$  w obrębie daty pomiaru (grupy jednorodne).

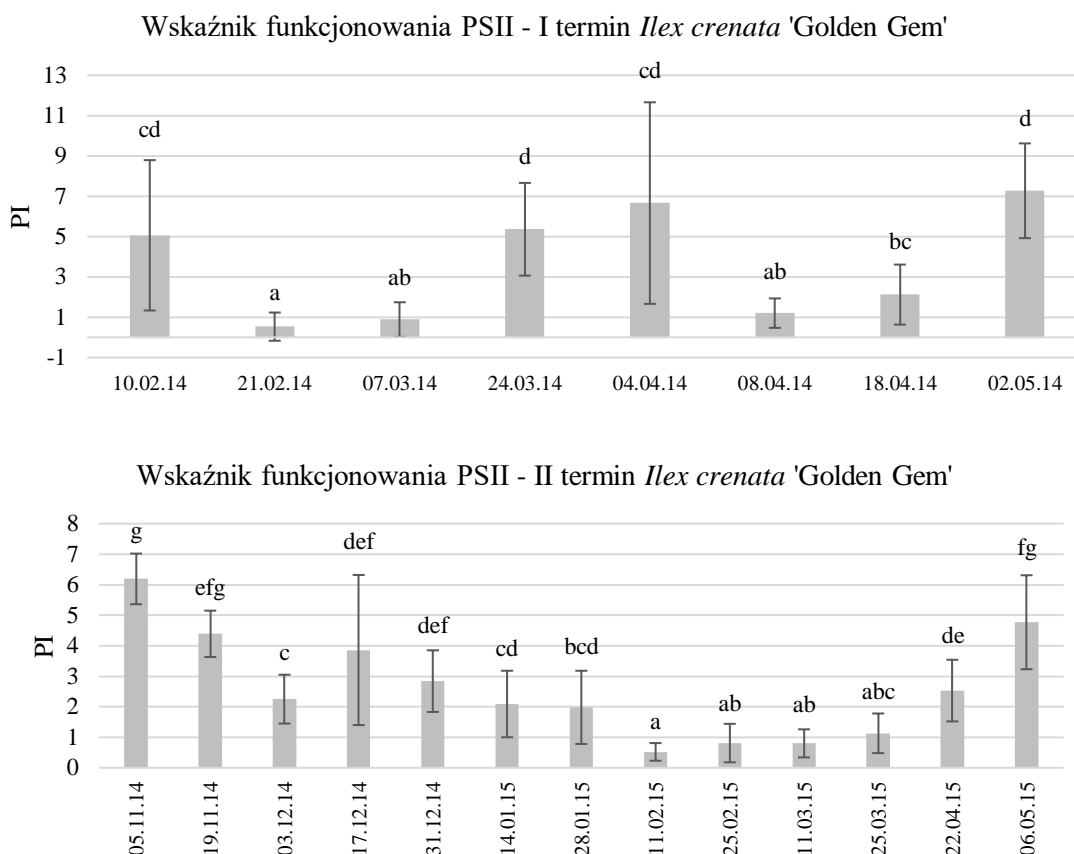


Ryc. 32. Maksymalna fotochemiczna wydajność PSII dla *Ilex meserveae* 'Blue Princess' w I i II terminie pomiarów. Podano średnie  $\pm$  odchylenie standardowe, za poziom istotności uznano  $\alpha = 0,05$ . Jednakowe litery oznaczają brak istotnego statystycznie zróżnicowania średnich wg testu Kruskala-Wallisa przy  $0,05 < p < 0,1$  w obrębie daty pomiaru (grupy jednorodne).

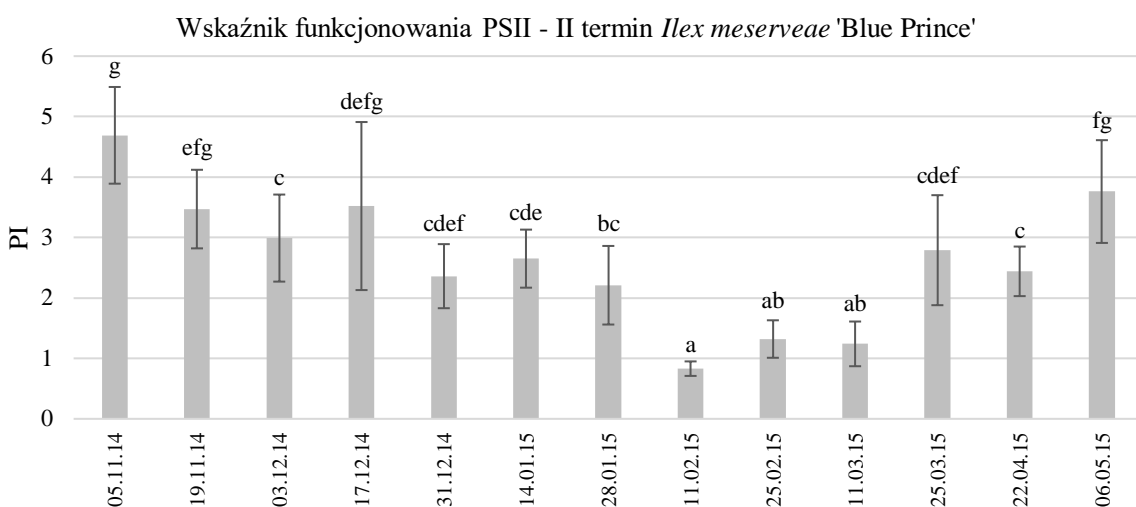
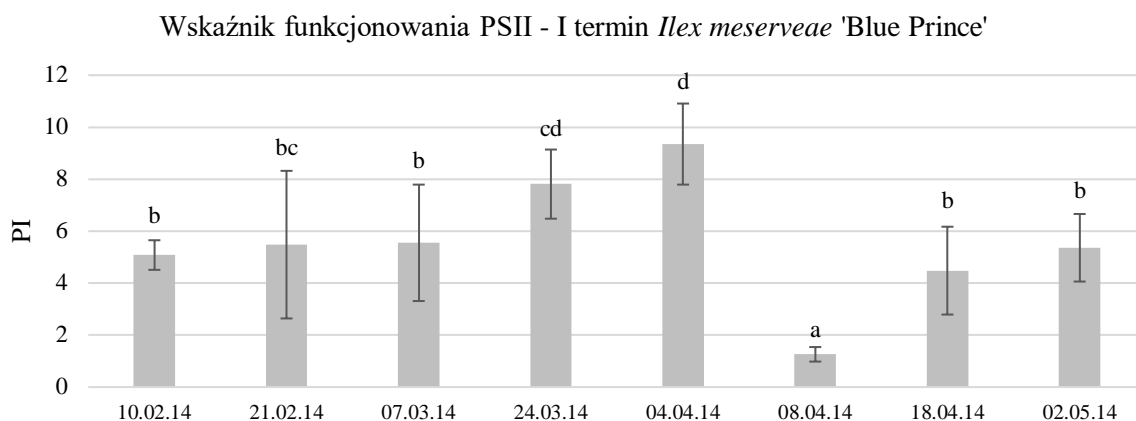
## Performance Index (PI) – wskaźnik funkcjonowania PSII

Badane *Ilex* sp. wykazywały najwyższe wartości wskaźnika funkcjonowania fotosystemu II w przypadku II terminu pomiaru (Ryc. 33, 34, 35). W I terminie odnotowano u IcGG najniższą wartość PI, 21.02.14, ale także 7.03.14 i 08.04.14. Najwyższą zaś 04.04.14 i 02.05.14. W II terminie pomiarów najniższe wartości Performance Index odnotowano 11.02.15 i nie różnił się on istotnie statystycznie od kolejnych pomiarów 25.02.15, 11.03.15 i 25.03.15. Wraz ze wzrostem temperatur wartość PI rosła i najwyższą osiągnęła w maju oraz 5.11.14 (Ryc. 33). W przypadku gatunku *Ilex meserveae* w I i II terminie wskaźnik funkcjonowania PSII przybierał podobne wartości. W I terminie odnotowano najniższe wartości PI u ImBPs i ImBPss 08.04.14, a najwyższe 04.04.14. W ciągu pierwszych trzech pomiarów wartości PI nie różniły się statystycznie. W miarę wzrostu temperatury podnosił się także Performance Index.

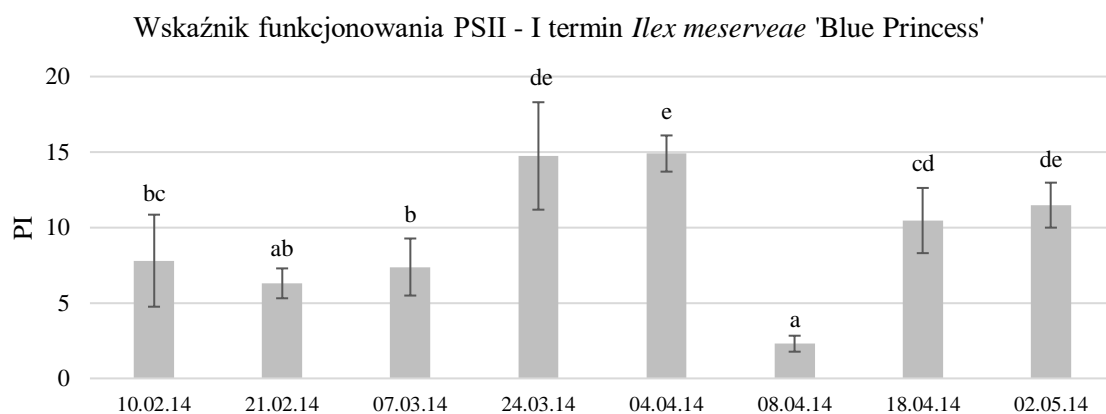
W II terminie PI wskazał najniższe funkcjonowanie fotosystemu II 11.02.15, 25.02.15 i 11.03.15 zarówno u ImBPs jak i u ImBPss, ale także u IcGG. Najwyższe wartości odnotowano 05.11.14 oraz kiedy temperatura wzrastała w maju 06.05.15 (Ryc. 34 i 35).



Ryc. 33. Performance Index – wskaźnik funkcjonowania PSII dla *Ilex crenata* 'Golden Gem' w I i II terminie pomiarów. Podano średnie  $\pm$  odchylenie standardowe, za poziom istotności uznano  $\alpha = 0,05$ . Jednakowe litery oznaczają brak istotnego statystycznie zróżnicowania średnich wg testu Kruskala-Wallis przy  $0,05 < p < 0,1$  w obrębie daty pomiaru (grupy jednorodne).

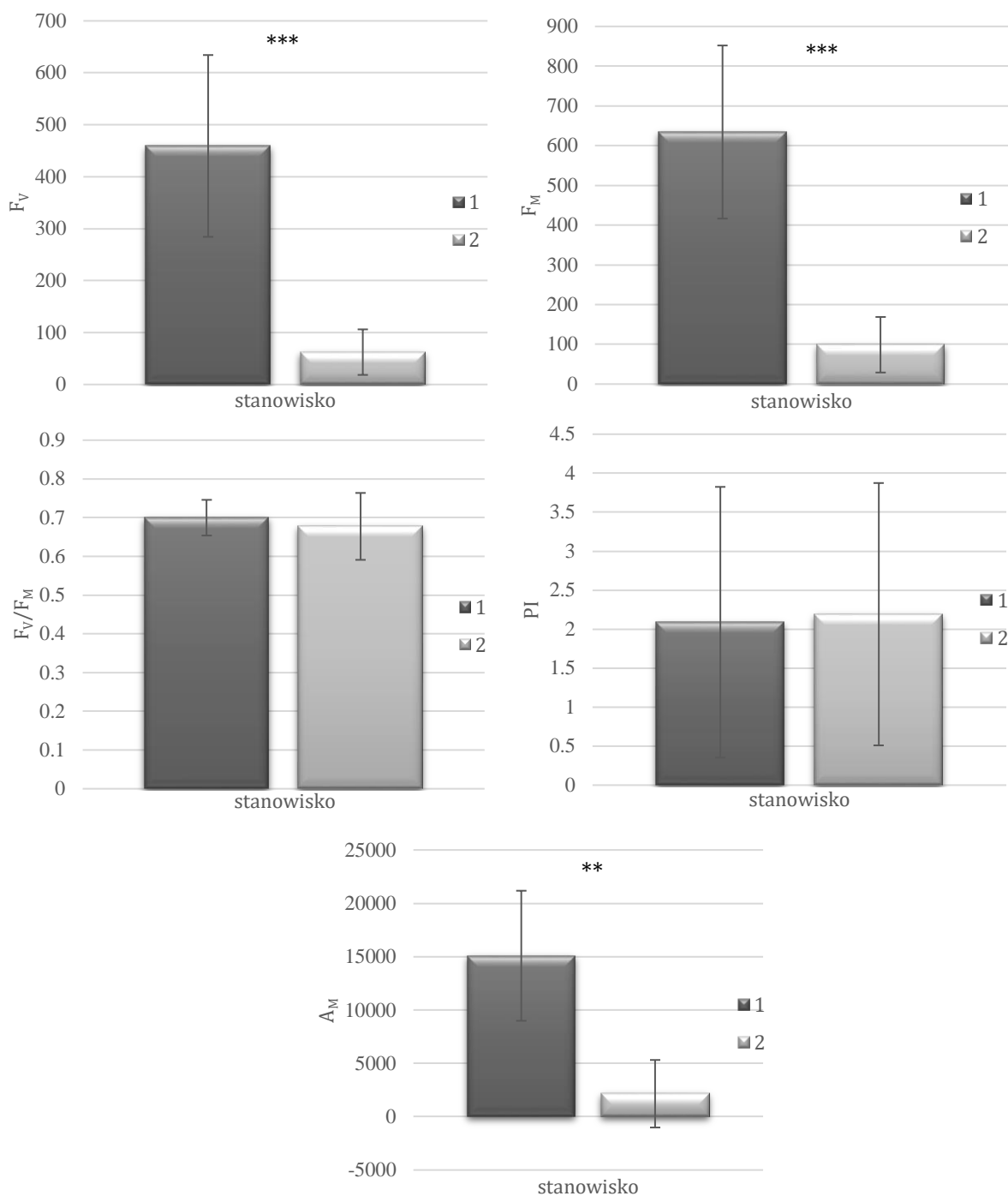


Ryc. 34. Performance Index – wskaźnik funkcjonowania PSII dla *Ilex meserveae* 'Blue Prince' w I i II terminie pomiarów. Podano średnie ± odchylenie standardowe, za poziom istotności uznano  $\alpha = 0,05$ . Jednakowe litery oznaczają brak istotnego statystycznie zróżnicowania średnich wg testu Kruskala-Wallisa przy  $0,05 < p < 0,1$  w obrębie daty pomiaru (grupy jednorodne).



Ryc. 35. Performance Index – wskaźnik funkcjonowania PSII dla *Ilex meserveae* 'Blue Princess' w I i II terminie pomiarów. Podano średnie ± odchylenie standardowe, za poziom istotności uznano  $\alpha = 0,05$ . Jednakowe litery oznaczają brak istotnego statystycznie zróżnicowania średnich wg testu Kruskala-Wallisa przy  $0,05 < p < 0,1$  w obrębie daty pomiaru (grupy jednorodne).

#### 4.1.2. OCENA KONDYCJI LIŚCI ZIMOZIELONYCH KRZEWÓW *ILEX MESERVEAE*



Ryc. 36. Zmiany parametrów fluorescencji chlorofilu *a* u liści *Ilex crenata* 'Golden Gem' (IcGG) występujących na stanowisku 1 i 2 w terenach zielonych „Wiślane Tarasy” w Krakowie; 1 – rośliny rosnące pod okapem innych krzewów (cień), skarpa zewnętrzna, 2 – bez towarzystwa roślin dających cień, skarpa zewnętrzna;  $F_M$  – fluorescencja maksymalna,  $F_V$  – fluorescencja zmienna,  $F_V/F_M$  – maksymalna fotochemiczna wydajność fotosystemu II, PI – wskaźnika funkcjonowania fotosystemu II,  $A_M$  – pole powierzchni nad krzywą indukcji fluorescencji chlorofilu *a*; Oznaczenia: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  określają różnice statystyczne wg Testu t-Studenta.

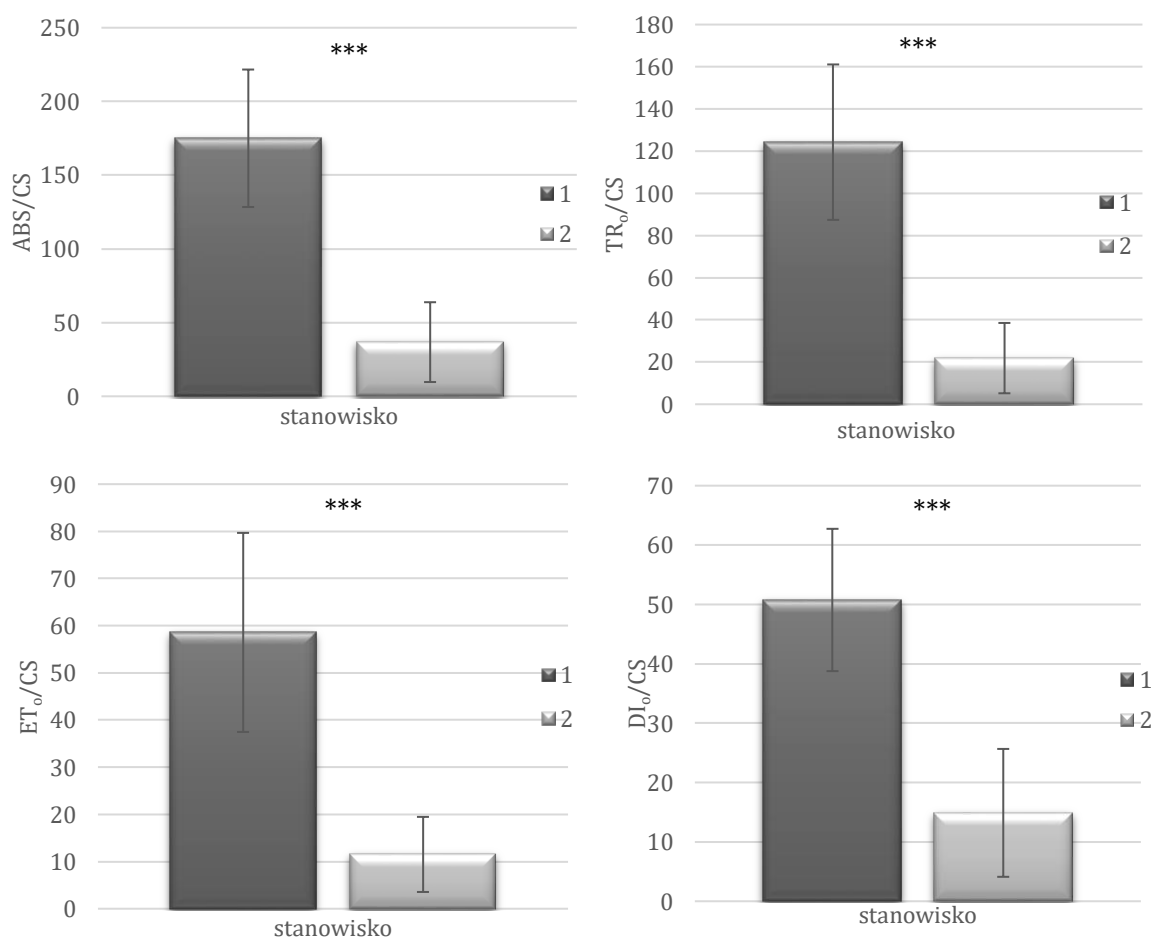
Poziom fluorescencji maksymalnej ( $F_M$ ) na stanowisku 1 roślin, które rosły w cieniu, był wyższy (634), niż u roślin ze stanowiska 2 (99), bez sąsiedztwa roślin, które mogłyby dawać cień. Liście te, były wybarwione bardziej na kolor żółty, natomiast na stanowisku 1 liście były zielone (Ryc. 36).

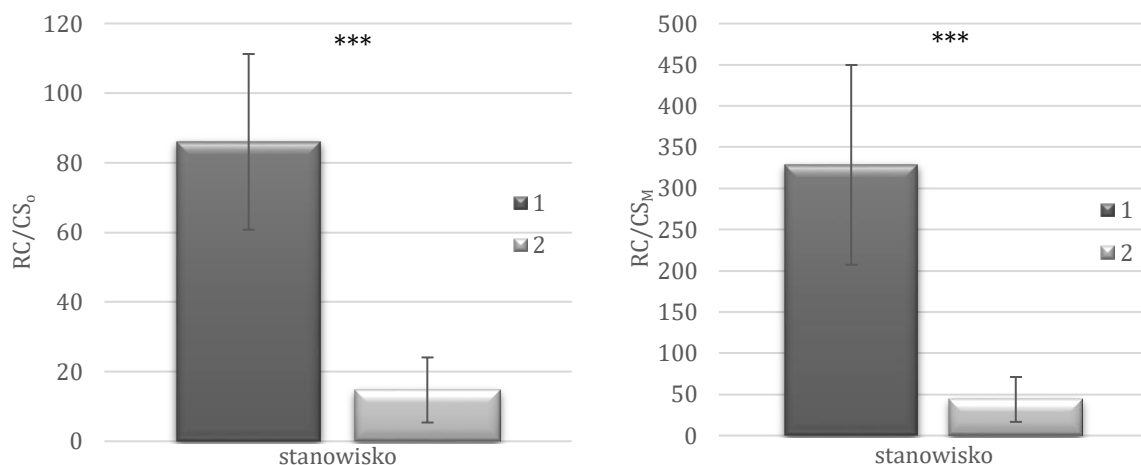
Wartość  $F_v$  tj. fluorescencji zmiennej (różnicy wartości fluorescencji maksymalnej i początkowej), wyznaczonych po adaptacji ciemniowej liści roślin IcGG na stanowisku 1, wynosi ok. 459 i jest wyższy od liści roślin ze stanowiska 2 (62).

Maksymalna wydajność fotochemiczna fotosystemu II określana parametrem  $F_v/F_M$  jest podobna dla stanowiska 1 (0,70) i 2 (0,68).

Wskaźnik Performance Index (PI) funkcjonowania fotosystemu II liści roślin IcGG stanowisk 1 i 2 jest podobny i wynosi 2,09 (1) oraz 2,19 (2).

Wartość wskaźnika  $A_M$  (Area), czyli pola powierzchni nad krzywą indukcji fluorescencji chlorofilu *a*, jest wyższa na stanowisku 1 i wynosi ok. 15083, niż w 2 u IcGG bo jego wartość to około 2150.





Ryc. 37. Oszacowanie przepływu energii w przeliczeniu na wzbudzoną powierzchnię próbki (CS) fotosyntetycznie czynnej u liści *Ilex crenata* 'Golden Gem' (IcGG) występujących na stanowisku 1 i 2 w terenach zielonych „Wiślane Tarasy” w Krakowie; 1 – rośliny rosnące pod okapem innych krzewów (cień), skarpa zewnętrzna, 2 – bez roślin dających cień, skarpa zewnętrzna; ABS/CS – fenomenologiczny strumień energii absorbowanej przez anteny PSII, gdzie CS to wzbudzony, czynny przekrój liścia; TR<sub>o</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii pułapowanej w centrach reakcji PSII; ET<sub>o</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii używanej do napędzania transportu elektronów; DI<sub>o</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii rozpraszanej w centrach reakcji PSII; RC/CS<sub>o</sub> – ilość aktywnych centrów reakcji we wzbudzonym fragmencie liścia; RC/CS<sub>m</sub> – ilość aktywnych centrów reakcji w stanie relaksacji fragmentu liścia; Oznaczenia: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  określają różnice statystyczne wg Testu t-Studenta.

Wartość ABS/CS liści IcGG na stanowisku 1 wynosi 175 i jest prawie 5-krotnie wyższa, niż u liści roślin ze stanowiska 2 (37) (Ryc. 37).

Wskaźnik TR<sub>o</sub> fotosyntetyzującej próbki (CS) określany jako wskaźnik TR<sub>o</sub>/CS wskazywał wyższe wartości u roślin rosnących na zewnętrznej skarpie w cieniu (stanowisko 1) i wynosił ok. 124. Wartość tego samego wskaźnika była 6 razy mniejsza, bo ok. 22 u roślin, które rosły na tej samej skarpie, ale na stanowisku 2.

Wartość Et<sub>o</sub>/CS był wyższy i wynosił ok. 59 na stanowisku 1 (cienistym) w stosunku do stanowiska 2 (bez cienia), który wyniósł ok. 11.

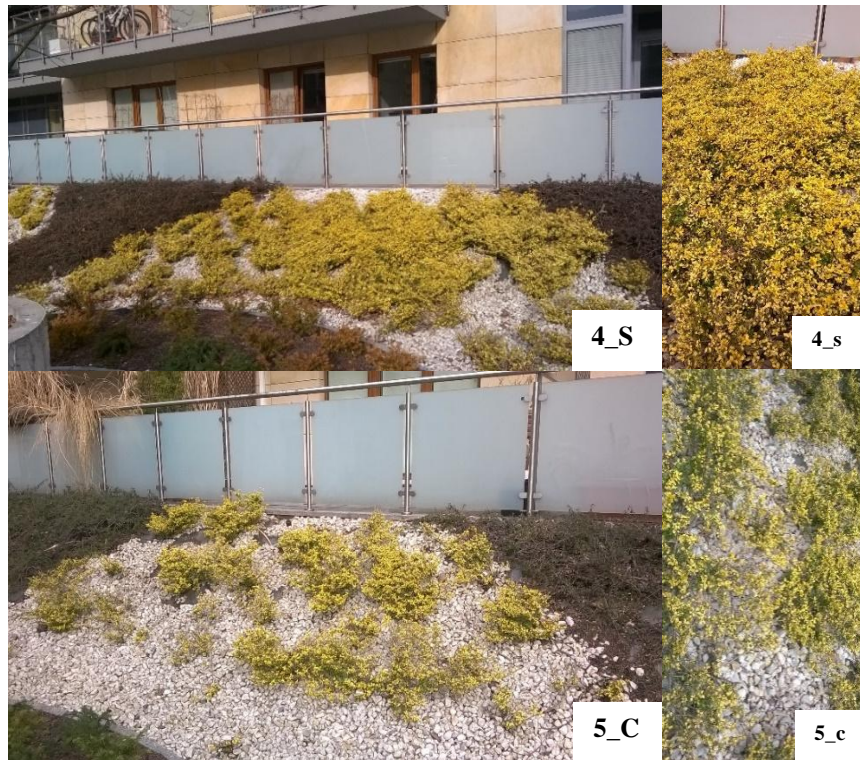
Wskaźnik DI<sub>o</sub>/CS zaobserwowano wyższy u roślin IcGG ze stanowiska 1 (50,75) niż u tej samej grupy roślin tylko z obiektu 2 (15).

Ilość aktywnych centrów reakcji we wzbudzonym fragmencie liści (RC/CS<sub>o</sub>) u IcGG wynosiła około 86 na stanowisku 1 i była znacznie wyższa niż u roślin ze stanowiska 2 (15).

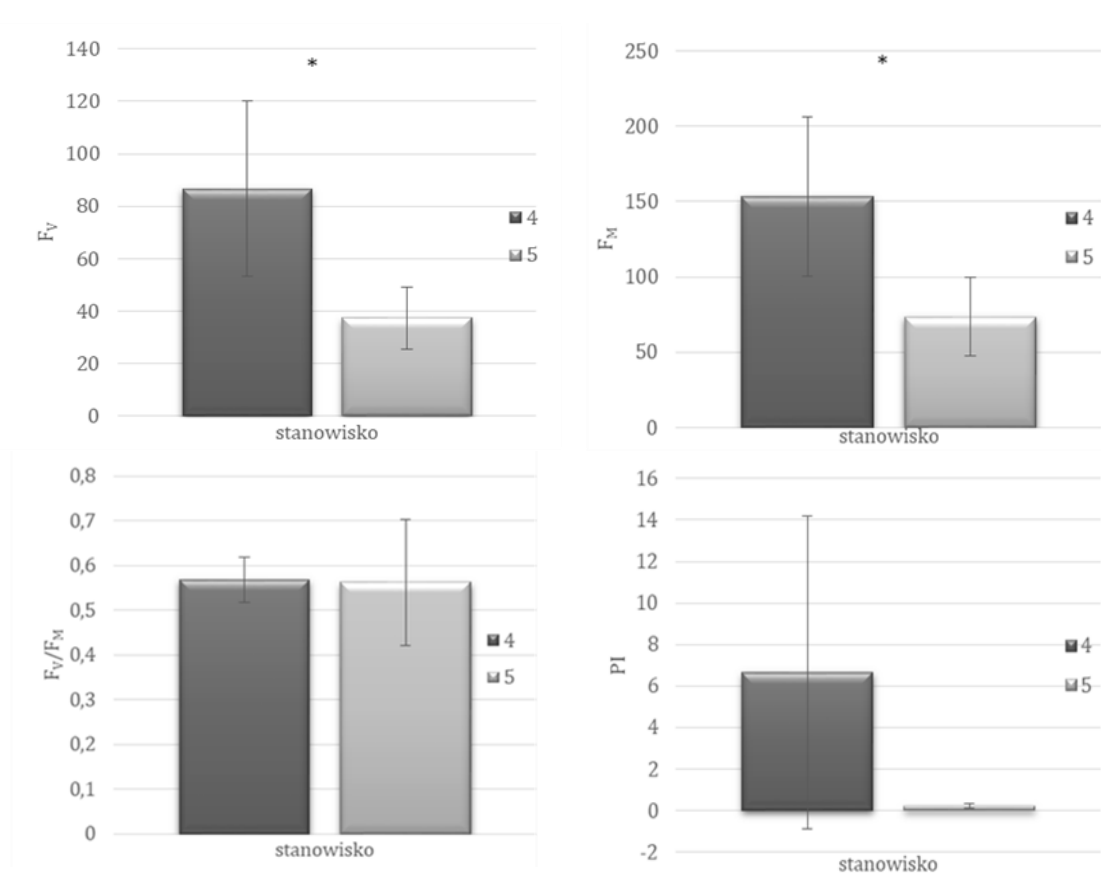
Ilość aktywnych centrów reakcji (RC) w stanie relaksacji fragmentu liścia (CS<sub>m</sub>) odnotowano wysoki u liści roślin ze stanowiska 1, bo około 329 w stosunku do roślin z obiektu

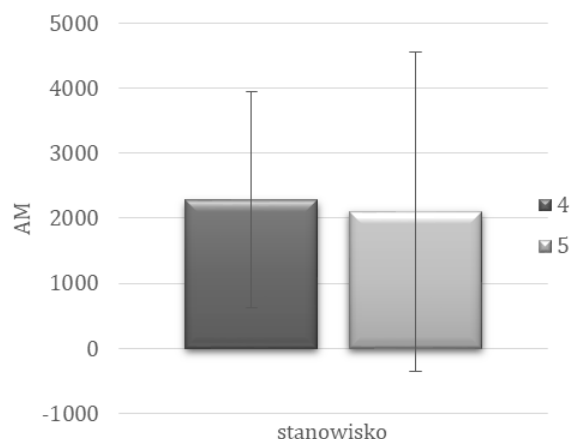
2 (44). W obu przypadkach stanowisk 1 i 2 ilość RC była prawie 6-7 krotnie mniejsza niż w obiektach 1.





Ryc. 38. Stanowiska występowania *Ilex crenata* 'Golden Gem' (IcGG) w terenach zielonych „Wiślane Tarasy” w Krakowie na dziedzińcu osiedla w zastoju wietrznym; 4\_S – (S – słoneczne), wystawa słoneczna, skarpa, 5\_C – (C – cieniste), stanowisko cieniste, tzw. „studnia”, na skarpie [fot. Karolina Wietnik].





Ryc. 39. Zmiany parametrów fluorescencji chlorofilu *a* u liści *Ilex crenata* 'Golden Gem' (IcGG) występujących na stanowisku 4 i 5 w terenach zielonych „Wiślane Tarasy” w Krakowie; 4 – słoneczne, na skarpie (dziedziniec), 5 – cieniste; „studnia” na skarpie (dziedziniec);  $F_M$  – fluorescencja maksymalna,  $F_V$  – fluorescencja zmienna,  $F_V/F_M$  – maksymalna fotochemiczna wydajność fotosystemu II, PI – wskaźnika funkcjonowania fotosystemu II,  $A_M$  – pole powierzchni nad krzywą indukcji fluorescencji chlorofilu *a*; Oznaczenia: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  określają różnice statystyczne wg Testu t-Studenta.

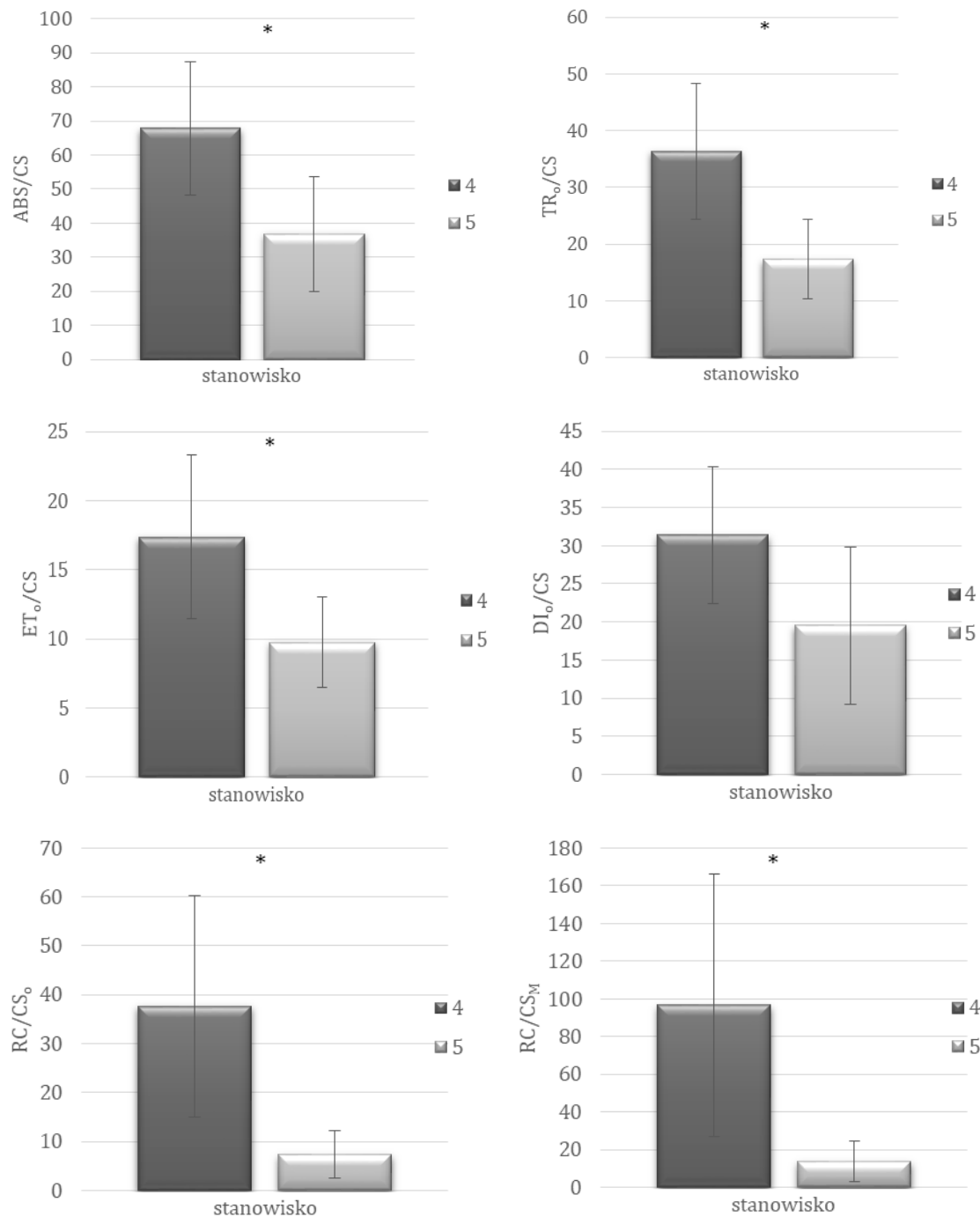
Poziom fluorescencji maksymalnej ( $F_M$ ) u IcGG (Ryc. 39) rosnących na stanowisku słonecznym (4) był wyższy (153) niż u krzewów tej samej odmiany rosnących na stanowisku (5) zacienionym (73).

Wartość fluorescencji zmiennej ( $F_V$ ) była wyższa (87) u IcGG rosnących na stanowisku 4 w stosunku do 5, gdzie panował cień (37).

Maksymalna fotochemiczna wydajność fotosystemu II ( $F_V/F_M$ ) u liści IcGG ze stanowiska słonecznego (4) była podobna (0,57), jak u IcGG ze stanowiska 5, które rosły w cieniu i wynosiła 0,56.

Wartości wskaźnika Area ( $A_M$ ) u krzewów IcGG na stanowiskach 4 i 5 są zbliżone do siebie i wynoszą kolejno dla 4: 2280, a dla 5: 2100.

Wartość wskaźnika PI dla liści roślin IcGG na stanowisku 4 wynosiła 6,67, a w obiekcie 2: 0,21 (Ryc. 38).



Ryc. 40. Oszacowanie przepływu energii w przeliczeniu na wzbudzoną powierzchnię próbki (CS) fotosyntetycznie czynnej u liści *Ilex crenata* 'Golden Gem' (IcGG) występujących na stanowisku 4 i 5 w terenach zielonych „Wiślane Tarasy” w Krakowie; ABS/CS – fenomenologiczny strumień energii absorbowanej przez anteny PSII, gdzie CS to wzbudzony, czynny przekrój liścia; TR<sub>o</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii pułapkowej w centrach reakcji PSII; ET<sub>o</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii używanej do napędzania transportu elektronów; DI<sub>o</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii rozpraszanej w centrach reakcji PSII; RC/CS<sub>o</sub> – ilość aktywnych centrów reakcji we wzbudzonym fragmencie liścia; RC/CS<sub>m</sub> – ilość aktywnych centrów reakcji w stanie relaksacji fragmentu liścia; Oznaczenia: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  określają różnice statystyczne wg Testu t-Studenta.

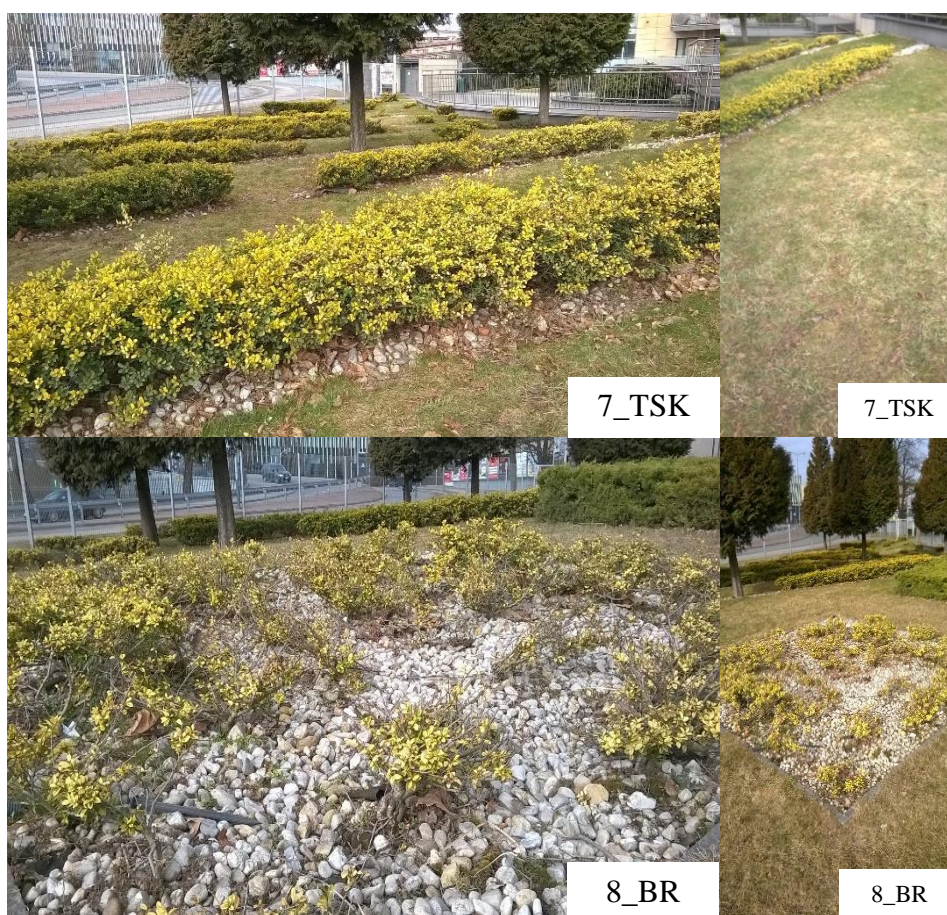
Fenomenologiczny strumień energii absorbowanej przez anteny PSII (ABS), w którym CS to wzbudzony, czynny przekrój liścia na stanowisku 4 był prawie 2-krotnie wyższy (68) niż u liści IcGG na stanowisku 5, który wynosił ok. 37 (Ryc. 40).

Wartość fenomenologicznego strumienia energii pułapowanej w centrach reakcji PSII ( $TR_o/CS$ ) na stanowisku słonecznym (4) wyniosła około 37, natomiast u roślin rosnących na tej samej skarpie, ale w cienistej „studni” wartość ta była 2 razy mniejsza i wynosiła ok. 17.

Wartość wskaźnika  $ET_o/CS$  na stanowisku 4 odnotowano także 2-krotnie wyższy (17,38) niż na stanowisku 5: ok. 9,75.

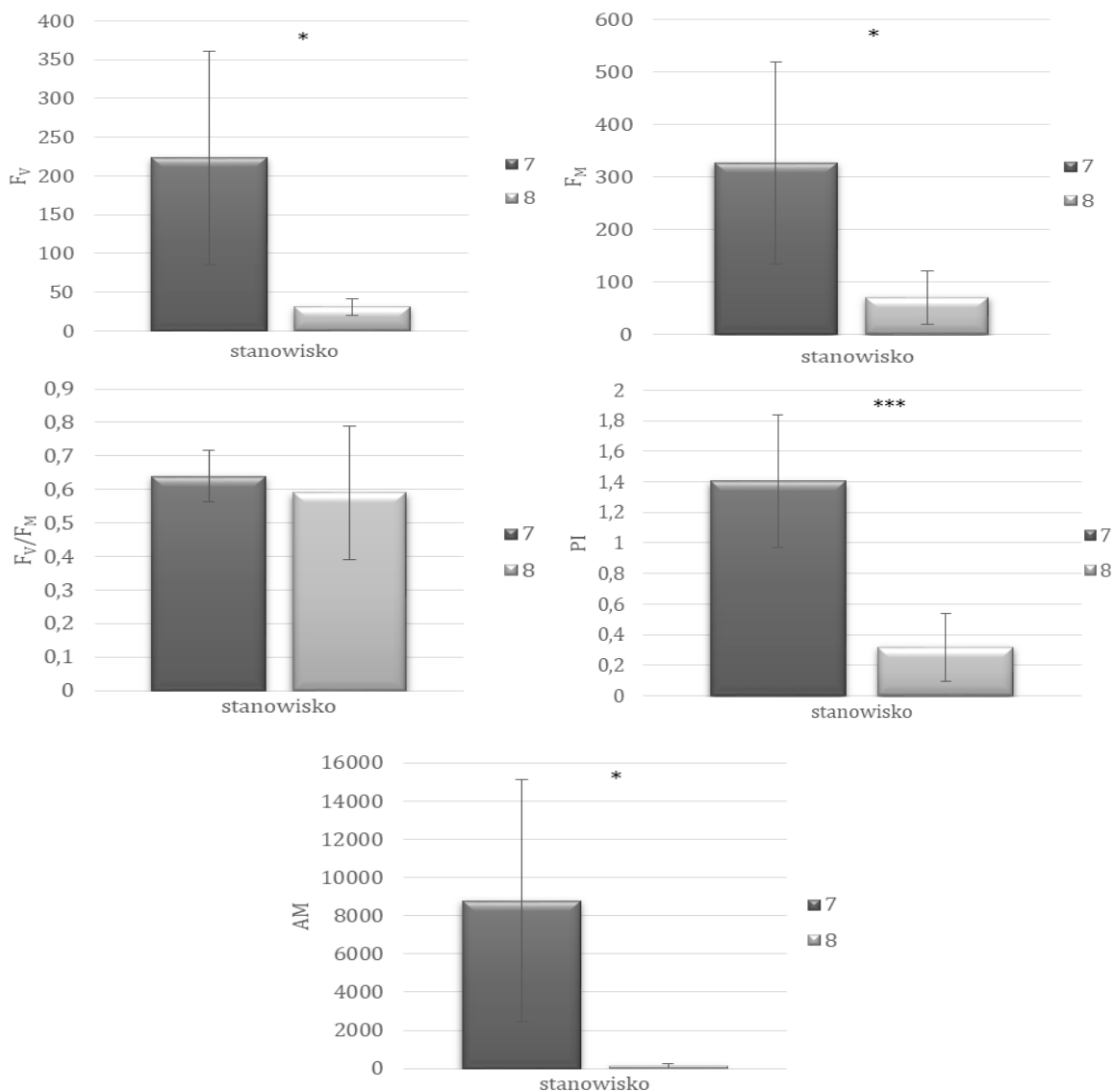
Wskaźnik  $DI_o/CS$  wyniósł ok. 31 u roślin ze stanowiska 4, a 20 ze stanowiska 5. Wartość wskaźnika RC (ilość aktywnych centrów reakcji) we wzbudzonym fragmencie liścia ( $CS_o$ ) dla obiektu 4 wyniosła około 38, a dla roślin z obiektu 5 ok. 7.

Wartość wskaźnika RC w stanie relaksacji fragmentu liścia ( $CS_m$ ) dla roślin na stanowisku 4 wyniosła około 97, a na stanowisku 5 ok. 14.



Ryc. 41. Stanowiska występowania *Ilex crenata* ‘Golden Gem’ (IcGG) w terenach zielonych „Wiślane Tarasy” w Krakowie od strony Wisły przy ogrodzeniu w miejscu wietrznym; 7\_TSK – (TSK – trawnik, sąsiedztwo krzewów), rośliny rosnące w pasach na trawniku, w sąsiedztwie krzewów, teren płaski od strony ulicy i Wisły, 8\_BR – (BR – betonowe rabaty), rośliny rosnące w betonowych rabatach, odsłonięte, teren płaski od strony ulicy i Wisły [fot. Karolina Wietnik].





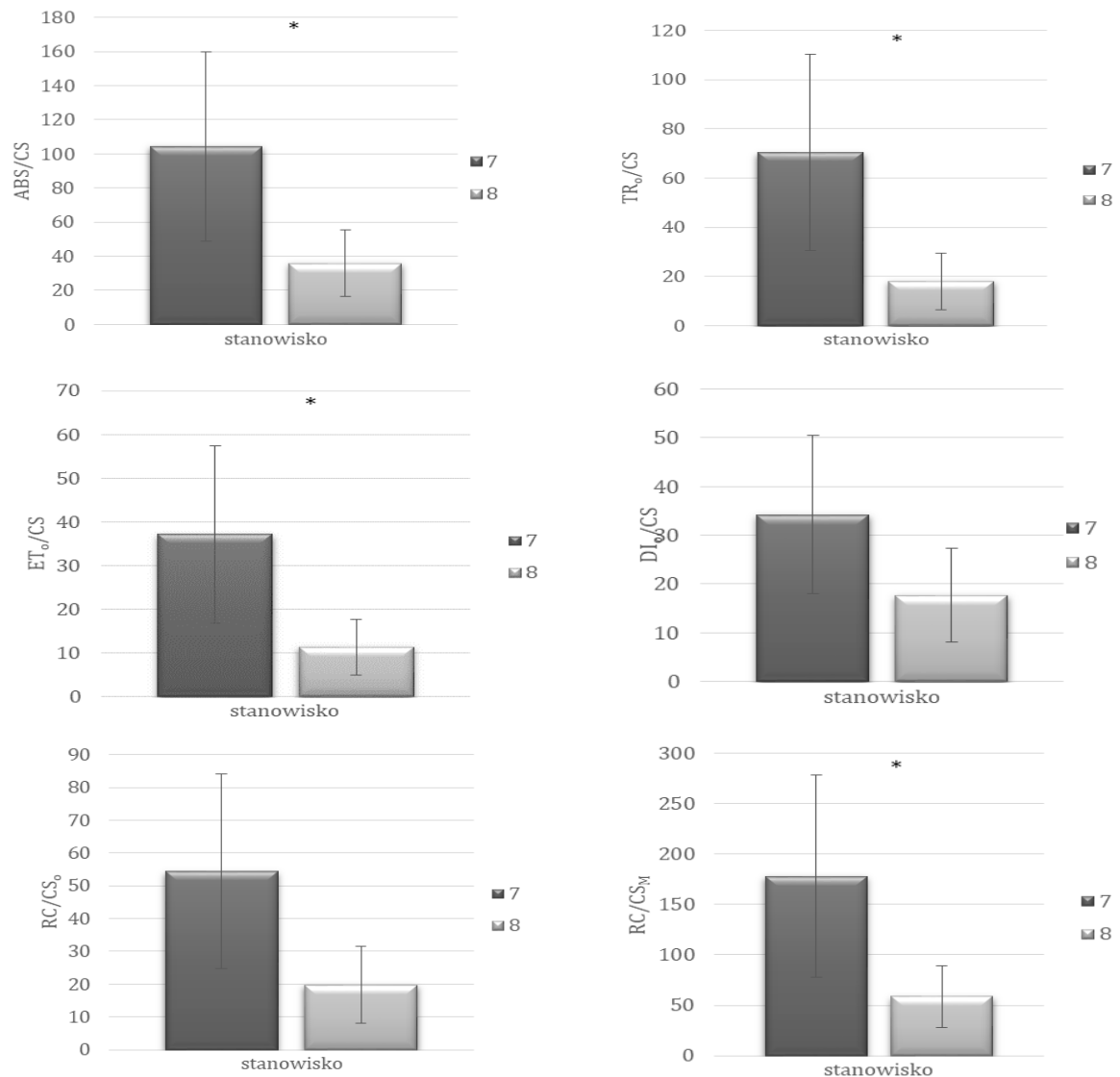
Ryc. 42. Zmiany parametrów fluorescencji chlorofilu *a* u liści *Ilex crenata* ‘Golden Gem’ (IcGG) występujących na stanowisku 7 i 8 w terenach zielonych „Wiślane Tarasy” w Krakowie; 7 – rośliny rosnące w pasach, trawnik, sąsiedztwo krzewów, teren płaski od strony ulicy, 8 – rośliny rosnące w betonowych rabatach, odsłonięte, teren płaski, przy ogrodzeniu blisko ulicy;  $F_M$  – fluorescencja maksymalna,  $F_V$  – fluorescencja zmienna,  $F_V/F_M$  – maksymalna fotochemiczna wydajność fotosystemu II, PI – wskaźnika funkcjonowania fotosystemu II,  $A_M$  – pole powierzchni nad krzywą indukcji fluorescencji chlorofilu *a*; Oznaczenia: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  określają różnice statystyczne wg Testu t-Studenta.

Wartość parametru  $F_M$  u krzewów IcGG rosnących na stanowisku 7, na trawniku w sąsiedztwie innych krzewów, wynosiła ok. 327 (Ryc. 42).

Fluorescencja maksymalna ( $F_M$ ) była więc 4,5 razy wyższa, niż u krzewów IcGG z obiektu 8 (70), które rosły na stanowisku odsłoniętym w betonowych rabatach.

Różnica wartości fluorescencji maksymalnej i początkowej, którą wyznacza parametr  $F_V$  u krzewów IcGG ze stanowiska 7 była 3-krotnie wyższa (223) niż u krzewów IcGG rosnących na stanowisku 8, gdzie wynosiła ok. 31.

Wskaźnik fotochemicznej aktywności aparatu fotosyntetycznego ( $F_v/F_m$ ) u IcGG odnotowano na stanowisku 7: 0,64, a na 8: 0,59. Wskaźnik PI funkcjonowania fotosystemu II jest wyższy u liści roślin IcGG ze stanowiska 7 i wynosi 1,40 w stosunku do liści krzewów ze stanowiska 8, który wyniósł 0,32. Odpowiednio dla roślin z obiektu 7,  $A_M$  wynosi ~8778, a z 8: ~133.



Ryc. 43. Oszacowanie przepływu energii w przeliczeniu na wzbudzoną powierzchnię próbki (CS) fotosyntetycznie czynnej u liści *Ilex crenata* ‘Golden Gem’ (IcGG) występujących na stanowisku 7 i 8 w terenach zielonych „Wiślane Tarasy” w Krakowie. ABS/CS – fenomenologiczny strumień energii absorbowanej przez anteny PSII, gdzie CS to wzbudzony, czynny przekrój liścia; TR<sub>0</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii pułapkowej w centrach reakcji PSII; ET<sub>0</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii używanej do napędzania transportu elektronów; DI<sub>0</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii rozpraszanej w centrach reakcji PSII; RC/CS<sub>0</sub> – ilość aktywnych centrów reakcji we wzbudzonym fragmencie liścia; RC/CS<sub>M</sub> – ilość aktywnych centrów reakcji w stanie relaksacji fragmentu liścia; Oznaczenia: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  określają różnice statystyczne wg Testu t-Studenta.

Fenomenologiczny strumień energii absorbowanej przez anteny PSII na wzbudzonym fragmencie liścia wynosi dla stanowiska 7 ok. 105, a dla 8 ok. 36 (Ryc. 43).

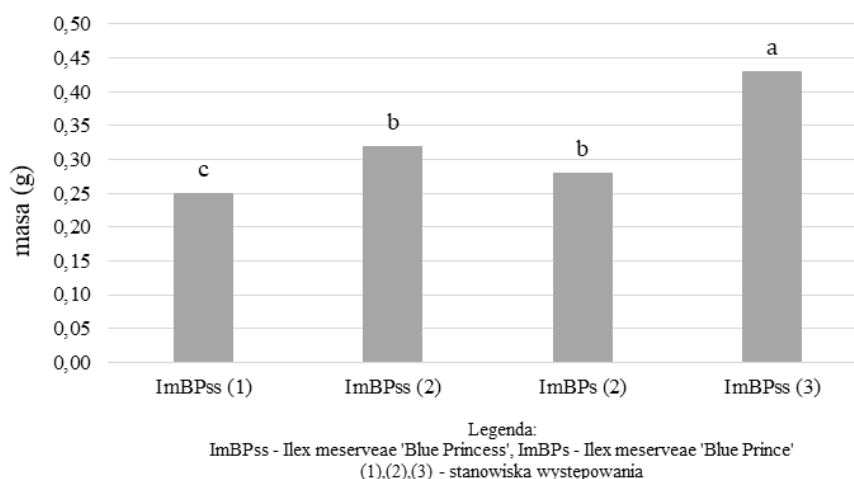
Wartość współczynnika  $TR_o/CS$  na stanowisku 7, gdzie rośliny rosną w rabatach, ułożonych równolegle względem siebie w pasach, wynosi ok. 70. Wskaźnik  $TR_o/CS$  na stanowisku 8 u tej samej grupy roślin, tylko rosnących w betonowych rabatach, jest prawie 4 razy mniejszy i wynosi ok. 18.

Strumień energii używanej do napędzania transportu elektronów u liści IcGG na stanowisku 7 wyniósł około 37 i był wyższy niż u tej samej grupy krzewów, ale ze stanowiska 8 gdzie wynosił około 11.

Wartość wskaźnika  $DI_o/CS$  dla roślin IcGG na stanowisku 7 wyniosła około 34, a na stanowisku 8, ok. 18.

Wskaźnik ilości aktywnych centrów reakcji (RC) we wzbudzonym fragmencie liścia ( $CS_o$ ) dla IcGG na stanowisku 7 wynosił około 54, a na stanowisku 8 około 20.

Wartość RC w stanie relaksacji fragmentu liści ( $CS_m$ ) dla liści ze stanowiska 7 wynosi ok. 178, a na stanowisku 8 ok. 59.



#### 4.1.3. OCENA KONDYCJI LIŚCI ZIMOZIELONYCH KRZEWÓW *ILEX MESERVEAE*

Ryc. 44. Średnia masa świeżych liści *Ilex meserveae*: 'Blue Princess' (ImBPss) i 'Blue Prince' (ImBPs) na trzech stanowiskach występowania w terenach zieleni miejskiej Krakowa: (1) – między blokami, wietrzne w przeciągu komunikacyjnym, (2) – wietrzne od strony ulicy, oświetlenie zmienne, (3) – osłonięte, słabo oświetlone, zacienione, zaciszne, między budynkiem a klatką schodową. Jednakowe litery oznaczają brak istotnego statystycznie różnicowania średnich wg analiz post-hoc przy użyciu testu Sidaka przy  $p = 0,05$ .

Masa liści ImBPss ze stanowiska trzeciego była najwyższa; różniła się istotnie od masy uzyskanej dla pozostałych krzewów *Ilex meserveae* (Ryc. 44). Wartość ta wyniosła 0,43 g. Masy liści krzewów na stanowisku drugim wyniosły kolejno 0,32 g dla ImBPss oraz 0,28 g dla ImBPs były statystycznie wyższe niż na stanowisku 1, gdzie odnotowano najmniejszą średnią.

Tab. 7. Pomiary gęstości strumienia fotosyntetycznych fotonów (PPFD) [ $\mu\text{mol}\cdot^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ] i temperatury [ $^{\circ}\text{C}$ ] na trzech stanowiskach występowania *Ilex meserveae*: ‘Blue Princess’ (ImBPss) i ‘Blue Prince’ (ImBPs) w terenach zieleni miejskiej Krakowa.

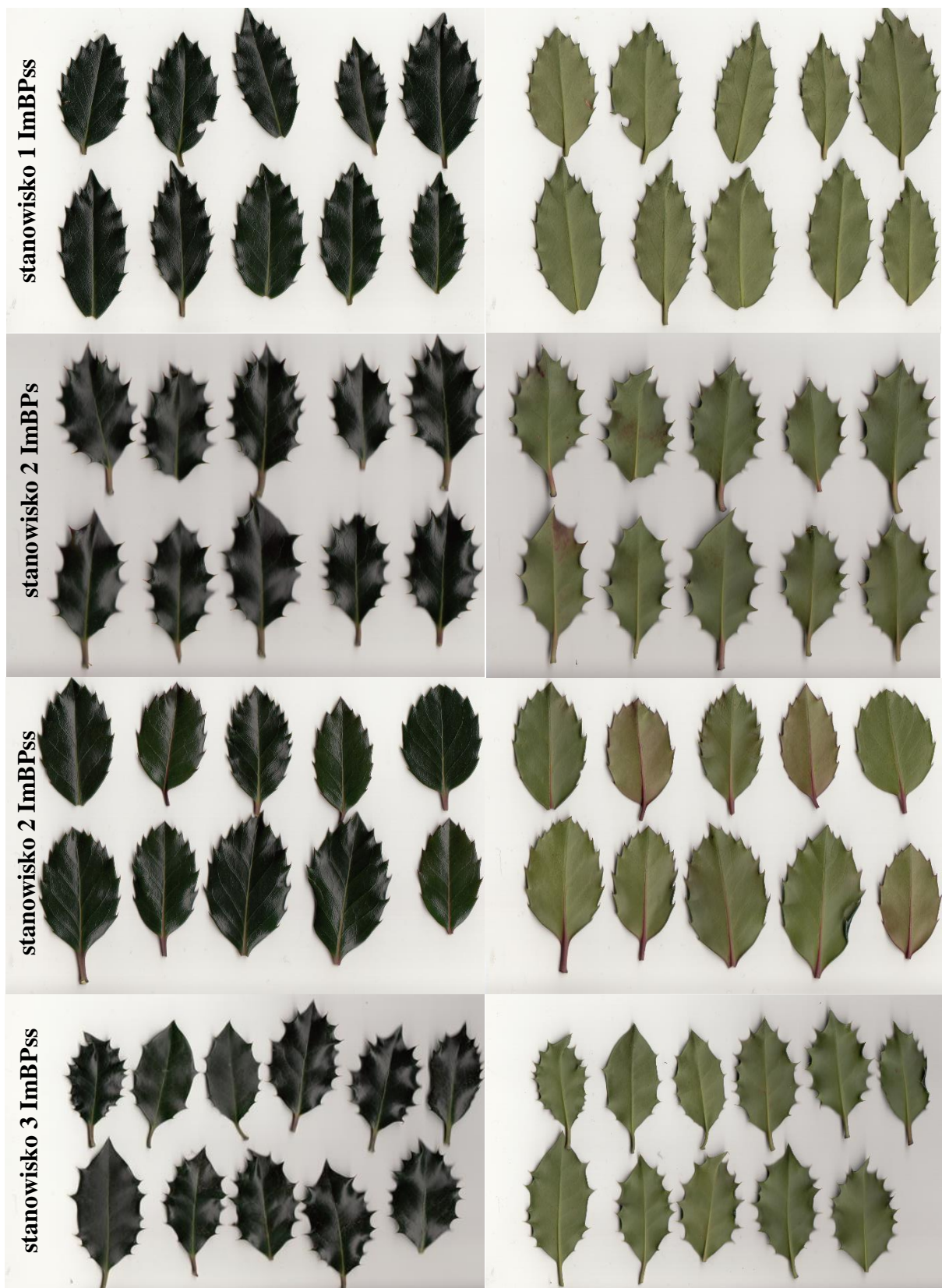
data pomiarów	godz. pomiarów	Stanowisko 1 ImBPss		Stanowisko 2 ImBPs/ImBPss		Stanowisko 3 ImBPss	
		PPFD [ $\mu\text{mol}\cdot^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	T $^{\circ}\text{C}$	PPFD [ $\mu\text{mol}\cdot^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	T $^{\circ}\text{C}$	PPFD [ $\mu\text{mol}\cdot^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	T $^{\circ}\text{C}$
09.11- 15.11.2020	08:00	9,98±8,2 0	5,71±0, 76	44,06±68,1 1	5,43±0,9 8	17,99±18 ,01	5,43±0,9 8
	12:00	46,09±13 ,04	7,14±2, 12	250,69±34 4,97	6,86±2,4 1	88,58±58 ,32	6,86±2,4 1
	15:00	30,32±11 ,61	7,43±2, 51	97,52±118, 30	7,14±2,7 9	37,43±42 ,76	7,14±2,7 9

± wartości SD – odchylenie standardowe

Najwyższą wartość PPFD bo ok. 250, odnotowano na stanowisku 2 w południe w miejscu występowania ImBPs oraz ImBPss (Tab. 7). Najwyższe wartości występowały o każdej porze dnia tj. 8:00, 12:00 oraz 15:00 na stanowisku 2. Najniższe wartości odnotowano rano na stanowisku 1 u ImBPss (ok. 10) oraz na stanowisku 3 u ImBPss (ok. 18). W godzinach popołudniowych (15:00) PPFD był także niski na stanowisku 1 i 3, kolejno wynosił ok 30 i 37. Stanowisko 1 cechował najniższy wskaźnik PPFD o każdej porze pomiarów w stosunku do pozostałych badanych stanowisk.

Temperatura o godzinie 8:00 wynosiła ok. 5-6 $^{\circ}\text{C}$ , a w godzinach popołudniowych odnotowano ok. 7 $^{\circ}\text{C}$  na wszystkich stanowiskach.





Ryc. 45. Skan adaksjalnej (górną) i abaksjalnej (dolną) strony blaszki liści *Ilex meserveae*: 'Blue Princess' (ImBPss) i 'Blue Prince' (ImBPs) na trzech stanowiskach występowania w terenach zieleni miejskiej Krakowa: Oznaczenia stanowisk (1, 2, 3): (1) – między blokami, wietrzne w ciągu komunikacyjnym, (2) – wietrzne od strony ulicy, oświetlenie zmienne, (3) – osłonięte, słabo oświetlone, zacienione, zaciszne, między budynkiem a klatką schodową.

Tab. 8. Wyniki analiz statystycznych antocyjanowych przebarwień [%] między adaksjalną (górną) i abaksjalną (dolną) stroną blaszki liści *Ilex meserveae* sp. na trzech stanowiskach występowania w terenach zieleni miejskiej Krakowa. Analiza obrazu wykonana stacjonarnym systemem do analiz powierzchni liści – WinDIAS. Oznaczenia: ‘Blue Princess’ (ImBPss) i ‘Blue Prince’ (ImBPs), Stanowiska: (1) – między blokami, wietrzne w przeciągu komunikacyjnym, (2) – wietrzne od strony ulicy, oświetlenie zmienne, (3) – osłonięte, słabo oświetlone, zacienione, zaciszne, między budynkiem a klatką schodową. Oznaczenia: \*\*\*  $p < 0,001$  określają różnice statystyczne wg Testu Browna-Forsytha.

	Stanowisko 1	Stanowisko 2	Stanowisko 2	Stanowisko 3
<i>antocyjanowe zabarwienie [%]M±SD</i>	ImBPss	ImBPs	ImBPss	ImBPss
<i>Adaksjalna strona liścia</i>	0,53±0,07 ***	9,47±0,01 ***	7,20±0,038 ***	1,69±0,02 ***
<i>Abaksjalna strona liścia</i>	0,13±0,01	35,21±0,01	16,68±2,10	4,69±0,47
<i>p</i>	F(7; 10,57) = 2334,80; p < 0,001			

*M* – średnia; *SD* – odchylenie standardowe; *F* – wynik mocnego testu równości średnich Browna-Forsytha; *p* – istotność

Najwyższe wartości antocyjanowych zabarwień odnotowano u roślin rosnących na stanowisku 2, zarówno po stronie abaksjalnej jak i adaksjalnej (Tab. 8). U ImBPs było to odpowiednio ok. 35% i 9,5%, u ImBPss ok. 17% i 7%. Najniższe wartości wystąpiły na stanowisku 1 (poniżej 1%), nieco wyższe (1,69-4,69%) na stanowisku 3. Z analiz wynika, że abaksjalna strona liścia ma wyższe wartości świadczące o obecności antocyjanów (podobnie jak na stanowisku 2 i 3) niż strona adaksjalna .

Fakt, że forma męska cechuje się bardziej intensywnym czerwonym zabarwieniem liści od żeńskiej wydawał się interesujący. W związku z tym do weryfikacji wyniku zastosowano inny rodzaj oprogramowania, nieodpłatny i niezależny od systemu komputerowego ImageJ.

Tab. 9. Wyniki analiz statystycznych antocyjanowych przebarwień [%] między adaksjalną (górną) i abaksjalną (dolną) stroną blaszki liści *Ilex meserveae* sp. na 2 stanowisku występowania w terenach zieleni miejskiej Krakowa. Analiza obrazu wykonana za pomocą programu Image J. Oznaczenia: ‘Blue Princess’ (ImBPss) i ‘Blue Prince’ (ImBPs), Stanowisko 2 – wietrzne od strony ulicy, oświetlenie zmienne, Oznaczenia: \*\*\*  $p < 0,001$  określają różnice statystyczne wg testu Shapiro-Wilka.

### Stanowisko 2

<i>antocyjanowe zabarwienie [%]M±SD</i>	ImBPs	ImBPss
<i>Adaksjalna strona liścia</i>	54, 53±1,02 ***	31,32±1,02 ***
<i>Abaksjalna strona liścia</i>	28,06±0,63	21,19±0,63
<i>p</i>	$F(1, 18) = 398,86; p < 0,001; \eta^2 = 0,96$	

*M* – średnia; *SD* – odchylenie standardowe; *F* – wynik mocnego testu równości średnich Shapiro-Wilka; *p* – istotność

Analizując wyniki przy użyciu oprogramowania ImageJ potwierdzono uprzednio uzyskane relacje dotyczące większej intensywności antocyjanowej barwy w przypadku okazów męskich ImBPs. Równocześnie stwierdzono, że adaksjalna strona liścia ma wyższe wartości przypisane antocyjanom, ok. 54% u ImBPs i 32% u ImBPss, niż strona abaksjalna. Różnice dotyczące relacji górna/dolna blaszka liściowa mogą wynikać jednak z innego wzorca kolorów przypisanego antocyjanom w obu programach (Tab. 9).

Tab. 10. Wyniki analiz statystycznych morfologii liści na stanowisku 2 pomiędzy *Ilex meserveae* sp. odmianą ‘Blue Prince’ (ImBPs) i ‘Blue Princess’ (ImBPss) w programie ImageJ pod względem parametrów liścia: powierzchnia, krągłość, długość, szerokość, liczba ząbków, AR (współczynnik kształtu),. Oznaczenia: \*\*\*  $p < 0,001$  określają różnice statystyczne wg testu Shapiro-Wilka.

	ImBPss (n = 10)		ImBPs (n = 10)		<i>t</i>	<i>p</i>	95% <i>CI</i>		<i>d</i> Cohena
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>			<i>LL</i>	<i>UL</i>	
powierzchnia liści	1,68	0,21	1,61	0,26	0,71	0,485	-0,15	0,30	0,32
obwód liści	5,10	0,40	4,90	0,38	1,16	0,262	-0,16	0,57	0,52

AR	1,61	0,07	1,51	0,13	2,26	0,042	0,00	0,21	1,01
							*		
krągłość liści	0,62	0,03	0,84	0,04	-13,96	<0,001	-0,25	-0,19	6,24
							***		
długość liści	1,77	0,21	1,69	0,18	0,84	0,411	-0,11	0,26	0,38
szerokość liści	0,91	0,10	0,96	0,13	-0,98	0,340	-0,16	0,06	0,44
liczba ząbków liści	13,70	1,77	14,60	2,01	-1,06	0,302	-2,68	0,88	0,48

*M* – średnia; *SD* – odchylenie standardowe; *t* – wynik testu *t*-Studenta; *p* – istotność statystyczna; *CI* – przedział ufności; *LL* – dolna granica; *UL* – górna granica

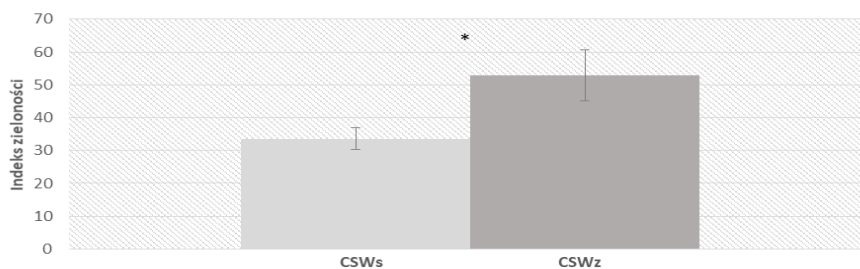
Analizując wyniki pomiarów dotyczących morfologii liści obu płci *Ilex meserveae* sp., współczynnik AR i krągłość liścia okazały się najbardziej istotne statystycznie w tym porównaniu. Wartość parametru AR okazała się wyższa u odmiany żeńskiej ImBPss i wyniosła 1,61 podczas gdy u odmiany męskiej ImBPs -1,51. Pod względem krągłości liścia odmiana ImBPss okazała się istotnie bardziej krągła, bo wartość parametru wyniosła 0,62 niż ImBPs u którego odnotowano 0,84 (Tab.10).

#### 4.1.4. OCENA KONDYCJI LIŚCI ZIMOZIELONYCH KRZEWÓW *RHODODENDRON* SP.

##### *Rhododendron* ‘Cunningham’s Snow White’

##### Indeks zieloności

Pomiędzy różanecznikami z grupy mieszańców *causasicum* odnotowano różnice statystyczne w zawartości chlorofilu (Ryc.46). Podczas czerwcowego pomiaru stwierdzono, że CSWz miał wyższą zawartość chlorofilu (ok. 53 jednostki) rosnąc na stanowisku cienistym, niż CSWs (ok. 34 jednostki), który występował na stanowisku słonecznym (Ryc. 47).



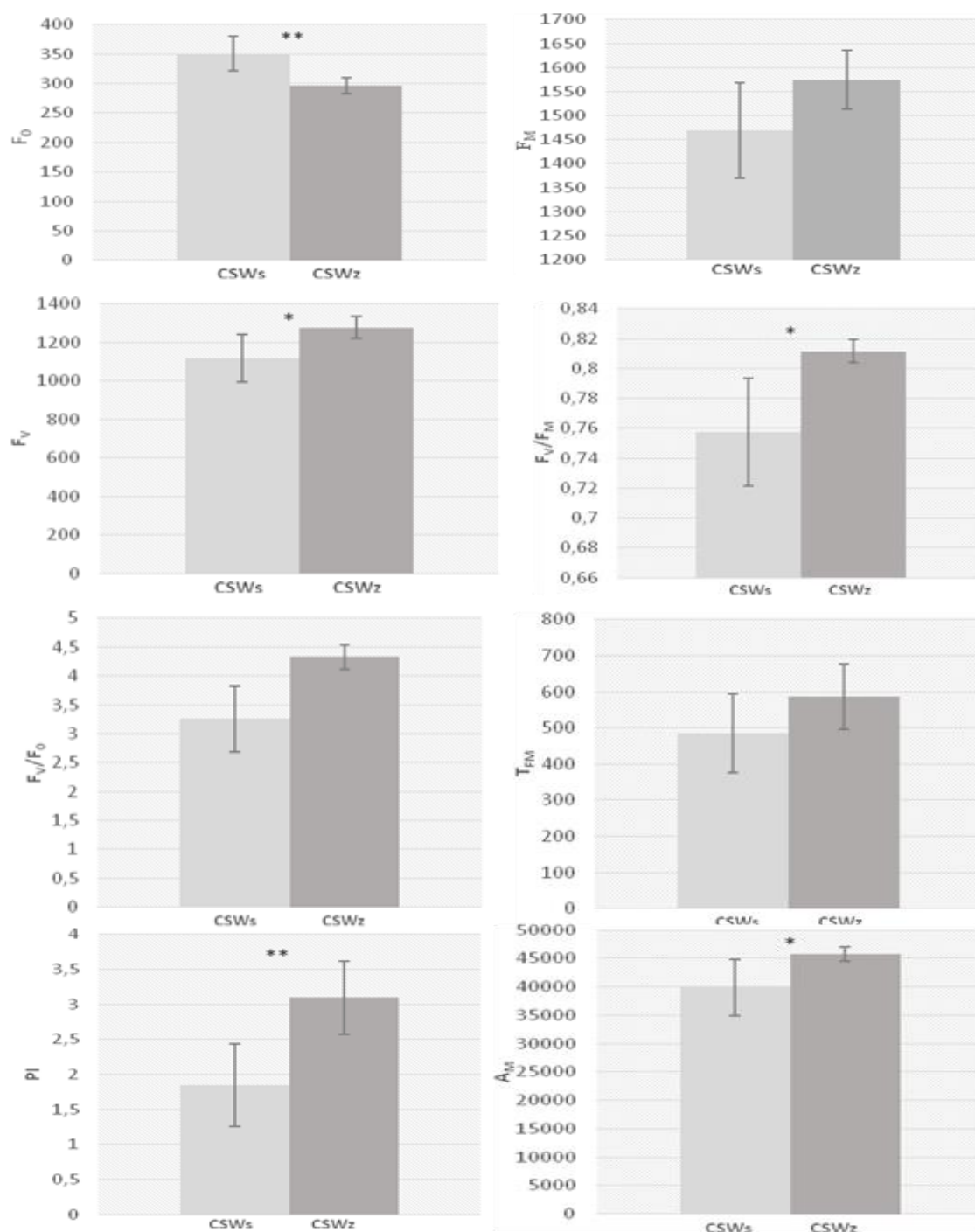
Ryc. 46. Porównanie indeksu zieloności badanych form mieszańcowych u liści *Rhododendron* ‘Cunningham’s Snow White’: stanowisko słoneczne – CSWs i stanowisko zacienione – CSWz. Podano średnie ± odchylenie standardowe dla *n*=7. Oznaczenia: \* *p* < 0,05 określają różnice statystyczne wg testu *t*-Studenta.





Ryc. 47. *Rhododendron* 'Cunningham's Snow White' [fot. A] na stanowisku zacienionym na osiedlu 'Wiślane Tarasy' w Krakowie – rok 08.2014, na stanowisku słonecznym oraz w miejscu przeciągów [fot. B i C] – rok 05.2019 [fot. Karolina Wietnik].

## Parametry fluorescencji chlorofilu *a* *Rhododendron* ‘Cunningham’s Snow White’



Ryc. 48. Zmiany parametrów fluorescencji chlorofilu *a* u liści *Rhododendron* ‘Cunningham’s Snow White’ (CSWs) na stanowisku słonecznym oraz u *Rhododendron* ‘Cunningham’s Snow White’ (CSWz) na stanowisku zacienionym.  $F_0$  – fluorescencja początkowa,  $F_M$  – fluorescencja maksymalna,  $F_v$  – fluorescencja zmienna,  $F_v/F_M$  – maksymalna fotochemiczna wydajność fotosystemu II,  $F_v/F_0$  – maksymalna efektywność rozszczepienia wody,  $T_{FM}$  – czas uzyskania fluorescencji maksymalnej  $F_M$ ,  $PI$  – wskaźnik funkcjonowania fotosystemu II,  $A_M^{FM}$  – pole powierzchni nad krzywą indukcji fluorescencji chlorofilu *a*. Podano średnie  $\pm$  odchylenie standardowe dla  $n=7$ . Oznaczenia: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$  określają różnice statystyczne wg testu t-Studenta.

Wartość fluorescencji zerowej ( $F_0$ ) była wyższa u CSWs na stanowisku słonecznym, (ok. 351) w stosunku do CSWz na stanowisku zacienionym (ok. 296) (Ryc.48).

Poziom fluorescencji maksymalnej ( $F_M$ ) u badanych różaneczników z grupy *Rhododendron caasicum* wykazywał zbliżone wartości parametru  $F_M$  w terminie prowadzonych badań, zarówno na stanowisku słonecznym jak i zacienionym.

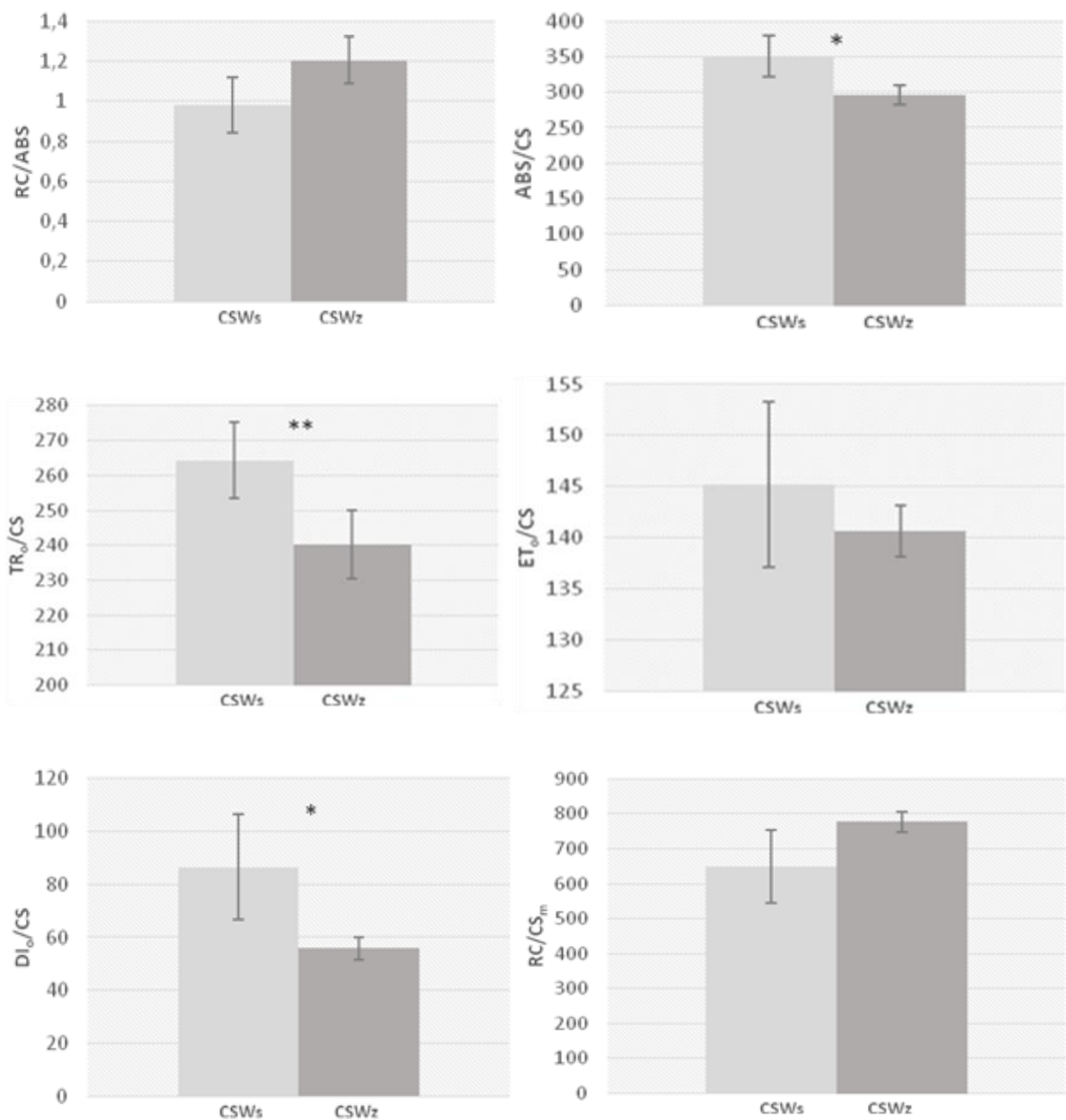
Analiza wartości fluorescencji maksymalnej i początkowej, wyznaczonych po adaptacji ciemniowej liści CSWs i CSWz, wykazała, że różnica wartości parametru  $F_V$  między badanymi *Rhododendron* sp. jest istotna statystycznie. Wartość  $F_V$  (Ryc. 48) u CSWs wyniosła średnio ok. 165, natomiast u CSWz była dwa razy mniejsza, bo ok. 74.

Stwierdzono istotny spadek maksymalnej wydajności PSII ( $F_V/F_M$ ) u CSWs w stosunku do CSWz (odpowiednio 0,76 i 0,81), (Ryc. 48).

$F_V/F_0$  był istotnie wyższy u CSWz i wynosił 4,33 w stosunku do CSWs, u których maksymalna efektywność rozszczepienia wody ( $F_V/F_0$ ) wyniosła 3,26.

Stwierdzono brak statystycznego zróżnicowania czasu osiągnięcia poziomu maksymalnej fluorescencji ( $T_{FM}$ ), podczas czerwcowego pomiaru. Wartość wskaźnika Area ( $A_M$ ) była natomiast wyższa u CSWz o niecałe 10% niż u CSWs. Badane liście CSWz wykazywały wyższe wartości wskaźnika funkcjonowania fotosystemu II (PI; 3,10) niż CSWs u którego poziom tego wskaźnika był prawie dwa razy mniejszy.





Ryc. 49. Oszacowanie przepływu energii w przeliczeniu na wzbudzoną powierzchnię próbki (CS) fotosyntetycznie czynnej u liści *Rhododendron* 'Cunningham's Snow White' (CSWs) na stanowisku słonecznym oraz zacienionym *Rhododendron* 'Cunningham's Snow White' (CSWz). RC/ABS – ilość aktywnych centrów reakcji w strumieniu fotonów zaabsorbowanych przez cząsteczki barwników antenowych, ABS/CS – fenomenologiczny strumień energii absorbowanej przez anteny PSII, gdzie CS to wzbudzony, czynny przekrój liścia; TR<sub>o</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii pułpowanej w centrach reakcji PSII; ET<sub>o</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii używanej do napędzania transportu elektronów; DI<sub>o</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii rozpraszanej w centrach reakcji PSII; RC/CS<sub>o</sub> – ilość aktywnych centrów reakcji we wzbudzonym fragmencie liścia; RC/CS<sub>m</sub> – ilość aktywnych centrów reakcji w stanie relaksacji fragmentu liścia. Podano średnie ± odchylenie standardowe dla n= 7. Oznaczenia: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$  określają różnice statystyczne wg testu t-Studenta.



Wartość współczynnika RC/ABS liści CSWs była niższa (0,98) od CSWz. (1,21). ABS/CS z kolei był wyższy u liści CSRs (Ryc. 49).

Strumień energii pułapkowanej w centrach reakcji PSII  $TR_o/CS$  wykazywał wyższe wartości u CSWs (ok 264.) niż CSWz (ok. 240) (Ryc. 49).

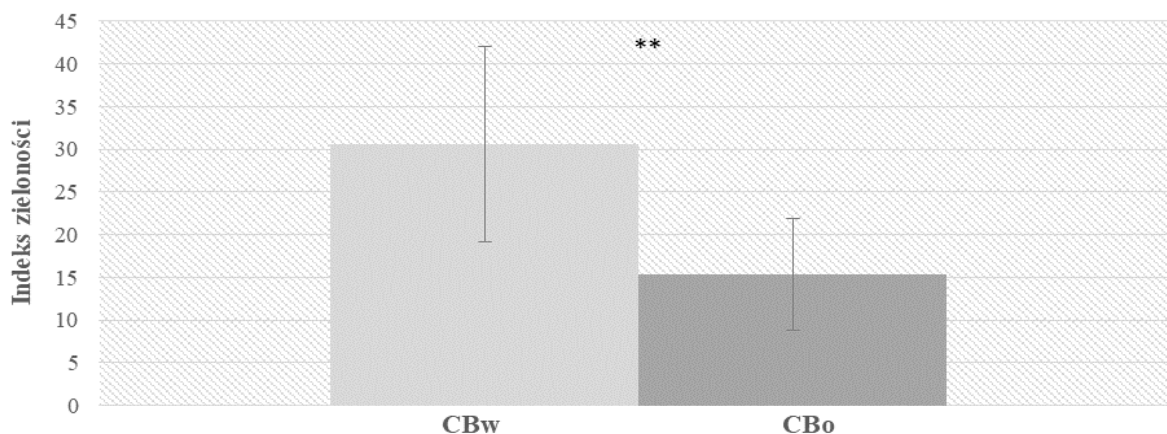
Fenomenologiczny strumień energii używanej do napędzania transportu elektronów ( $ET_o/CS$ ) nie różnił się istotnie na obu stanowiskach.

W przypadku wskaźnika  $DI_o/CS$  odnotowano wyższą wartość u CSWs (ok. 86) w stosunku do CSWz, który wyniósł ok. 56. Wartości współczynnika, który określa ilość aktywnych centrów reakcji we wzbudzonym fragmencie liścia ( $RC/CS_o$ ) nie różniły się statystycznie, biorąc pod uwagę dwa badane stanowiska. Jednak pomiary liści w stanie relaksacji ( $RC/CS_m$ ) wykazały istotność zróżnicowania na korzyść CSWz.

### ***Rhododendron* ‘Catawbiense Boursault’**

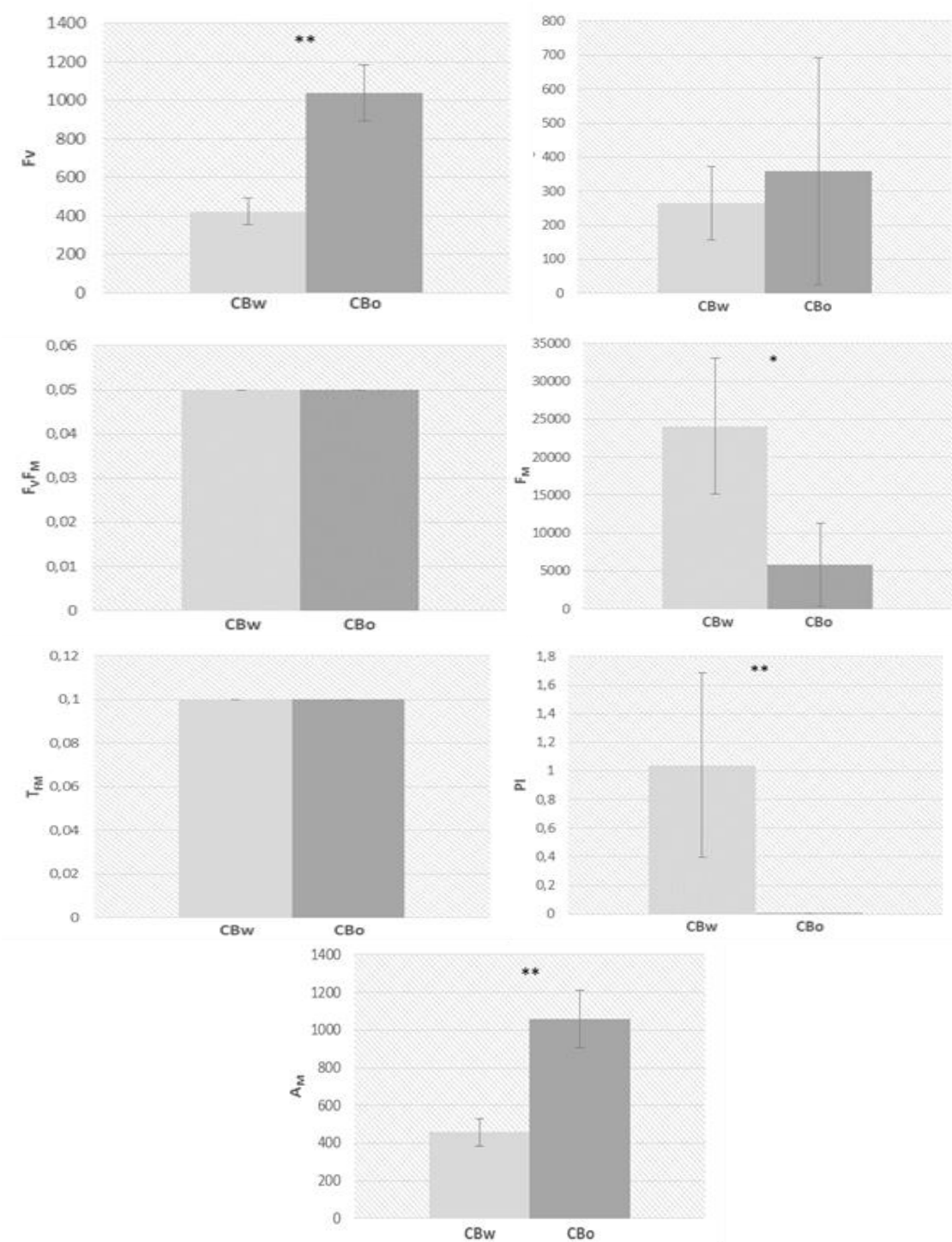
#### **Indeks zieloności**

Zaobserwowano istotne zróżnicowanie wartości indeksu zieloności pomiędzy CBw ze stanowiska wietrznego, a stanowiskiem osłoniętym (CBo) (Ryc. 50). Wskaźnik ten u CBw przyjmował wartości dwa razy wyższe (ok.30) od CBo, które wynosiły około 15.



Ryc. 50. Porównanie indeksu zieloności badanych form mieszańcowych u liści *Rhododendron* ‘Catawbiense Boursault’: stanowisko wietrzne – CBw i stanowisko osłonięte – CBo. Podano średnie  $\pm$  odchylenie standardowe dla  $n=7$ . Oznaczenia: \*\*  $p < 0,01$  określają różnice statystyczne wg testu t-Studenta.

## Parametry fluorescencji chlorofilu *a* *Rhododendron* ‘Catawbiense Boursault’



Ryc. 51. Zmiany parametrów fluorescencji chlorofilu *a* u liści *Rhododendron* ‘Catawbiense Boursault’ (CB) na stanowisku wietrznym *Rhododendron* ‘Catawbiense Boursault’ (CBw) oraz na stanowisku osłoniętym *Rhododendron* ‘Catawbiense Boursault’ (CBo).  $F_0$  – fluorescencja początkowa,  $F_M$  – fluorescencja maksymalna,  $F_V$  – fluorescencja zmienna,  $F_V/F_M$  – maksymalna fotochemiczna wydajność fotosystemu II,  $T_{FM}$  – czas uzyskania fluorescencji maksymalnej  $F_M$ ,  $PI$  – wskaźnika funkcjonowania fotosystemu II,  $A_M$  – pole powierzchni nad krzywą indukcji fluorescencji chlorofilu *a*. Podano średnie  $\pm$  odchylenie standardowe dla  $n=7$ . Oznaczenia: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$  określają różnice statystyczne wg testu t-Studenta.

Wartości badanych parametrów  $F_v/F_M$  i  $F_0$  u CB nie różniły się statystycznie biorąc pod uwagę stanowiska ich występowania (Ryc. 51).

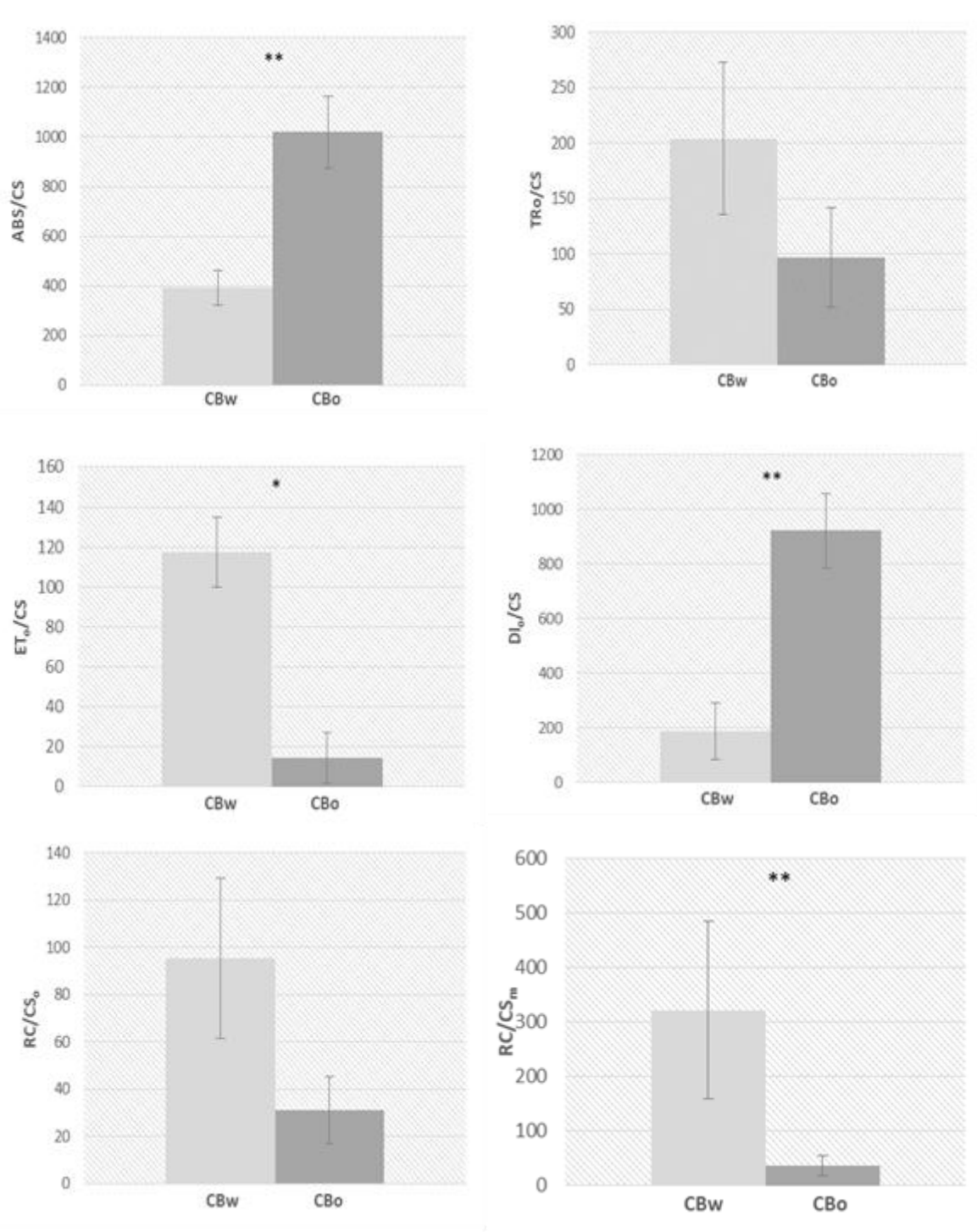
Podczas czerwcowego pomiaru (19.06.2018) wartość  $F_v$  była wyższa u CBo (ok 424) w stosunku do CBw u których parametr ten wynosił ok. 93.

Wśród *Rhododendron* 'Catawbiense Boursault' (Ryc. 54) wyższe wartości  $F_M$  osiągnął CBw niż CBo.

Stwierdzono brak statystycznego zróżnicowania czasu osiągnięcia poziomu maksymalnej fluorescencji ( $T_{FM}$ ) w dniu wykonywanego pomiaru (19.06.2018).

Badane CB na stanowisku wietrznym (Ryc. 53) wykazywały wyższe wartości wskaźnika funkcjonowania fotosystemu II (PI). Odnotowano wyższe wartości CBw, bo 1,04 w stosunku do CB na stanowisku osłoniętym, którego PI wyniósł 0,002.

Wartość wskaźnika  $A_M$  odnotowano jako niższą u CBw (ok. 457), natomiast u CBo wyniósł dwa razy więcej, bo ok. 1059.



Ryc. 52. Oszacowanie przepływu energii w przeliczeniu na wzbudzoną powierzchnię próbki (CS) fotosyntetycznie czynnej u liści *Rhododendron* 'Catawbiense Boursault' (CBw) na stanowisku słonecznym oraz zaciemnionym *Rhododendron* 'Catawbiense Boursault' (CBo). ABS/CS – fenomenologiczny strumień energii absorbowanej przez anteny PSII, gdzie CS to wzbudzony, czynny przekrój liścia; TR<sub>o</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii pułapkowej w centrach reakcji PSII; ET<sub>m</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii używanej do napędzania transportu elektronów; DI<sub>o</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii rozpraszanej w centrach reakcji PSII; RC/CS<sub>o</sub> – ilość aktywnych centrów reakcji we wzbudzonym fragmencie liścia; RC/CS<sub>m</sub> – ilość aktywnych centrów reakcji w stanie relaksacji fragmentu liścia. Podano średnie ± odchylenie standardowe dla n= 7. Oznaczenia: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$  określają różnice statystyczne wg testu t-Studenta.

Wartość wskaźnika fenomenologicznego strumienia energii absorbowanej przez anteny PSII (ABS), gdzie CS to wzbudzony, czynny przekrój liścia, różnił się statystycznie między badanymi CB w zależności od warunków występowania. U CBo odnotowano wyższy parametr ABS/CS (ok. 1020), niż u CBw (ok. 391) (Ryc. 52).

Wartość fenomenologicznego strumienia energii pułapkowanej w centrach reakcji PSII ( $TR_o/CS$ ) u CBw była istotnie wyższa (ok. 204) niż u CBo (ok. 97).

Najwyższy parametr  $ET_o/CS$  odnotowano u CBw (ok. 117), a u CBo ok. 14.

U CB ze stanowiska osłoniętego odnotowano, że wskaźnik  $DIo/CS$  był istotnie wyższy (ok. 923) niż u CB ze stanowiska wietrznego, którego parametr ten wynosił ok. 183.

Ilość aktywnych centrów reakcji (RC) we wzbudzonym fragmencie liścia ( $CS_o$ ) różniła się statystycznie u badanych CB. Wskaźnik ten był trzy razy wyższy u CBw (ok. 95) niż u CBo (ok. 31).

Analizując parametr  $RC/CS_m$ , stwierdzono, że u CBw przyjmuje wyższe wartości bo ok. 321 w stosunku do CBo (ok.36). Wartość tego parametru był prawie 9 razy większy u CBw niż u CBo.



Ryc. 53. *Rhododendron* 'Catawbiense Boursault' na stanowisku wietrznym/półcienistym (CBw) na osiedlu 'Wiślane Tarasy' w Krakowie – porównanie 10.2012 (zdjęcie po lewej) i 06.2020 (zdjęcie po prawej) [fot. Karolina Wietnik].



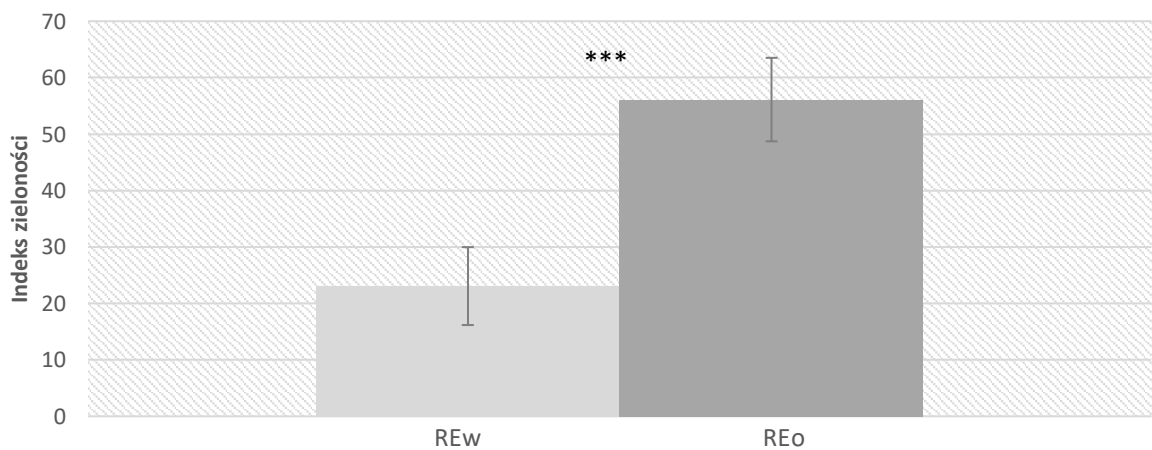


Ryc. 54. *Rhododendron* ‘Catawbiense Boursault’ na stanowisku osłoniętym/słonecznym (CBo) na osiedlu ‘Wiślane Tarasy’ w Krakowie – porównanie 10.2012 (zdjęcie po lewej) i 06.2020 (zdjęcie po prawej) [fot. Karolina Wietnik].

### ***Rhododendron* ‘Roseum Elegans’**

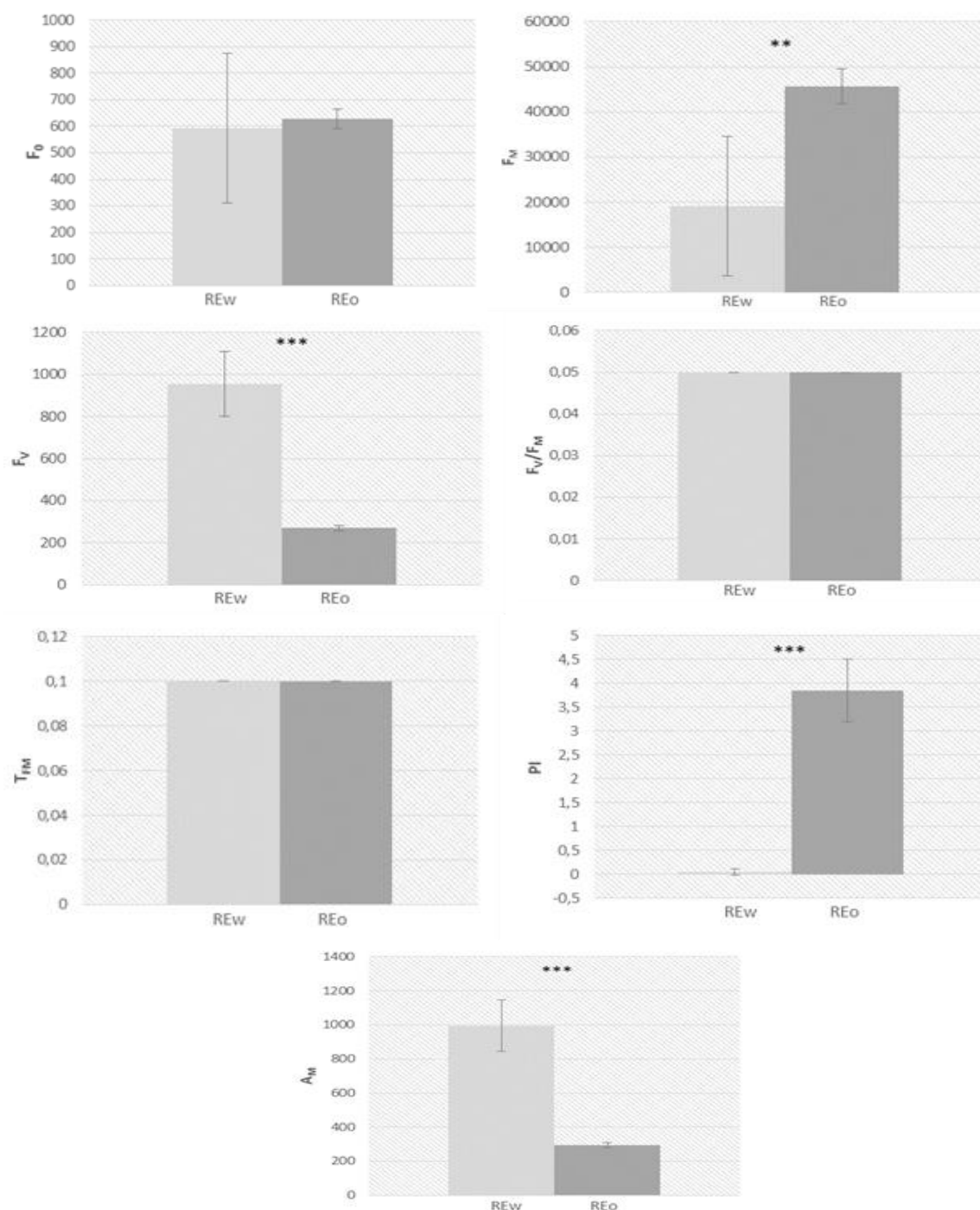
#### **Indeks zieloności**

Różnica wartości indeksu zieloności u badanych różaneczników odmiany ‘Roseum Elegans’ okazała się być istotna statystycznie. Parametr ten u RE ze stanowiska wietrznego był dwa razy niższy (ok. 23) w stosunku do RE ze stanowiska osłoniętego (ok. 56). Warunki świetlne były jednolite dla obu nasadzeń (Ryc. 55).



Ryc. 55. Porównanie indeksu zieloności badanych form mieszańcowych u liści *Rhododendron* ‘Roseum Elegans’: stanowisko wietrzne – REw i stanowisko osłonięte – REo. Podano średnie ± odchylenie standardowe n=7. Oznaczenia: \*\*\* p < 0,001 określają różnice statystyczne wg testu t-Studenta.

### Parametry fluorescencji chlorofilu *a* *Rhododendron* ‘Roseum Elegans’



Ryc. 56. Zmiany parametrów fluorescencji chlorofilu *a* u liści *Rhododendron* ‘Roseum Elegans’ (RE) na stanowisku wietrznym *Rhododendron* ‘Roseum Elegans’ (REw) oraz na stanowisku osłoniętym *Rhododendron* ‘Roseum Elegans’ (REo).  $F_0$  – fluorescencja początkowa,  $F_M$  – fluorescencja maksymalna,  $F_v$  – fluorescencja zmienna,  $F_v/F_M$  – maksymalna fotochemiczna wydajność fotosystemu II,  $T_{FM}$  – czas uzyskania fluorescencji maksymalnej  $F_M$ , PI – wskaźnika funkcjonowania fotosystemu II,  $A_M$  – pole powierzchni nad krzywą indukcji fluorescencji chlorofilu *a*. Podano średnie  $\pm$  odchylenie standardowe dla  $n=7$ . Oznaczenia: \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  określają różnice statystyczne wg testu t-Studenta.

Maksymalna wydajność fotochemiczna fotosystemu II ( $F_v/F_M$ ) oraz fluorescencja początkowa ( $F_0$ ) okazały się nieistotnymi statystycznie podczas czerwcowego pomiaru *Rhododendron* 'Roseum Elegans' (Ryc. 56).

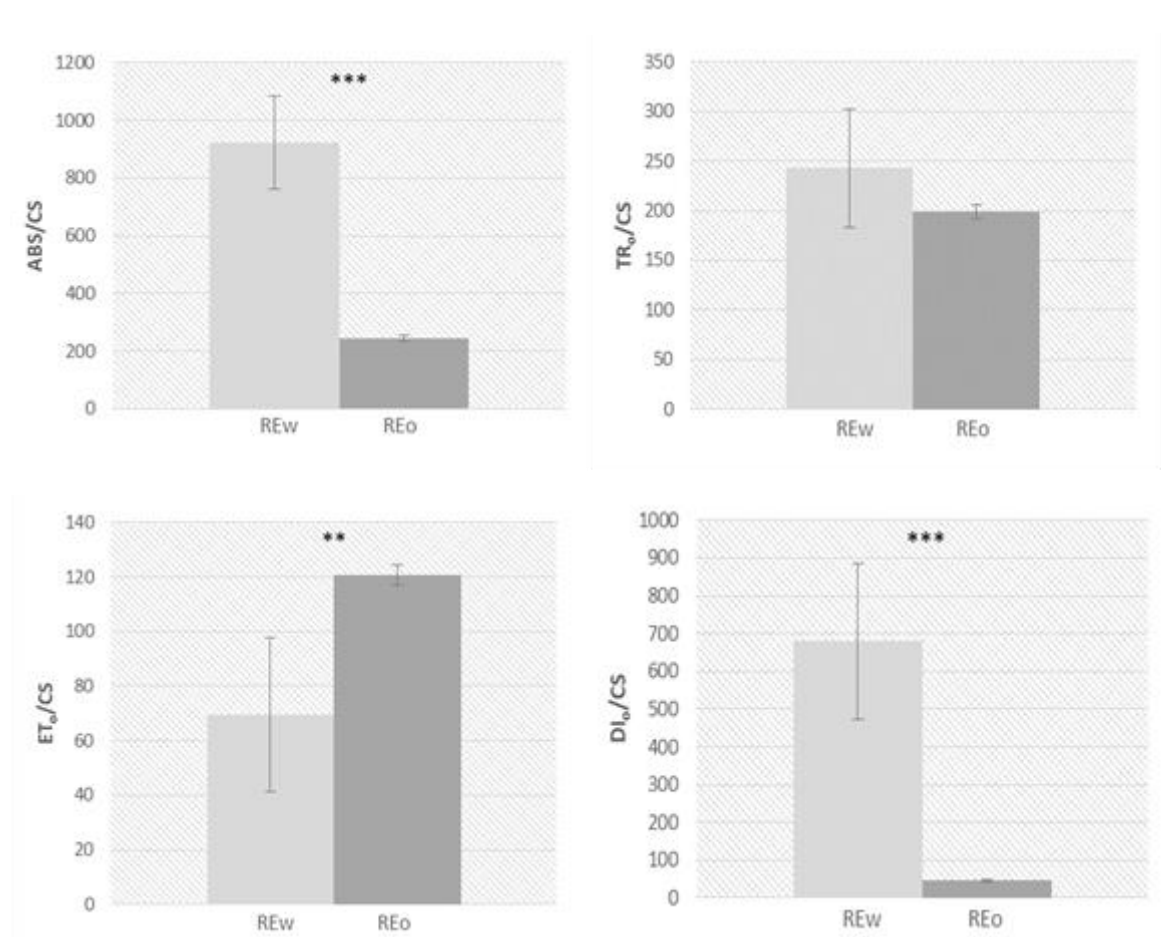
U REw wykazano wyższe wartości parametru  $F_v$  (ok. 956) niż u REo (ok. 270).

Fluorescencja maksymalna ( $F_M$ ) była wyższa u REo (ok. 45676) niż u REw (ok. 19173).

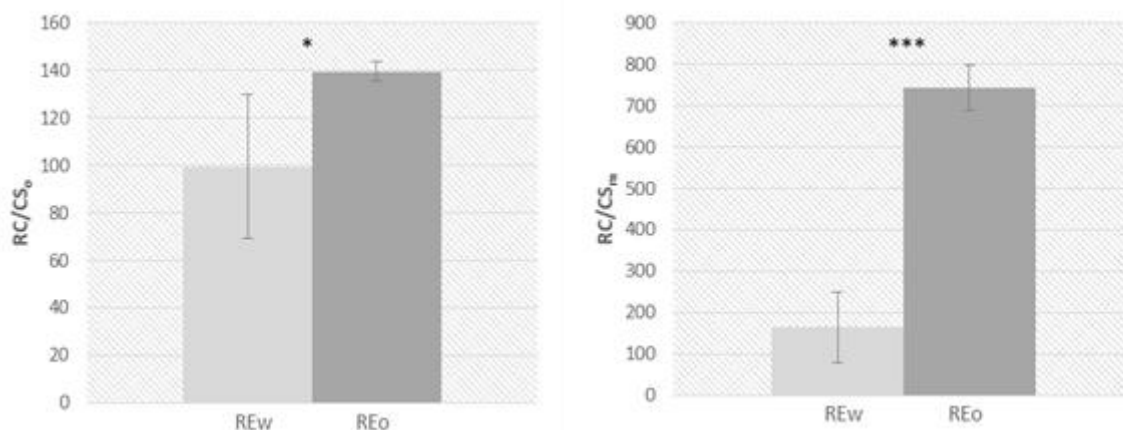
U badanych RE w różnych miejscach występowania nie stwierdzono statystycznego różnicowania czasu osiągnięcia poziomu maksymalnej fluorescencji ( $T_{FM}$ ).

Badane RE na stanowisku osłoniętym wykazywały zdecydowanie wysokie wartości wskaźnika funkcjonowania fotosystemu II (PI), który wyniósł 3,85 w odniesieniu do RE, który występował w warunkach wietrznych, gdzie PI wyniósł 0,05.

Pole powierzchni nad krzywą indukcji fluorescencji chlorofilu *a* jako wskaźnik  $A_M$  był istotnie statystycznie wyższy u REw (ok. 995) w stosunku do prawie trzy razy mniejszego  $A_M$  ok. 294 u REo.







Ryc. 57. Oszacowanie przepływu energii w przeliczeniu na wzbudzoną powierzchnię próbki (CS) fotosyntetycznie czynnej u liści *Rhododendron* 'Roseum Elegans' (REw) na stanowisku wietrznym oraz osłoniętym *Rhododendron* 'Roseum Elegans' (REo). ABS/CS – fenomenologiczny strumień energii absorbowanej przez anteny PSII, gdzie CS to wzbudzony, czynny przekrój liścia; TR<sub>o</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii pułpowanej w centrach reakcji PSII; ET<sub>o</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii używanej do napędzania transportu elektronów; DI<sub>o</sub>/CS – fenomenologiczny strumień energii rozpraszanej w centrach reakcji PSII; RC/CS<sub>o</sub> – ilość aktywnych centrów reakcji we wzbudzonym fragmencie liścia; RC/CS<sub>m</sub> – ilość aktywnych centrów reakcji w stanie relaksacji fragmentu liścia. Podano średnie ± odchylenie standardowe dla n= 7. Oznaczenia: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  określają różnice statystyczne wg testu t-Studenta.

Wartość wskaźnika fenomenologicznego strumienia energii absorbowanej przez anteny PSII (ABS), gdzie CS to wzbudzony, czynny przekrój liścia, różnił się statystycznie między badanymi REw, a REo. Wskaźnik ABS/CS u REw był prawie trzy razy wyższy (ok. 922) niż u REo (ok. 245) (Ryc. 57).

Parametr TR<sub>o</sub>/CS nie różnił się istotnie między REw, a REo. Średnio dla obu wynosił ok. 220.

Stwierdzono wysoki fenomenologiczny strumień energii używanej do napędzania transportu elektronów (ET<sub>o</sub>/CS) u REo (ok. 120) w stosunku do REw (ok. 70).

Wysoką wartość DI<sub>o</sub>/CS odnotowano u REw (ok. 679) niż u tej samej grupy różneczników rosnących w miejscu osłoniętym (REo), który wynosił ok. 46.

Ilość aktywnych centrów reakcji (RC) we wzbudzonym fragmencie liścia (CS<sub>o</sub>) była statystycznie wyższa u REo (ok. 140) niż u REw (ok. 99), podobnie jak ilość aktywnych centrów reakcji w stanie relaksacji fragmentu liścia (RC/CS<sub>m</sub>); parametr ten okazał się wyższy dla REo (ok. 743) niż u REo (ok. 164).

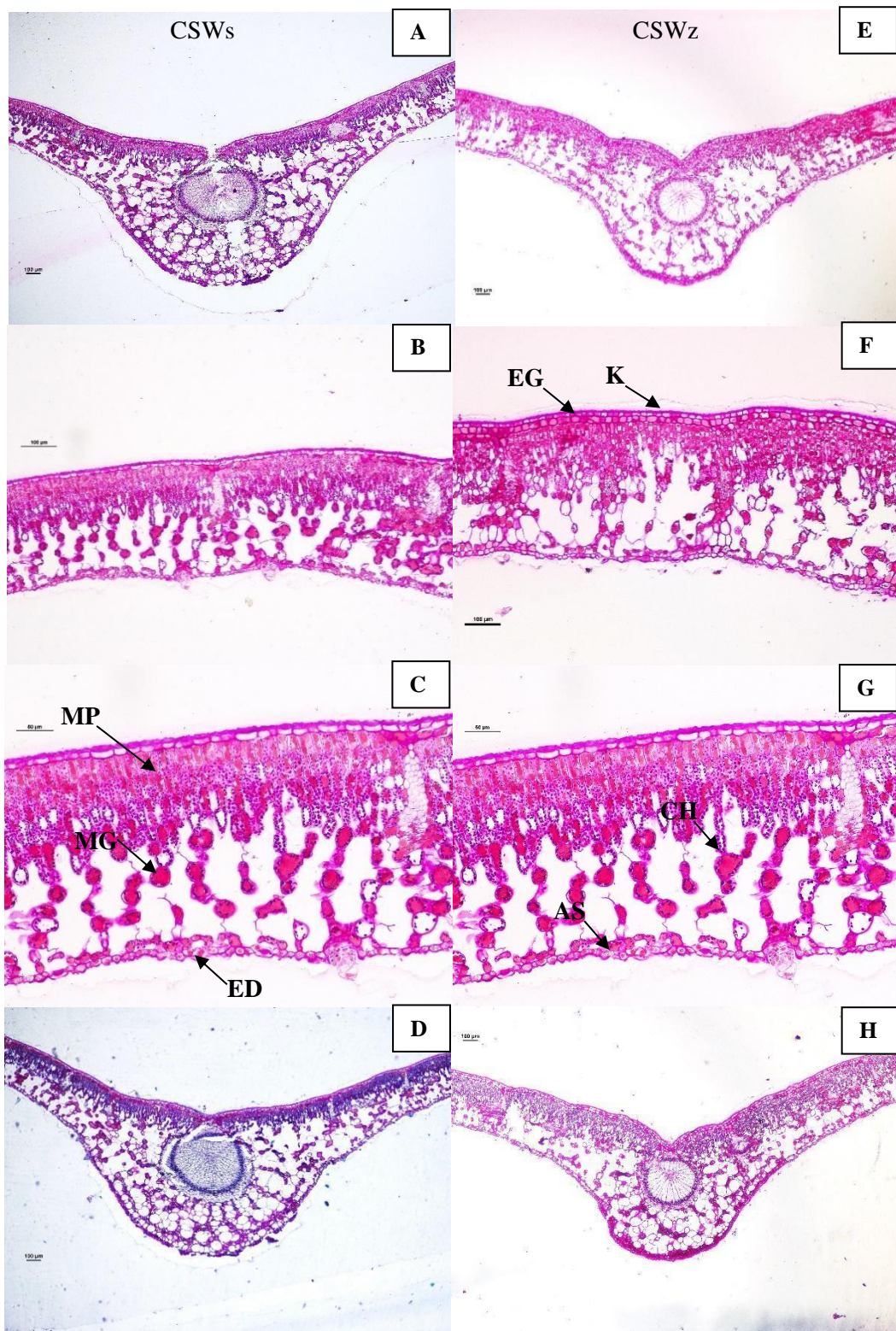
Analizując wygląd liści *Rhododendron* 'Roseum Elegans' (Ryc. 58) można także zaobserwować żółknięcie liści i plamy na liściach. Mogą być to objawy braku składników

pokarmowych w glebie w skutek niewłaściwego pH gleby. Jednocześnie występujące nekrozy, które tworzą się w wyniku spowodowanych przez patogen zaburzeń procesów fizjologicznych rośliny. Powodem tych nekroz w tym przypadku jest występowanie na grupie różaneczników RE skoczka różanecznikowego (*Graphocephala fennahi* – pisogłówka różanecznikowa). Ten skaczący, zielono-czerwony owad nie powoduje widocznych, na pierwszy rzut oka, uszkodzeń. Żeruje jednak na spodzie liści w czerwcu, powodując ich żółknięcie i opadanie, a także jako dorosły osobnik jest wektorem chorób wirusowych, przenosząc je z krzewu na krzew. Pierwsze larwy pojawiają się w maju, wysysają soki roślinne, bytując pod blaszką liścia i przechodzą na pąki kwiatowe. Obecność tego intruza wiąże się z ryzykiem wystąpienia groźnej choroby dla różaneczników, jaką jest choroba zamierania pąków kwiatowych wywołana przez grzyb *Seifertia azaleae*, którego zarodniki przenosi ten osobnik. Choroba ta jest szczególnie niebezpieczna dla roślin, podobnie jak żery na liściach, ponieważ negatywnie wpływa na wzrost i ogólną witalność krzewów.



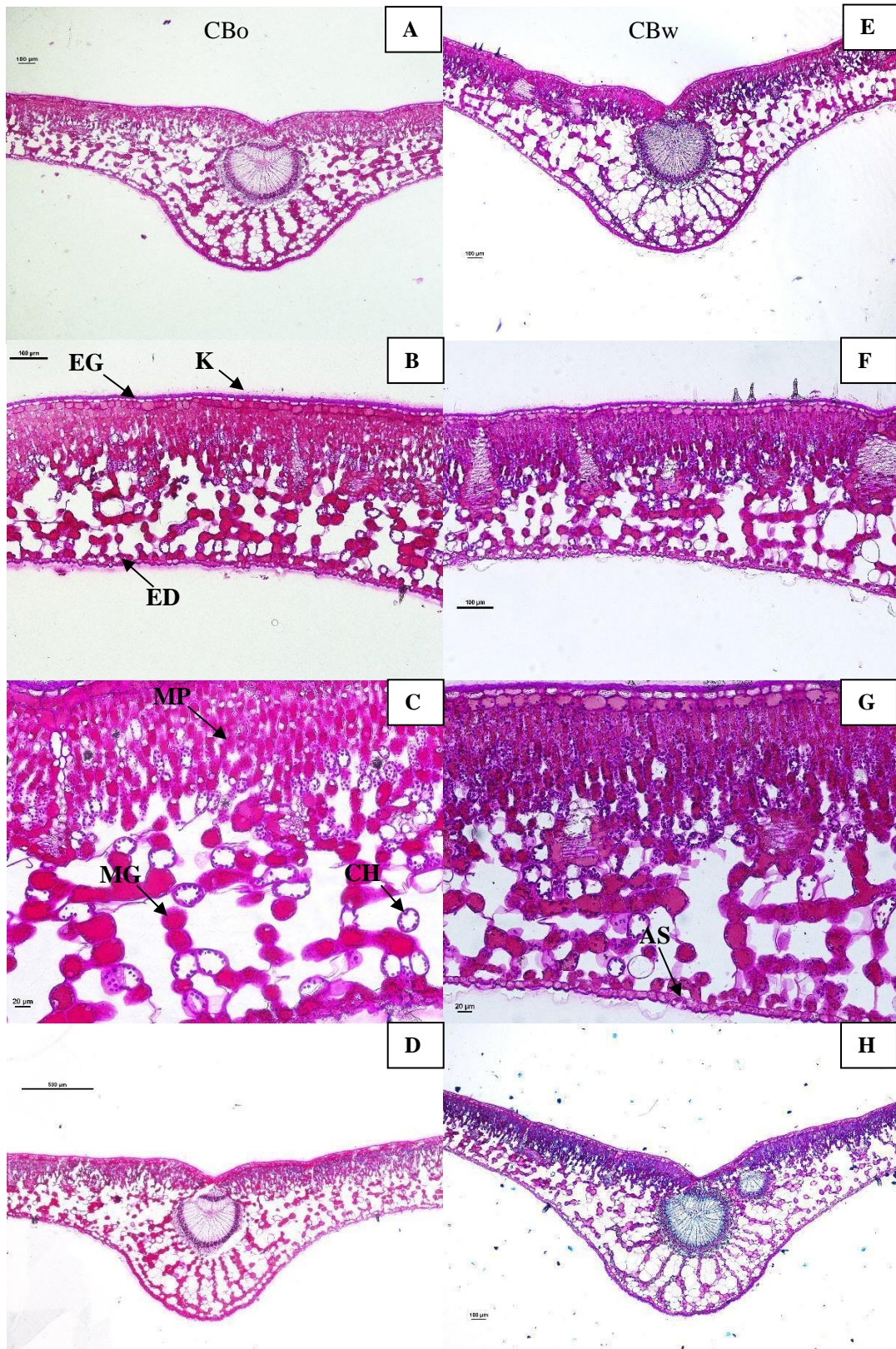
Ryc. 58. Skoczek różanecznikowy (*Graphocephala fennahi* – pisogłówka różanecznikowa) na liściu *Rhododendron* sp. na ‘Wiślanych Tarasach’ w Krakowie – rok 2018 [fot. Renata Bączek-Kwinta].

4.1.5. OCENA ZDJĘĆ MIKROSKOPOWYCH LIŚCI *RHODODENDRON SP.*



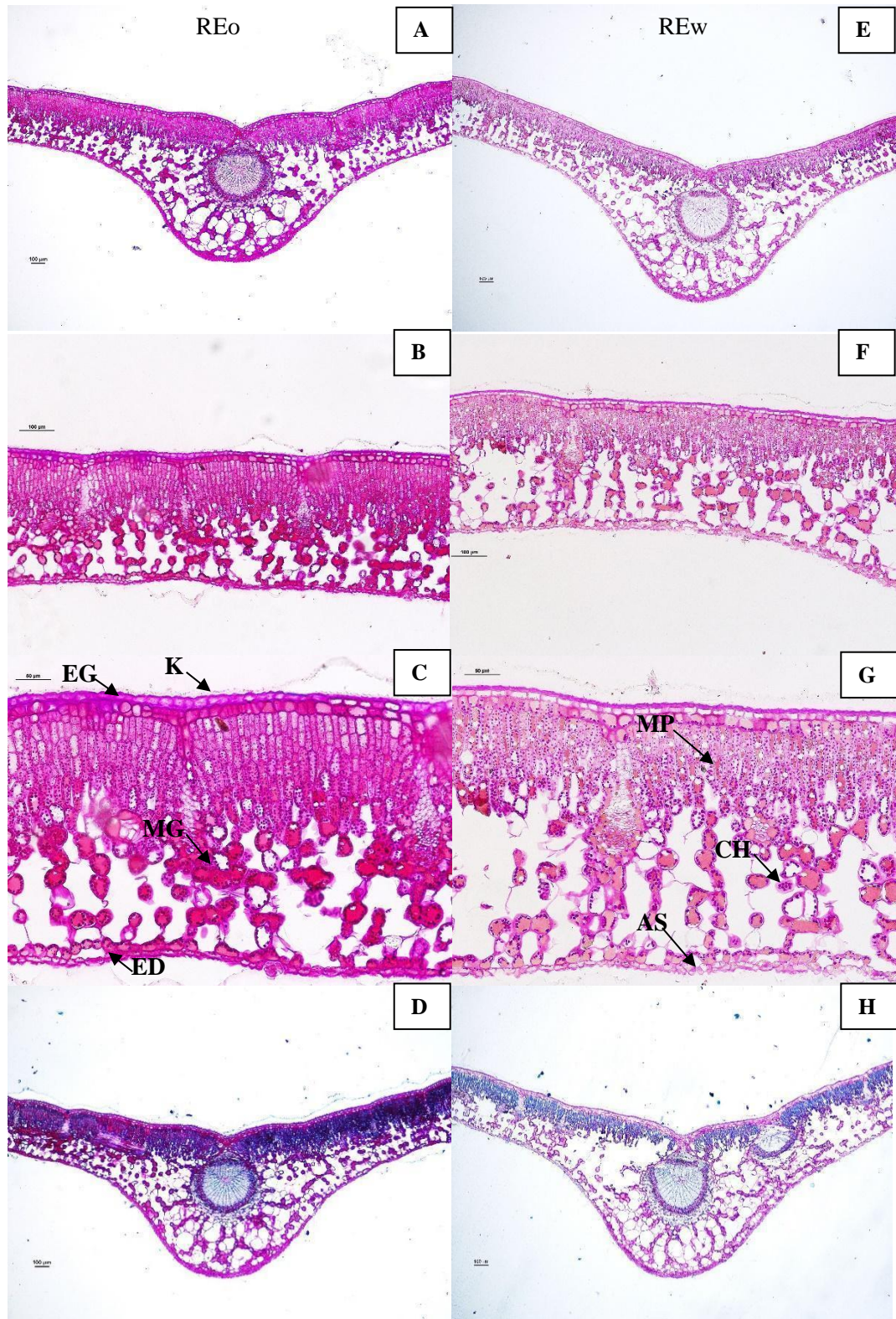
Ryc. 59. Przekroje poprzeczne liści roślin *Rhododendron* 'Cunningham's Snow White' rosnących na stanowisku słonecznym (CSWs) (A, B, C, D) i stanowisku zaciężonym (CSWz) (E, F, G, H); MP – miękisz palisadowy, MG – miękisz gąbczasty, EG – epiderma górna, ED – epiderma dolna, AS – aparat szparkowy, K – kutykula, CH – chloroplasty; Bar = 20  $\mu\text{m}$  (G), 50  $\mu\text{m}$  (C); 100  $\mu\text{m}$  (A, B, D, E, F, H).



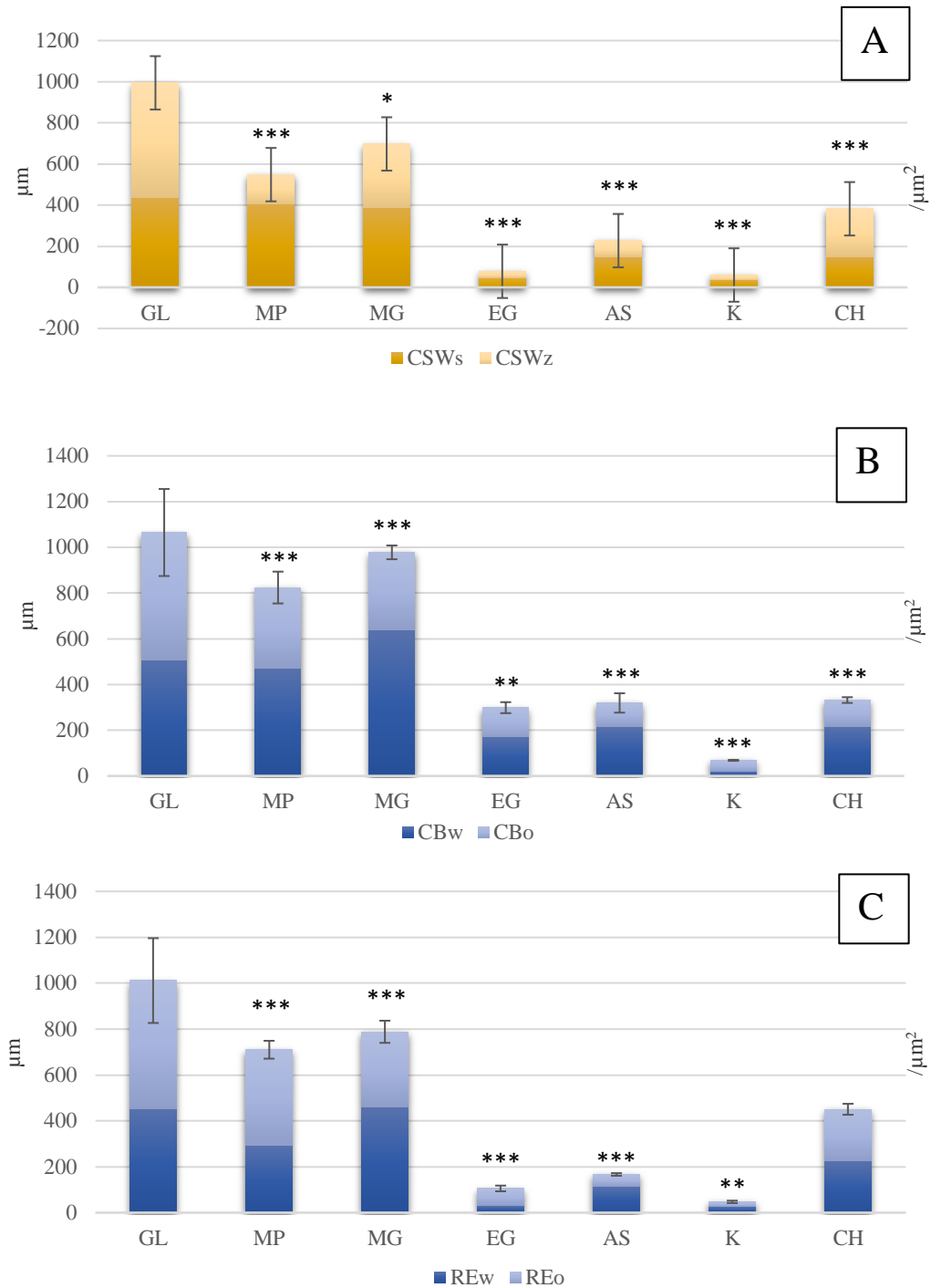


Ryc. 60. Przekroje poprzeczne liści roślin *Rhododendron* 'Catawbiense Boursault' na stanowisku osłoniętym (CBo) (A, B, C, D) i stanowisku wietrznym (CBw) (E, F, G, H); MP – miękisz palisadowy, MG – miękisz gąbczasty, EG – epiderma górna, ED – epiderma dolna, AS – aparat szparkowy, K – kutykula, CH – chloroplasty; Bar = 20 µm (C,G), 500 µm (D); 100 µm (A, B, E, F, H).





Ryc. 61. Przekroje poprzeczne liści roślin *Rhododendron* 'Roseum Elegans' na stanowisku osłoniętym (REo) (A, B, C, D) i stanowisku wietrznym (REw) (E, F, G, H); MP – miękisz palisadowy, MG – miękisz gąbczasty, EG – epiderma górna, ED – epiderma dolna, AS – aparat szparkowy, K – kutykula, CH – chloroplasty; Bar= 50 µm (C, G); 100 µm (A, B, D, E, F, H).



Ryc. 62. Analiza wybranych parametrów liści *Rhododendron* sp. odmian: [A] - 'Cunningham's Snow White' ze stanowiska słonecznego (CSWs) i zacienionego (CSWz); [B] 'Roseum Elegans' ze stanowiska wietrznego (REw) i osłoniętego (REo); [C] - 'Catawbiense Boursault' ze stanowiska wietrznego (CBw) i osłoniętego (CBo): GL – grubość liścia, MP – grubość miękiszu palisadowego, MG – grubość miękiszu gąbczastego, EG – grubość epidermy górnej, AS – obszar otwierania aparatu szparkowego, K – grubość kutykuli, CH – gęstość rozmieszczenia chloroplastów. Dane przedstawiają średnią ± SD (n=3). Gwiazdkami oznaczono istotne różnice pomiędzy średnimi w obrębie odmiany i stanowiska na poziomie  $P < 0,05$  (\*),  $P < 0,01$  (\*\*),  $P < 0,0001$  (\*\*\*) obliczone testem  $t$ -Studenta.

Analiza histologiczna wybranych parametrów liści *Rhododendron* wykazała liczne różnice statystycznie istotne. W przypadku *Rhododendron* ‘Cunningham’s Snow White’ (CSW, Ryc. 59, Ryc. 62 A) grubość miękiszu palisadowego była wyższa u CSWs (na stanowisku słonecznym; ok. 406  $\mu\text{m}$ ) w stosunku do roślin tej samej odmiany, ale rosnących na stanowisku zacienionym (CSWz; ok. 141  $\mu\text{m}$ ). Grubość miękiszu gąbczastego była także wyższa u CSWs (ok. 387  $\mu\text{m}$ ) niż u CSWz (ok. 309  $\mu\text{m}$ ). Także grubość epidermy górnej była wyższa u CSWs (ok. 46  $\mu\text{m}$ ) niż u CSWz (ok. 31  $\mu\text{m}$ ). Podobnie całkowite otwarcie porów aparatu szparkowego, a także grubość kutykuli były prawie dwukrotnie wyższe u CSWs. Rozmieszczenie aparatów szparkowych było zawsze obserwowane w obrębie epidermy dolnej. Odnotowano z kolei mniejszą gęstość rozmieszczenia chloroplastów u CSWs, bo ok. 150/ $\mu\text{m}^2$  przy liczbie 231/ $\mu\text{m}^2$  u CSWz.

W przypadku *Rhododendron* sp. ‘Catawbiense Boursault’ (CB, Ryc. 60, Ryc. 62 C) ze stanowiska wietrznego (CBw) i osłoniętego (CBo) stwierdzono, że miękisz palisadowy u CBw był grubszy niż u CBo (wartości odpowiednio ok. 472  $\mu\text{m}$  i 351  $\mu\text{m}$ ). Grubość miękiszu gąbczastego była większa prawie dwa razy u CBw (ok. 673  $\mu\text{m}$ ) niż u CBo (ok. 339  $\mu\text{m}$ ). Odnotowano większą grubość epidermy górnej u CBw, bo ok. 170  $\mu\text{m}$ , niż u CBo ok. 128  $\mu\text{m}$ . Całkowite otwarcie porów aparatu szparkowego u CBw było ponad dwa razy większe (ok. 217  $\mu\text{m}$ ) niż u CBo (ok. 101  $\mu\text{m}$ ). Grubość kutykuli była z kolei dwukrotnie większa u CBo (ok. 47  $\mu\text{m}$ ) niż u CBw (ok. 21  $\mu\text{m}$ ). Gęstość rozmieszczenia chloroplastów była wyższa u CBw i wynosiła ok. 217/ $\mu\text{m}^2$ ; a u CBo ok. 114/ $\mu\text{m}^2$ .

W przypadku grubości liścia (GL) nie zanotowano różnic statystycznie istotnych w obrębie analizowanych par dla wszystkich mieszańców *Rhododendron caucasicum* i *Rhododendron catawbiense*.

Analiza mieszańców z grupy *Rhododendron catawbiense* – *Rhododendron* ‘Roseum Elegans’ (RE, Ryc. 61, Ryc. 62 B) wykazała różnice w grubości miękiszu palisadowego. W przypadku REw rosnącego na stanowisku wietrznym wyniosła ok. 293  $\mu\text{m}$ , natomiast u REo na stanowisku osłoniętym ok. 416  $\mu\text{m}$ . Z kolei grubość miękiszu gąbczastego była wyższa u REw (ok. 460  $\mu\text{m}$ ) niż u REo (ok. 327  $\mu\text{m}$ ). Grubość epidermy górnej była istotnie, bo prawie dwa razy wyższa u REo (ok. 74  $\mu\text{m}$ ) niż u REw, gdzie odnotowano ok. 31  $\mu\text{m}$ . Natomiast całkowite otwarcie porów aparatu szparkowego u REw było ponad dwa razy większe (ok. 116  $\mu\text{m}$ ) niż u REo (ok. 50  $\mu\text{m}$ ). Grubość kutykuli była wyższa u REw (ok. 28  $\mu\text{m}$ ) w porównaniu do REo (ok. 19  $\mu\text{m}$ ). Nie odnotowano natomiast istotnie statystycznych różnic w gęstości rozmieszczenia chloroplastów.

Biorąc pod uwagę stanowiska występowania badanych okazów obu odmian – wietrzne oraz osłonięte – można dostrzec kilka różnic oraz podobieństw. Na stanowisku wietrznym u CBw oraz REw stwierdzono więcej miękiszu gąbczastego oraz większe rozwarcie aparatów szparkowych. Z kolei na stanowisku osłoniętym obserwujemy niskie wartości MG w stosunku do stanowiska wietrznego i niskie wartości parametru obszaru otwierania aparatów szparkowych. Grubość miękiszu palisadowego jest różna w zależności od odmiany i stanowiska występowania

## **5. Dyskusja**

### **5.1. Inwentaryzacja dendrologiczna roślin zimozielonych w terenach zieleni Krakowa**

#### **Skład florystyczny badanych stanowisk.**

Charakterystyka składu florystycznego badanych stanowisk na terenie Krakowa liczyła 16 stwierdzonych rodzajów w których dominowały dwa, *Cotoneaster* sp. (irga) oraz *Rhododendron* sp. (różanecznik). Wszystkie występujące rośliny zimozielone w terenach miejskich to szkółkarski, dostępny standard na rynku europejskim.

#### **Powierzchnia występowania badanych roślin zimozielonych.**

Inwentaryzacja dendrologiczna pokazała, że rośliny zimozielone planowane były w niewielkich kompozycjach o małej liczebności. Tylko w 100 stanowiskach na 800 określonych RZ występowały na dużych powierzchniach, rosnąc w skupiskach. Były to rośliny z grupy płożących, które w sztuce ogrodowej planuje się grupowo na dużych powierzchniach. Zalecenia planowania RZ według Czekalskiego [2005] wskazują na sadzenie ich w grupach, im większych, tym lepiej, najlepiej od 30-60 okazów. Bliskie sąsiedztwo budynków także jest niewskazane, gdyż w trakcie budowy dostają się do gleby zbyt duże ilości wapnia i innych odczynników. Podczas obserwacji nasadzeń w terenach Krakowa zaobserwowano, że na zamieranie roślin zimozielonych miał wpływ gruz pobudowlany, w jakim były sadzone, szczególnie na nowo założonych obiektach. Bach i in. [2006] wspominają także o możliwym wypromieniowaniu ciepła od nagrzanego budynku latem lub szczególnie podczas bezśnieżnej zimy, co może powodować przegrzanie lub uszkodzenie liści RZ. W skupiskach roślin tworzy się specyficzny mikroklimat o zwiększonej wilgotności powietrza. Posadzone jako soliter (samotnie rosnące) lub w dużych odstępach, rosną i rozwijają się źle, będąc narażone na szkodliwe działanie wiatru.



### **Udział kierunku wiatru w miejscu występowania roślin zimozielonych.**

Udział kierunku wiatru w miejscach inwentaryzacji był zmienny. Czekalski [2001] podaje, że RZ powinno się sadzić w miejscach osłoniętych od wiatrów oraz od strony południowej, tak aby promieniowanie słoneczne nie spowodowało przegrzania liści, przypalenia, a w konsekwencji ich uszkodzenia. Szkodliwe okazują się szczególnie wiatry wschodnie. Niniejsze badania pokazały, że planowanie zimozielonych w terenach miejskich Krakowa było przypadkowe i niezależne od wpływu kierunku wiatru. Około 15% stanowiły wiatry północno-wschodnie i wschodnie, po równo z wiatrami południowymi, zgodnie z zaleceniami. Jednak udział procentowy pozostałych kierunków wiatrów i ich zróżnicowanie w różnych miejscach występowania pozwala stwierdzić fakt przypadkowego planowania.

### **Stanowisko występowania pod względem ekspozycji na wiatr.**

W niniejszej pracy stwierdzono, że większość planowanych RZ na badanych stanowiskach roślinnych była sadzona w miejscach osłoniętych, tj. w towarzystwie innych roślin, między budynkami czy też w otoczeniu innych elementów, które chroniły je przed szkodliwym działaniem czynników środowiska m.in. wiatru, gdyż podczas planowania, jak wspomniano, nie brano pod uwagę kierunku wiatru. Towarzystwo sąsiednich roślin powodowało tworzenie mikroklimatu, o czym wspominał Podymiak [2011] jako formie naturalnej ochrony liści oraz pędów zimozielonych przed uszkodzeniami. Według Czekalskiego [1986] także obniżenia terenu jako nieodpowiednie stanowiska do sadzenia roślin zimozielonych, w których powstają zastoiska mrozowe, mogą powodować szkody. Obecność innych krzewów, parków, lasów podmiejskich, dużych zadrzewień i ogrodów przy budynkach użyteczności publicznej stanowi dobre sąsiedztwo dla tego typu roślin. Dodatkowa obecność wody w formie stawów, strumieni lub kanałów wpływa na korzystną poprawę natlenienia gleby. Zbiorniki wody zwiększają wilgotność powietrza, co znacznie polepsza warunki mikroklimatu. Wskazana dla RZ jest obecność wysokich drzew, np. dębu, sosny, choiny kanadyjskiej i modrzewia. Do mniej przydatnych należą gatunki iglaste. Drzewa pełnią formę naturalnej osłony od wiatru i dostarczają cienia [Wietnik, Mazur, Pypeć 2013]. Tymczasem w wielu badanych obiektach rośliny zimozielone rosły w miejscach odsłoniętych, charakteryzujących się przede wszystkim przeciągami, co miało wyraźny wpływ na ich stan.

W warunkach klimatycznych naszego kraju deficyt wody stanowi jeden z najważniejszych czynników powodujących szkody w uprawianych roślinach. Zagadnieniu niedoboru wodnego klimatu miejskiego poświęcono wiele publikacji [Czekalski i Aniśko 1986,

Morsink 2000, Gilkey 1996a, Gilkey 1996b]. Uszkodzenia roślin zimozielonych wywołane są przez niską temperaturę i suszę fizjologiczną. Stan ten jest ściśle związany z gospodarką wodną w liściach. W wyniku stałej transpiracji kutykularnej, jaka odbywa się w trakcie zimy przy znacznej stracie wody powstają uszkodzenia liści z powodu zamrożonej gleby i wskutek tego przerwanie ruchu wody w roślinach. Powodem istotnych uszkodzeń RZ są nie tylko przemarznięcia, lecz także przesuszenia liści w związku, np. z niekorzystnym wietrznym stanowiskiem w jakim zostały zaplanowane. Autorom trudno jest definitywnie określić rzeczywisty wpływ deficytu wodnego na przezimowanie oraz przede wszystkim ocenić w jakim stopniu ujemny bilans wodny ogranicza tolerancję RZ na spadki temperatur. Badania krakowskich osiedli szczególnie w przypadku osiedla „Wiślane Tarasy” pokazały, że istnienie zaplanowanego oraz skoncentrowanego systemu nawadniania na całym osiedlu pod rabatami roślin zimozielonych miało istotny wpływ na ich kondycję. Kondycja RZ w 90% była w 2014 roku taka jak w 2017, były jedynie wyższe z racji wieku.

#### **Stanowisko występowania pod względem udziału oświetlenia w miejscu występowania roślin zimozielonych.**

Rośliny zimozielone w terenach zamkniętych Krakowa planowane były w warunkach, gdzie udział oświetlenia był zazwyczaj zmienny. Posadzone w pełnym słońcu miały uszkodzone blaszki liściowe. Odnotowano, że tylko ponad 100 stanowisk zostało zaplanowane w miejscach zacienionych zgodnie z naturalnymi wymaganiami roślin niepodlegającym sezonowym zmianom ulistnienia. Przetrwanie zimozielonych warunkuje odpowiednie półcieniste/cieniste stanowisko. Skutki bezpośredniego działania słońca wraz z niską temperaturą w zimie zwiększają ryzyko występowania suszy fizjologicznej. Silne promieniowanie słoneczne na przełomie zimy i wiosny powoduje oparzenia liści u RZ [De Jong i in. 2012]. Zgodnie z zaleceniami szkółkarskimi rośliny zimozielone powinny mieć zapewnioną ochronę przed porannym i południowym słońcem oraz suchym wiatrem od wschodu. Pokrycie korony krzewów włókniną podczas silnych mrozów bez śnieżnych w trakcie ostrego słońca lub gruba warstwa ściółki z jesiennych liści ułożonych w strefie korzeni chroni całoroczne ulistnienie przed uszkodzeniami [Banaszczak i Tumiłowicz 2007].

#### **Ocena uszkodzeń roślin zimozielonych na badanych stanowiskach.**

Zbadany stan uszkodzenia RZ w roku 2014 był zdecydowanie mniejszy niż w roku 2017, ponownym roku obserwacji. Posługując się przyjętą skalą uszkodzeń odnotowano wzrost uszkodzeń liści oraz znaczny wzrost uszkodzeń pąków kwiatowych oraz liściowych, pędów

jednorocznych, a także ich wierzchołków w stosunku do roku 2014. Inwentaryzowane rośliny w roku 2014 były młodymi osobnikami zaplanowanymi na stosunkowo nowych terenach miejskich. Zmienny udział kierunku wiatru, a także nasłonecznienia, planowanie oraz sadzenie w miejscach wietrznych, bez sąsiedztwa innych okazów, tj. udziału najważniejszych czynników abiotycznych wpływających na fizjologiczny stan liści roślin, wpłynął niekorzystnie na ich ogólną kondycję. Zapewne na uszkodzenia wpływ miała także pogoda w ostatnich latach, bezśnieżne zimy, wysokie temperatury i ostre słońce w zimowych miesiącach, a przede wszystkim szczególnie duże straty występowały w skutek gruntowych przymrozków. Niekorzystnym zjawiskiem dla zimozielonych uprawianych w Polsce są także kilkakrotne odwilże podczas zimy. Powodują one rozhartowanie krzewów i zakłócenia ich rytmiki rozwojowej [Ülo i Valladares 2006].

Obniżanie się temperatury wpływa na wzrost zawartości wody związanej do końca okresu wegetacyjnego i wynosi  $\frac{3}{4}$  zawartości wody ogólnej. Kolejne spadki temperatur nie wpływają na poziom związanej tego parametru [Woźny i Przybył 2004]. Odpowiedni dobór stanowiska dla roślin zimozielonych warunkuje ich możliwe uszkodzenia liści. Czynniki te to takie na które mamy istotny wpływ, jednak przebieg pogody samoistnie warunkuje stopień ich uszkodzenia. Nagłe spadki temperatur podczas np. przymrozków wiosennych mogą spowodować wzrost zawartości wody związanej, a reakcja uwidaczniająca zewnętrzne zmiany, podobnie jak w odniesieniu do wody wolnej, jest opóźniona o dwa tygodnie. Badania RZ w terenach miejskich Krakowa potwierdzają tezę Woźnego i Przybył [2004], że istotność obecności wody i stan uwodnienia będzie generował uszkodzenia, szczególnie w grupie roślin odpornych na niską temperaturę, ale wrażliwą na jej nagłe zmiany zimą i wczesną wiosną.

Stan uszkodzenia liści zimozielonych w roku pierwszych obserwacji (2014) był znacznie niższy, niż 3 lata później, roku kolejnych obserwacji. Starsze liście zawierają mniej wody związanej ponieważ maleje w nich ilość hydrofilowych koloidów, które pełnią ważną funkcję w utrzymywaniu wody. Zmiany te związane są wraz z obniżeniem zawartości w tych liściach najbardziej hydrofilnych związków fosforu – nukleotydów, a zwiększenia – mniej hydrofilnych fosfatydów [Czekalski 2008].

Wraz z obniżaniem się temperatury wzrasta stężenie soku komórkowego, a spada gdy temperatura rośnie. W liściach starszych jest ono 2-3 razy większe niż w młodych. Wiosną, gdy gleba rozmarza a gospodarka wodna ulega wznowieniu, stężenie soku komórkowego maleje. Wysokie stężenie obserwuje się u gatunków zimozielonych charakteryzujących się większą zimotrwałością. Najstarsze żółknące liście tuż przed opadnięciem posiadają niższe stężenie soku komórkowego [Czekalski 2008].

Z przedstawionych w latach 2014 i 2017 danych z terenów miejskich Krakowa wynika, że zachowanie dobrego, zdrowego czy dekoracyjnego waloru roślin zimozielonych zależy przede wszystkim od poziomu uwodnienia tkanek i jest podstawowym warunkiem przetrwania roślin. Czekalski [1999, 1980, 1982] wielokrotnie pisze, że w uprawie należy dobierać środowisko i kształtować warunki rozwoju RZ tak, aby zapewnić optymalne zaopatrzenie krzewów w wodę przez równomierne i stosunkowo wysokie uwilgotnienie gleby oraz zmniejszenie intensywności transpiracji poprzez utrzymywanie wysokiej wilgotności powietrza. Rośliny całorocznego ulistnienia wymagają siedliska lekko zacienionego, osłoniętego od wiatrów, w pobliżu cieków wodnych, z glebą o wysokiej pojemności wodnej, pozbawionego gatunków konkurujących o wodę. Planowane zimozielone często sadzone były w gruzie pobudowlanym, jeśli dotyczyło to osiedli zamkniętych, strzeżonych. Nie zwrócono uwagi na całkowitą wymianę podglebia po zakończonych inwestycjach. Warunki uprawy można poprawić poprzez wymianę gleby, ściółkowanie, zakładanie osłon, nawadnianie, zraszanie czy też okrywanie krzewów.

### **Wpływ pielęgnacji na uszkodzenia roślin zimozielonych.**

W roku 2014 w trakcie inwentaryzowania obiektów, gdzie występowały rośliny zimozielone, zaobserwowano w większości przypadków obecność zabiegów pielęgnacyjnych w postaci nawożenia czy ogławiania, np. różaneczników. Stwierdzono też obecność nawozów w okolicy krzewów, rozdrobnioną korę sosnową jako ściółkę, wykonane cięcia odmładzające i pobudzające kwitnienie, a także ogławianie kwiatostanów różaneczników. Podobne obserwacje w roku 2017 skłoniły do przypuszczenia, że zabiegi pielęgnacyjne nie były stosowane systematycznie do tego roku i mogło być to jedną z przyczyn, dla której procent uszkodzeń RZ w badanym okresie się zwiększył. Wpływ na taki stan mogły mieć firmy ogrodnicze, które podczas planowania i zakładania terenów zieleni nie wychodziły z założenia kilkusezonowej lub corocznej pielęgnacji w trakcie roku. Mogło to wynikać z braku środków finansowych na pielęgnację lub z założenia, że zaproponowane zimozielone nie wymagają takich nakładów pracy w związku z tym, że ich wymagania zostały spełnione zgodnie z panującymi warunkami siedliskowymi. Nowakowska i Baran [2007] badały w swej publikacji uszkodzenia mrozowe drzew i krzewów rosnących w Ogrodzie Dendrologicznym w Glinnej podczas zimy 2005/2006. Posiłkując się przyjętą skalą uszkodzeń wg Łukasiewicza [1987] oceniały także obecność i wpływ pielęgnacji na walory dekoracyjne, w tym RZ. Stwierdziły istotny wpływ prowadzonych zabiegów pielęgnacyjnych, tj. usuwania martwych pędów w celu pobudzenia zdolności roślin do odnawiania pąków przybyszowy, jako szczególnie ważne

i mające wpływ na stan roślin. Niewykonywanie takiego rodzaju pielęgnacji prowadzi do obniżenia walorów dekoracyjnych u starych okazów, jak np. *Berberis julianae*. Wytyczają także zalecenia uprawiania roślin zgodnie z ich możliwościami przetrwania czy też naturalnego pochodzenia geograficznego, względem terenu na którym mają zostać posadzone. Autorki zwracają uwagę na warunki pogodowe, jakie panują podczas zimy w poszczególnych regionach Polski. W miejscu prowadzenia badań na Pomorzu Zachodnim kierowały się występowaniem łagodnych zim, stąd zaproponowały zalecenia uprawiania roślin o zwiększonej wrażliwości na niekorzystne warunki pogodowe. Kraków charakteryzuje się jednak znacznie większymi różnicami temperatur niż Pomorze Zachodnie, wyższą temperaturą w lecie i niższą w zimie.

### **Strefy mrozoodporności roślin zimozielonych.**

Obserwacje zaplanowanych roślin zimozielonych w projektach zieleni miejskiej lub osiedlowej zakładały wykorzystanie wysokiej odporności na przemarznięcia (strefa 6a i 6b) gatunków RZ zalecanych do klimatu Krakowa. Badania pokazały, że nie jest to wystarczające w obecnych czasach wahań temperatur w ciągu roku oraz widocznej zmiany pór roku. Według obserwacji oprócz tradycyjnych pór roku, tj. wiosna, lato, jesień zima, można wyróżnić szczególne niebezpieczne dla roślin o całorocznym ulistnieniu, przedwiośnie i przedzimą. Za przedwiośnie przyjmuje się okres roku na styku zimy i wiosny, w którym średnie dobowe temperatury powietrza wahają się pomiędzy 0°C, a 5°C (z tendencją wzrostową). W trakcie przedwiośnia w odróżnieniu od przedzimy występuje wiele przemian w przyrodzie. Dodatkowo temperatury powietrza powodują topnienie okrywy śnieżnej i lodu. Potęguje to fali roztopów i obawę zalania roślin, w mniejszym stopniu podnosi wilgotność. Okres przedwiośnia jest także okresem pierwszych wschodów roślin i początku wegetacji. Wtedy pojawiają się pierwsze przymrozki.

W badanych roślinach zimozielonych w terenach miejskich Krakowa odnotowano, że inwentaryzowane RZ pochodziły w większości ze strefy 6b oraz 6a, pozostałe z 5b, 4, 5 oraz niewielka część z 7, 7a. Rośliny zaplanowane były zatem zgodnie z wymaganiami stref mrozoodporności oraz odpowiadającymi jej temperaturami, jakie panują na południu Polski według obowiązującej klasyfikacji „kórnickiej”. Przedstawienie stanu uszkodzenia zimozielonych mimo przypisania odpowiednich gatunków do odpowiednich stref ma znaczenie orientacyjne i nie zawsze będzie pewne. Dendrolodzy Chylarecki [1986], McNamara i in. [2002], Lorberg [2010] znają wiele takich przykładów niezgodności przypisanej strefy do gatunku z jej odpornością w danym regionie kraju. Można zatem sądzić, że obowiązująca

klasyfikacja stref mrozoodporności staje się już niewystarczająca. Wskazują, że u gatunków o dużych zasięgach występowania, większa lub mniejsza odporność na uszkodzenia może zależeć od pochodzenia nasion. Nadmieniają istotność wyboru odpowiedniego mikrosiedliska, zacisznego miejsca uprawy, osłony przed wiatrami oraz brania pod uwagę strony świata w tym także pielęgnację. Uszkodzenie liści oraz wypadły całych krakowskich krzewów zimozielonych wynikały szczególnie z niewłaściwego doboru gatunkowego do panujących warunków wokół budynków czy między budynkami, a także braku planu pielęgnacji.

## 5.2. POMIARY SPEKTROFOTOMETRYCZNE BARWY LIŚCI KRZEWÓW ZIMOZIELONYCH W SYSTEMIE $L^*A^*B$ , $\Delta E$ ORAZ FLUORESCENCJI CHLOROFILU A *ILEX* SP.

### **Spektrofotometryczna ocena barwy liści RZ w systemie $L^*a^*b^*$**

Oceniając barwę liści roślin zimozielonych w systemie  $L^*a^*b^*$  za pomocą spektrofotometru należy stwierdzić, że jej intensywność zmienia się zależnie od temperatury. Parametry chromatyczności  $a^*$  i  $b^*$ , które wyznaczają widma refleksyjności okazały się być wrażliwe na fluktuacje temperatury. Zmienność wartości widm wynika także z gatunku lub odmiany badanego rodzaju *Ilex* sp., a przede wszystkim ich reakcji na zmiany temperaturowe.

### **Warunki termiczne w trakcie prowadzonego doświadczenia w latach 2014-2015**

Warunki termiczne w latach prowadzenia badań 2014 i 2015 były zmienne. Jednak II termin doświadczenia charakteryzował się większymi różnicami temperatur w ciągu nawet jednego dnia. Zarejestrowano wysokie, dodatnie temperatury do 10°C w okresie grudnia, stycznia i lutego, po czym następował spadek do poniżej 0°C. Najbardziej intensywne wybarwienie liści, parametry chromy  $a^*$  i  $b^*$  pokazywały w miesiącach jesiennych i do końca marca, a także w maju gdy następował wzrost temperatury wraz z ociepleniem klimatu. Okresowo występujące spadki temperatury np. o 15°C (w ciągu jednej doby) powodował wzrost widm refleksyjności u ImBPs, ale u ImBPss tak nagła zmiana temperatur oznaczała spadek wybarwienia liści. Taka reakcja objawiająca się wzmocnieniem intensywności wybarwienia liści na nagłe obniżenie temperatury nie musi świadczyć o uszkodzeniu liści czy też możliwym stresie, jaki przechodzi roślina w momencie tak nagłej różnicy temperatur. Wzrost widm refleksyjności w takiej sytuacji może być mechanizmem protekcyjnym, jaki wytwarza roślina w momencie stresu termicznego (zimowego) [Sims i Gamon 2002]. Z kolei obniżenie intensywności parametrów chromatyczności u ImBPss w czasie tak nagłego spadku temperaturowego może świadczyć o mniejszej reakcji obronnej na stres termiczny tej odmiany.

## **Barwniki roślinne, a ocena barwy w systemie L\*a\*b\***

Ocena barwy metodą spektrofotometryczną w oparciu o parametry chromatyczności  $a^*$  i  $b^*$  oraz zmiany jakie zachodzą z ich udziałem pod wpływem temperatury mogą być także związane z powszechnie występującymi barwnikami roślinnymi, które biorą udział w procesie fotosyntezy. Wśród najpowszechniejszych barwników wyróżnia się: chlorofil, karotenoidy, flawonoidy i antocyjany [Corcuera i in. 2005].

Pigmenty są integralnie związane z fizjologiczną funkcją liści, a ich zawartość jest podstawą do interpretacji niektórych parametrów fluorescencji chlorofilu, a następnie określenia stanu fizjologicznego aparatu fotosyntetycznego roślin [Bączek-Kwinta i in. 2011]. Chlorofile absorbują energię świetlną i przenoszą ją do aparatu fotosyntetycznego. Karotenoidy (żółte pigmenty) również biorą udział w procesie świetlnym fotosyntezy. Jednakże, gdy padająca energia światła przekracza wartość potrzebną do fotosyntezy, karotenoidy, które tworzą cykl ksantofilowy, rozpraszają nadmiar energii, unikając w ten sposób zakłócenia przebiegu procesu fotosyntezy [Sims i Gamon 2002, Henry i in. 2012, Logan i in. 2015]. Antocyjany (różowe, fioletowe i czerwone pigmenty) mogą chronić liście przed nadmiarem światła, pełniąc funkcję fotoprotektanta dzięki ich zdolności przeciwutleniającej, a niektóre nawet są zdolne do absorbowania części widm UV podobnie jak karotenoidy [Borek i in. 2016].

## **Rola światła w tworzeniu barwników antocyjanowych**

Rośliny zimozielone oprócz tolerancji na niską temperaturę, poprzez zapobieganie tworzeniu się wewnątrzkomórkowych kryształów lodu, przechodzą przez szereg procesów metabolicznych związanych z energetyką komórki. Ilość światła, jaka dociera do liści roślin zimozielonych w okresie jesienno-zimowym jest ograniczona. Wpływa to na wydajność procesu fotosyntezy. Jednak z wyników przeprowadzonej inwentaryzacji RZ w latach (2014-2017) wynika, że tego typu rośliny często rosną na stanowiskach nasłonecznionych. Dla RZ są to najbardziej niebezpieczne ekspozycje na silne słońce w okresie zimowych miesięcy oraz okresowo występujące fluktuacje temperatury [Wang i in. 2009], jak w II terminie pomiarów oceny barwy RZ.

Światło to jeden z najważniejszych czynników środowiska, które wpływa na wzrost i rozwój roślin. Bierze udział w procesie fotosyntezy, oddziałuje na wiele procesów fizjologicznych, ale także może być czynnikiem stresowym. Światło wpływa przede wszystkim na wybarwienie rośliny. Powoduje aktywację genu lub genów odpowiedzialnych za syntezę enzymów katalizujących przemiany flawonoidów w tym biosyntezę antocyjanów [Tako i in. 2006]. Neill i Gould [2003] oraz Takahashi i Badger [2001] twierdzą, że pod wpływem światła

w liściach wytwarzany jest nieznanym dotąd związek, który zostaje przenoszony do innych organów rośliny, jak pędy i korzenie, dając sygnał do syntezy barwników antocyjanowych.

### **Udział antocyjanów, chlorofilu i karotenoidów w zmianach widm reflektancji systemu L\*a\*b\***

Liście roślin zimozielonych wykazują zmiany barwników roślinnych z koloru zielonego na czerwony w miesiącach zimowych z powodu syntezy antocyjanów w górnych warstwach mezofilu. Podobne zmiany, ale widm reflektancji można było zaobserwować u IcGG u którego barwa czerwona występowała od jesieni przez zimę, a w kwietniu chroma  $a^*$  zmieniła swoją intensywność na barwę zieloną. Ekofizjologiczne funkcje zmiany barwników w zimie i ich występowanie u roślin w liściach zimozielonych, nie są do końca jeszcze znane [Hughes i in. 2012]. Literatura według Corcuera i in. [2005], Hughes i in. [2005], Porcar-Castell i in. [2009], Hughes i in. [2012], stawia hipotezy, jakoby to antocyjany odgrywały kompensacyjną rolę fotoprotektanta u gatunków o ograniczonej zdolności do rozpraszania energii. Wyniki ich badań sugerują, że antocyjany działają jako „tłumiki” światła i mogą również przyczyniać się do tworzenia antyoksydantów w liściach zimozielonych w zimie. Kolejne stawiane hipotezy przez autorów prac Feild i in. [2001], Hoch i in. [2001], Lee i Gould [2002], Neil i Gould [2003] sugerują, że antocyjany, które znajdują się w obrębie miękiszu palisadowego lub obwodowych mezofilowych warstw liści, narażone na wysokie nasłonecznienie działają jako naturalne „pochłaniacze” światła niebieskozielonego, które w innym przypadku mogłoby zostać wchłonięte przez chlorofil b w sąsiednim mezofilu. Steyn i in. [2002] opisują z kolei wartość adaptacyjną zielonego barwnika jakim jest chlorofil, absorbującego światło, a będącego pigmentem pomocniczym. Chlorofil wraz z antocyjanami mogą absorbować wysokoenergetyczne i głęboko penetrujące długości fal widma słonecznego bez zakłócenia funkcji czerwonych i niebieskich fotoreceptorów z dostępem światła. Stwierdzają, że przechwytywanie fotonów w taki sposób byłoby szczególnie korzystne dla roślin, które pochłaniają więcej światła niż można przekształcić w energię chemiczną poprzez fotosyntezę, jak ma to miejsce w przypadku wielu gatunków o liściach zimujących przez cały sezon, ale barwie jaskrawej.

W badaniach nad *Galax urceolata*, zimozielonym zieleń pochodzącym z Appalachów, odkryto, że wzrost stężenia antocyjanów (czerwonego barwnika) pokrywa się przewidywalnie z niską temperaturą i wysokim światłem. Autorzy Hughes i in. [2005] podejrzewają, że ten właśnie pigment spełnia ważną rolę fotoprotektanta w obrębie tkanek liści, szczególnie w zimowych warunkach stresowych. W badaniu nad *Galax urceolata* stwierdzono także, że



antocyjany występują w liściach najbardziej podatnych na stres świetlny. Należą do nich szczególnie rośliny z grupy zimozielonych w okresie niskich temperatur i ostrego słońca. U *Galax urceolata* intensywność światła wzrastała w niskich temperaturach, a zatem jej podatność na uszkodzenia fotooksydacyjne rosła proporcjonalnie, co wykazał spadek  $F_v/F_M$  obserwowany u roślin rosnących w lekkim gradiencie. Spadek  $F_v/F_M$  w odpowiedzi na rosnące natężenie napromieniowania udokumentowano w kilku badanych roślinach zimozielonych i przypisano temu wzrost specyficznych dla PSII mechanizmów fotoprotekcyjnych, które z kolei są odpowiedzią na zwiększony stres świetlny. Fotoprotekcyjne regulacje powodują także utrzymanie stałej fosforylacji białka, PSII oraz zwiększenie ilości ksantofilii (żółte pigmenty). Tak jak u IcGG parametr chromatyczności  $b^*$  przyjmował przez cały okres pomiarów w I terminie intensywnie żółty kolor. W dalszych badaniach nad *Galax urceolata* obserwowano, że synteza antocyjanów w zimozielonych liściach jest proporcjonalna do wzrostu natężenia światła i występuje równoległe z obniżeniem maksymalnej wydajności PSII. Dlatego autorzy potwierdzają hipotezę, że antocyjany wytwarzane są w odpowiedzi na rosnący stres świetlny i dlatego takie barwniki roślinne mogą pełnić funkcję fotoprotekcyjną [Adams i in. 2001, Ebbert i in. 2001, Liakopoulos i in. 2006].

Mechanizmem, który chroni komórki przed nadmierną produkcją reaktywnych form tlenu (ROS) oraz uszkodzeń z tym związanych jest cykl ksantofilowy żółtego pigmentu. Polega on na odwracalnej przemianie ksantofilii, tj. wiolaksantyny w zeaksantynę, czyli barwników, które wchodzi w skład kompleksów antenowych. Warunkami sprzyjającymi tej przemianie jest niska temperatura, wzrost oświetlenia oraz spadek pH we wnętrzu tylakoidów. Zachodzi wówczas zmiana konformacji białek antenowych i następuje rozproszenie energii (w postaci ciepła) pomiędzy cząsteczki barwników, a przekazywania jej do centrów reakcji PSII. Cykl ten wychwytuje i rozprasza energię. Staje się kolejnym mechanizmem fotoprotekcyjnym obok systemu antyoksydacyjnego [Tanaka i in. 2008].

Hughes i in. [2012] przeprowadzili badania na 7 różnych gatunkach zimozielonych: *Galax urceolata* 'Brummitt', *Gaultheria procumbens*, *Lonicera japonica*, *Leucothoe fontanesiana* 'Sleumer', *Rhododendron catawbiense*, *Kalmia latifolia* oraz *Vinca minor*. Wszystkie rośliny poddano wpływowi stresów środowiskowych i badano akumulację antocyjanów. Rośliny gromadziły antocyjany w odpowiedzi na różne czynniki środowiskowe, które bezpośrednio lub pośrednio prowadziły do deficytu wody. Zwiększona biosynteza tych barwników występowała jako reakcja na suszę wskutek niskiej temperatury, która panowała podczas prowadzenia doświadczenia lub pod wpływem zasolenia podłoża. Wysoki poziom antocyjanów jest często dodatnio skorelowany z wyższą odpornością roślin na chłód, jak

u zimozielonych, zasolenie, jak i również na deficyt wody [Yang i in. 2000, Close i in. 2002, Wahid i in. 2006,]. Hughes i in. [2010] twierdzą, że niski potencjał wody w liściach indukuje syntezę antocyjanów, w związku z tym stwierdzili możliwy związek między wytwarzaniem antocyjanów zimą, a tolerancją na suszę. Yang i in. [2000] podają, że nie ma dowodów na to, że susza bezpośrednio indukuje syntezę tych związków, co wykazali na przykładzie rośliny warzywnej – ogórka. W poddanych stresowi wodnemu siewkach ogórków zwiększona produkcja barwników antocyjanowych następowała tylko wówczas, gdy rośliny narażone były dodatkowo na działanie promieni UV-B. Podobnie jak u *Eucalyptus nitens*, gdzie zaobserwowano zwiększone nagromadzenie antocyjanów pod wpływem niskiej temperatury, ale tylko w liściach siewek wystawionych na bezpośrednie działanie słońca [Close i in. 2002].

Antocyjany akumulowane są głównie w komórkach epidermy, absorbują światło w zakresie podobnym do chlorofilu *b*, jak stwierdzono także w badaniach nad *Galax urceolata*. Mogą pełnić funkcję ochronną dla leżących głębiej komórek miękiszu asymilacyjnego przed nadmiernym promieniowaniem słonecznym. Zapobiegają w ten sposób tworzeniu się reaktywnych form tlenu (ROS) i oksydacyjnym uszkodzeniom komórek [Steyn i in. 2002, Manetas 2006]. Hoch i in. [2001], Chalker-Scott [2002], Neil i in. [2002], Pietrini i in. [2002], Neil i Gould [2003], Papageorgiou i Govindjee [2011], Stribet i in. [2014] sugerują, że antocyjany, oprócz fotoprotekcji, mogą pełnić również funkcję osmoregulatorów w komórkach. Nagromadzone w wakuolach jako związki osmotycznie czynne, pozwalają utrzymać odpowiedni potencjał wody w warunkach deficytu wody oraz zapobiegają krystalizacji lodu, zwiększając wytrzymałość roślin zimozielonych na niską temperaturę. Jednak według Manetas [2006] zawartość antocyjanów, która nawet w jaskrawoczerwonych liściach wynosi od 1 do 4 mol·kg<sup>-1</sup> jest zbyt niska, aby można twierdzić o znaczącej roli w osmoregulacji.

W kilku badaniach zaobserwowano także, że synteza antocyjanów jest inicjowana w odpowiedzi na wzrost zawartości węglowodanów w liściach [Jeanette i in. 2000]. W doświadczeniu nad *Eustoma grandiflorum* wybarwienie kwiatów roślin rosnących na świetle o natężeniu 1000 luksów było jaśniejsze niż wystawionych na światło o natężeniu 10000-15000 luksów. Ograniczając dostęp światła do badanej rośliny nie spowodowano to zmniejszenia jaskrawości jej kwiatów. Wybarwienie było również bardzo jasne. Umieszczenie łodyg i liści w roztworach sacharozy spowodowała, że intensywność wybarwiania kwiatów była wprost proporcjonalna do stężenia zastosowanego cukru. Niezależnie od panujących warunków świetlnych nastąpiło zjawisko wybarwienia. Poprzez aktywność kilku enzymów wpływających na biosyntezę antocyjanów (syntazy chalkonowej, izomerazy chalkonowej, reduktazy

4-dihydroflawonolowej) nastąpiło podwyższenie w miarę wzrostu stężenia sacharozy [Kawabata i in. 1999, Jeanette i in. 2000, Gollop i in. 2002]. Według Kawabata i in. [1999] niskie natężenia światła wpływa na wybarwienie kwiatów i liści poprzez redukcję procesu fotosyntezy, powoduje obniżenie zawartości cukrów rozpuszczalnych w soku komórkowym i prowadzi do represji genów kodujących syntezę enzymów, które odgrywają rolę w biosyntezie antocyjanów.

Absorbancja niebieskozielonego światła przez antocyjany może być również odpowiedzialna za zmiany w proporcjach chlorofilu, które Hughes i in. [2005], obserwują w badanych liściach zimozielonych. Proporcje chlorofilu *a* i *b* znacznie się zmniejszają wraz ze wzrostem natężenia światła (i stężenia antocyjanów). Zjawisko to należy do niespotykanych, gdyż analizy pigmentów roślin zimozielonych w poprzednich badaniach [Ferrante i Maggiore 2007, Liang i in. 2007, Meroni in 2009, Mehta i in. 2010, Kalaji i in. 2014b], wykazały wzrost poziomu chlorofilu *a* i *b* w odpowiedzi na zwiększenie natężenia promieniowania, a nie zmniejszenie. Prawdopodobnie odpowiada to wyższym stosunkom ośrodków reakcji do kompleksów zbierających światło, co wskazuje na fizjologiczne odejście od wychwytywania światła w kierunku wiązania węgla. Proporcje chlorofilu innych badanych roślin zimozielonych wytwarzających antocyjany, wykazują również niższy stosunek chlorofilu *a:b* w czerwonych liściach w porównaniu z zielonymi, nawet gdy nie ma różnicy w środowisku światła w którym są hodowane. Takie gatunki to np. *Begonia pavonina* i *Triolena hirsuta* oraz zimozielony krzew *Mahonia repens* [Gould i in. 1995, Grace i Logan 1996]. W doświadczeniu własnym liście IcGG w II terminie prowadzonych badań przyjmowały intensywnie żółte i zielone kolory, które wyznaczały parametry chromatyczności  $a^*$  i  $b^*$ . U pozostałych badanych *Ilex* sp. ImBP*s* i ImBP*ss* w I i II terminie chroma  $a^*$  wyznaczała żółte widma reflektancji, a  $b^*$  zielone. Nagły spadek temperatury powodował wzrost parametrów chromatyczności i wtedy chromy (żółto-zielone) osiągały najwyższe wartości jak u ImBP, być może było to odpowiedzią na stres. Jednak u ImBP*ss* w II terminie oraz u IcGG w I terminie sytuacja była zupełnie odwrotna. Można tłumaczyć to ogólnie słabszą odpornością tych gatunków na niskie temperatury [Kosiba i in. 2005].

Istnieje więc przekonanie, że gromadzenie czerwonych pigmentów (antocyjanów, betacyjanin lub karotenoidów) u roślin zimozielonych w organach fotosyntetycznych jest odpowiedzią na warunki zimowe w jakich tego typu rośliny muszą przetrwać. Autorzy Hormaetxe i in. [2005], Hormaetxe i in. [2006], ale i Hormaetxe i in. już w 2004 roku w badaniach nad zimozielonym krzewem *Buxus sempervirens* dostrzegli obecność także czerwonych karotenoidów. Wzrost ich zawartości był odpowiedzią na zmniejszoną ilość

światła podczas zimowej aklimatyzacji. W publikacji omówiono także ich fotoprotekcyjną rolę w okresie zimowym liści zimozielonych oraz wpływ tego procesu na szeroką tolerancję ekologiczną tego zimozielonego gatunku. Liście *Buxus* sp. wykazywały duży stopień zmienności fenotypowej stopnia zaczerwienienia od zielonego do żółtego, gdy tkanki fotosyntetyczne przeniesiono z fotoinhibitujących warunków zimowych do temperatury pokojowej przez 9 dni. Następował wzrost czerwonych karotenoidów w warunkach zimowych, a ich synteza wyzwalana była przez nadmiar światła w okresie chłodu. Co więcej, liście *Buxus* nie wykazywały żadnych uszkodzeń, stąd autorzy stwierdzają ochronną rolę czerwonych barwników.

### **Rola barwników roślinnych w warunkach miejskich**

W warunkach miejskich biosynteza i akumulacja antocyjanów może być jednak odpowiedzią rośliny na uszkodzenia mechaniczne takie, które spowodowane są zniszczeniem i przemieszczaniem warstw glebowych w mieście np. w trakcie budowy dróg, układania instalacji oraz innych prac budowlanych, które prowadzi do niszczenia struktury i składu gleb w miastach. Podłoże jest często bardzo złej jakości, zanieczyszczone różnymi odpadami budowlanymi. Wymieszane z nimi gleby miejskie mogą posiadać nieprawidłowy alkaliczny odczyn, co w połączeniu z zasoleniem podczas zimy potęguje skutki np. suszy fizjologicznej. Zmniejszona przepuszczalność ubitej gleby utrudnia wymianę gazową i pojawia się deficyty powietrza. Ograniczony rozwój i funkcjonowanie korzeni w skutek niewystarczającej ilości lub dostępności tlenu w zagęszczonej glebie powoduje mniejszą dostępność składników pokarmowych i wody [Trowbridge i Bassuk 2004, Grzesiuk i in. 2008]. Brak składników mineralnych może prowadzić do zwiększonej wrażliwości na wysokie natężenie światła i prowadzić do indukowania stresu oksydacyjnego w komórkach. Obecność fotoochronnych, naturalnie występujących barwników, takich jak antocyjany może chronić liście roślin zimozielonych przed oksydacyjnymi uszkodzeniami wywołanymi przez nadmierne promieniowanie słoneczne [Adams i in. 2004]. Nawożenie mechaniczne w terenach miejskich jest niewystarczające lub nie występuje wcale. Jest to jeden z najważniejszych elementów uprawy roślin, który zostaje często pomijany, również ze względów finansowych [Suchocka 2011a]. Zwiększona akumulacja antocyjanów jest także skorelowana z poziomem wrażliwości gatunku na czynnik chorobotwórczy i może stanowić wskaźnik odporności lub nadwrażliwości żywiciela [Jacobs 2002, Kangatharalingam i in. 2002].

Rośliny zimozielone wytworzyły szereg procesów i mechanizmów fotoprotekcyjnych m.in w postaci systemu antyoksydacyjnego ze wzmożoną produkcją antocyjanów, cyklu

ksantofilowego czy ekspresji białek ELIP. Należy również wspomnieć o naturalnych mechanizmach protekcyjnych, jakie wytwarza roślina np. poprzez zmianę orientacji liści [Gratani i Ghia 2002]. To tylko część najważniejszych procesów, jakie zachodzą w liściach zimozielonych, a redukują zagrożenia powodowane wpływem zimy oraz nasłonecznienia podczas mroźnej pogody. Zmiany, jakie zachodzą w ultrastrukturze komórek mezofilu i morfologii liści zimozielonych, wynikają ze zmian intensywności i składu spektralnego docierającego do powierzchni liścia światła [Russell i in. 2009, Pilarski i in. 2012].

### **Metoda oceny barwy, a zawartość pigmentów i ich rola w ocenie kondycji roślin**

Zmiany zawartości pigmentów, a także ocena barwy liści metodą spektralną systemu  $L^*a^*b^*$  może dostarczyć informacji dotyczących stanu fizjologicznego roślin. Poziom chlorofilu ma tendencję do zmniejszania się szybciej niż karotenoidów, gdy rośliny są poddane stresowi lub podczas starzenia się liści. Zawartość antocyjanów jest wysoka w młodych liściach lub w liściach roślin, gdzie wzrost został ograniczony przez niską temperaturę i starzenie się liści niektórych gatunków [Liakopoulos i Spanorigas 2012]. W ocenie układu spektralnego intensywności parametrów chromatyczności w ocenie barwy liści rodzaju *Ilex* sp. w okresie prowadzonych badań (jesień-zima) można zauważyć niskie wartości chromy  $a^*$ , tj. widma refleksyjności czerwono-zielonej, a wysokie wartości chromy  $b^*$  czyli barwy niebiesko-żółtej. W ocenie wartości refleksyjności można zaobserwować u *Ilex* sp., że widma refleksyjne chromy  $a^*$  są bardziej czerwone w zimie, a wraz ze wzrostem temperatury i nasłonecznienia, zwiększa się zakres światła zielonego jak u IcGG.

Opracowana metoda pomiaru oceny barwy liści pokazuje, że barwa (widma refleksyjności) może być ściśle skorelowana z zawartością barwników roślinnych. Różnice strukturalne (grubość liści, ich masa, nierówne wybarwienie blaszki liścia) mogą mieć wpływ na zakres widm refleksyjności. Światło odbite bezpośrednio od powierzchni liścia nigdy nie wchodzi do komórek liści, a zatem nie ma wpływu na zawartość pigmentów [Borek i in. 2016, Kalaji i in. 2018].

Tradycyjne metody analizy pigmentów poprzez ekstrakcję i pomiar spektrofotometryczny wymagają zniszczenia liści, a zatem nie pozwalają na pomiar zmian pigmentów w krótkim czasie dla pojedynczego liścia. Ponadto techniki te są czasochłonne i kosztowne, co sprawia, że ogólna ocena stanu roślin i jej ekosystemu jest niepraktyczna. Natomiast pomiar odbicia widmowego w układzie kolorymetrycznym  $L^*a^*b^*$  nie jest inwazyjny dla roślin, jest szybki i może być zastosowany na skalę przestrzenną w warunkach polowych [Sims i Gamon 2002]. Spektrofotometr i obserwator jak opisano w metodzie jest

łatwy do przenoszenia w terenie, a pomiary liści można wykonać w kilka sekund. Może być to bardzo użyteczne w uprawie gruntowej roślin ozdobnych, u których naukowcy oraz szkółkarze chcą zaobserwować zależność pomiędzy zmianą koloru barwy liści ze zmianami barwników roślinnych, a ich reakcją na czynniki stresowe.

### **Pomiar fluorescencji chlorofilu *a***

Metoda pomiaru fluorescencji chlorofilu oparta na pomiarze sygnału fluorescencji chlorofilu *a* jest bardzo popularna z uwagi na wysoką czułość i wiarygodność otrzymanych wyników [Kalaji i in. 2014b]. W fizjologii roślin nieinwazyjny pomiar fluorescencji pozwala na określenie nie tylko aktywności fotosyntetycznej, ale reakcji roślin na stresowe warunki środowiska, jak zacienienie, zanieczyszczone środowisko miejskie, niedobory mikro- i makroskładników, deficyt wody, okresowe susze, nagłe spadki temperatury czy zbyt duże nasłonecznienie [Kalaji 2011].

### **Czynniki stresowe ograniczające przebieg fotosyntezy**

Pomiar fluorescencji chlorofilu jest wykorzystywany do monitorowania reakcji PSII (maksymalnej wydajności fotochemicznej, wyrażanej parametrem  $F_v/F_m$ ) na zmiany w natężeniu PAR (promieniowanie fotosyntetycznie czynne, PAR – z ang. *photosynthetically active radiation*) [Cai i Xu 2002] oraz w składzie spektralnym [Figuroa i in. 2003]. Zażycie PAR jest pożądane, gdyż jest źródłem energii niezbędnej dla rośliny, jednak jego zbyt duża intensywność może być czynnikiem stresowym, powodującym fotoinhibicję. Zbyt wysoka ilość światła powoduje, że część energii nie może być absorbowana przez barwniki fotosyntetyczne, o których była mowa w rozdziale o ocenie spektrofotometrycznej barwy systemu  $L^*a^*b^*$ . Następuje wtedy dysfunkcja aparatu fotosyntetycznego [Strizh i in. 2005]. Jak podają Cetner i in. [2016] nie tylko nadmierne natężenie, ale również spektrum światła może zadziałać hamująco na transport elektronów w zależnej od światła fazie fotosyntezy. Innym czynnikiem, który wpływa na funkcjonowanie PSII są zmiany temperatur, zaobserwowano w doświadczeniu własnym w latach 2014-2015. Występujące zbyt duże różnice temperatur w ciągu jednej doby, a szczególnie wysoka temperatura mogą przejawiać się obniżeniem stosunku zredukowanych akceptorów QA – do centrów reakcji. Wtedy również zmniejsza się maksymalna wydajność kwantowa PSII [Chen i in. 2009]. Borawska-Jarmułowicz wraz ze współautorami [2014] także potwierdzają wpływ niskiej temperatury na wydajność aparatu fotosyntetycznego.

Niedobór wody oraz susza według Stankiewicz [2007] także silnie hamuje proces fotosyntezy. Niedobór wody, często towarzyszący szczególnie roślinom zimozielonym w okresie zimy, a także bezdeszczowej pory jesiennej, uniemożliwia efektywne wykorzystywania pobranej energii świetlnej, co objawia się zwiększonym jej rozpraszaniem poprzez ciepło i zwiększoną fluorescencję [Cetner i in. 2014]. Na podstawie pomiarów fluorescencji chlorofilu Kalaji i Rutkowska [2004], Yang i in. [2008] stwierdzili, że podczas stresu solnego, który często towarzyszy warunkom miejskim zachodzą zmiany w funkcjonowaniu PSII – wykazuje on mniejszą zdolność do wychwycenia energii. Niedobór składników mineralnych w podłożu w warunkach miejskich gdzie sadzone są rośliny ozdobne prowadzi także do zmniejszenia wydajności fotochemicznej PSII [Swoczyna i in. 2010a, Aleksandrov i in. 2014, Kalaji i in. 2014a]. Kalaji [2011] podaje, że niedobór pierwiastków N, P, K, Ca, Mg, S i Fe powoduje inne reakcje rośliny, ale uznaje się, że azot jest głównym czynnikiem limitującym wzrost i plonowanie roślin. Wynika to z faktu, że pierwiastek ten jest jednym z głównych składników budulcowych roślin w tym chlorofili, jak podaje Autor.

#### **Pomiar fluorescencji chlorofilu *a* u *Ilex* sp.**

Zaproponowana metoda fluorescencji chlorofilu *a* w doświadczeniu własnym została zastosowana do selekcji gatunków i odmian rodzaju *Ilex* sp, odpornych na czynniki stresowe w ocenie ich oddziaływania na aparat fotosyntetyczny, jak i na ogólną kondycję roślin. Szczególnie dotyczyło to selekcji w kierunku tolerancji na wahania temperatur w okresie trwania badania w warunkach miejskich.

#### **Maksymalna wydajność fotochemiczna fotosystemu II ( $F_v/F_M$ )**

Literatura poprzedniego wieku według Bjorkmana i Demmig (1987) oraz Johnson i in. (1993), podaje, że optymalny poziom wskaźnika  $F_v/F_M$  kształtuje się na poziomie nie niższym niż 0,83 dla większości roślin. Wartości, które wskazują poniżej tego poziomu świadczą o stresie, a w szczególności o fotoinhibicji [Maxwell i Johnson 2000(B)]. W przeprowadzonych badaniach nad *Ilex* sp. wskaźniki  $F_v/F_M$  (stosunek różnicy fluorescencji maksymalnej i zerowej do fluorescencji maksymalnej) były niższe od 0,83 dla liści wszystkich RZ pomimo, że w miejscu ich występowania na kolekcji dendrologicznej nie można było stwierdzić na liściach widocznych uszkodzeń. Takie wyniki na podstawie wspomnianej literatury mogą sugerować, że wydajność aparatu fotosyntetycznego u badanych RZ nie była sprawna, a w miejscu przeprowadzonego doświadczenia mógł występować czynnik stresowy,

## **Wizja lokalna w kolekcji RZ**

Wizja lokalna w miejscu występowania kolekcji dendrologicznej RZ nie wskazywała na występowanie któregoś z wyżej opisanych czynników stresowych, ani także uszkodzeń roślin z kolekcji *Ilex* sp. Oczywiście, wstępna metoda dysfunkcji metabolizmu i zmian strukturalnych u roślin będąca oceną wizualną, zmiany barwy liści lub zasychania tkanki często jest umowną tylko skalą o której pisze Cetner i in. [2016]. Metoda ta obarczona jest dużym błędem, ponieważ nie wszystkie obserwacje można ocenić obiektywnie. Pomiary temperatury oraz lokalna wizja w miejscu występowania kolekcji dendrologicznej RZ wskazywała, że powodem reakcji obniżonego parametru  $F_v/F_M$  mogło być okresowo zbyt duże natężenie światła podczas, gdy temperatury były stosunkowo niskie. Przebieg temperatury w obu terminach prowadzonych badań wskazywał na dodatnie, ale stosunkowo niskie temperatury zimą oraz wczesną wiosną ( $\sim 3,5^\circ\text{C}$ ) i występowaniem mocnego słońca np. w trakcie wiosennych poranków.

## **Ocena maksymalnej wydajności fotochemicznej PSII ( $F_v/F_M$ )**

Literatura według Bjorkmana i Demmig [1987], ale także Garstka [1999], która potwierdza, że dla zdrowych roślin naczyniowych prawidłowy stosunek  $F_v/F_M$  powinien wynosić 0,83 w przypadku roślin zimozielonych może ich nie dotyczyć lub być nieaktualna. Tylko ImBPs i ImBPss były najbliższe tej wartości, gdyż średnio z całego I terminu pomiarów, wyniki pomiarów fluorescencji wynosiły około 0,80. U wszystkich badanych *Ilex* sp., tj. IcGG, ImBPs i ImBPss w I i w II terminie pomiarów zaobserwowano wspólną tendencję. Wartości maksymalnej wydajności fotochemicznej PSII ( $F_v/F_M$ ) spadały z ok  $\sim 0,81$  od listopada do wartości średnio  $\sim 0,77$  przez okres zimy i ponownie rosły do  $\sim 0,82$  w maju w miarę wzrostu temperatury i ocieplania się klimatu. Intensywność fluorescencji ulega różnym modyfikacjom w zależności od czasu trwania i natężenia ewentualnego stresu. Jeszcze zanim pojawią się widoczne symptomy uszkodzeń można wykryć zmiany u roślin w warunkach stresu stosując omawiany pomiar fluorescencji chlorofilu [Lichtenthaler 2007]. Autorzy Baker i Rosenquist [2004] oraz Kalaji i Guo [2008] piszą, że nie można za pomocą fluorescencji chlorofilu określić charakteru stresu. Może służyć jako kryterium do selekcji, np. w hodowli roślin czy ochronie środowiska lub też ogólnego stanu fizjologicznego roślin, szczególnie w celu optymalizacji warunków ich przechowywania czy wzrostu. Podobnie stwierdziła Bączek-Kwinta i jej współautorzy [2011] w publikacji o *Chamomilla recutita*, pytając czy parametry fluorescencji mogą być pierwszymi wskaźnikami plonowania tych roślin pod wpływem stresu jakim jest susza. Z danych uzyskanych przez autorów pracy, ale także z kolejnego doniesienia



Bączek-Kwinta i Kozieł [2010] wynika, że nie można na podstawie parametrów fluorescencji chlorofilu oszacować plonowania niemieckiego rumianku (*Chamomilla recutita*). Kwitnienie to proces złożony, zależny od fotosyntezy, a w rumianku prawdopodobnie zależny od wykorzystywania cukrów w formowaniu koszyczków kwiatostanu. W związku z tym istotny statystycznie spadek wartości  $F_v/F_M$  u wszystkich badanych *Ilex* sp. w okresie jesienno-zimowym niekoniecznie może świadczyć o występującym stresie, który wpłynąłby na obniżenie tego parametru. Mimo że odnotowano częste fluktuacje temperatur z dodatnich na ujemne, szczególnie w II terminie pomiarów, obniżenie maksymalnej wydajności PSII mogło świadczyć o „wyciszaniu” aparatu fotosyntetycznego na okres miesięcy zimowych. Takiego typu wzrost wygaszania aparatu zauważyli także Kalaji i Rutkowska [2004] oraz Yang i in. [2008]. Oczywiście parametr  $F_v/F_M$ , wyznaczany dla roślin jest uznawany cały czas za wiarygodny i stosowany w celu określenia aktywności fotosyntetycznej roślin [Kalaji i Łoboda 2010]. Inni autorzy [Rapacz i in. 2008], badali zjawisko aklimatyzacji jęczmienia ozimego do niskiej temperatury, wskazując, że jest warty uwagi i użyteczny.

### **Ocena wskaźnika funkcjonowania fotosytemu II (PI)**

Potwierdzeniem możliwego wygaszania aparatu fotosyntetycznego u tego typu roślin o liściach zielonych cały rok (RZ) jest przeanalizowanie wskaźnika funkcjonowania fotosystemu II PI tj. Performance Index. Według Kalaji i jego współautorów [2018] PI jest najbardziej wrażliwym parametrem na zmiany środowiskowe w różnych warunkach, ponieważ reprezentuje ogólną aktywność PSII. Hermans i in. [2003] także uważają, że PI jest jednym z najbardziej wrażliwych parametrów testu OJIP (testu witalności) [Živčák i in. 2015], który obejmuje obserwacje zmian fluorescencji związane z modyfikacjami konformacji anteny fotosyntetycznej i energii fluktuacji. Dlatego też umożliwia określenie witalności roślin.

Performance Index u IcGG wskazywał na większe różnice statystyczne w I terminie pomiarów pomiędzy datami pomiarów. Jednak II termin doświadczenia okazał się dla niego oraz dla pozostałych badanych *Ilex meserveae* bardzo podobny. W I terminie obserwowano znaczne obniżenie PI w kwietniu z 04.04.2014 na 08.04.2014, a temperatura była cały czas stała  $\sim 0,3^\circ\text{C}$ , nie odnotowano żadnej nagłej zmiany temperatury. W II terminie pomiarów wszystkie trzy RZ (IcGG, ImBP, ImBPss) odznaczyły się lepszą tolerancją na niekorzystne warunki pogodowe doświadczenia niż w I terminie. Świadczą o tym mniej drastyczne spadki wartości parametru PI dla wszystkich badanych RZ. Wskaźnik funkcjonowania fotosystemu II (PI) podobnie jak  $F_v/F_M$  obniżał się od listopada, a potem podnosił w miarę ocieplania klimatu. Bach i in. [2006] wykazali w badaniach terenowych zieleni miejskiej Krakowa, że wraz

z chłodnymi dniami u *Acer platanoides*, *Tilia cordata* i *Fraxinus excelsior* następowało obniżenie wartości parametrów fluorescencji chlorofilu *a* w badanych liściach, niekoniecznie pod wpływem czynnika stresowego. Wśród roślin pochodzących z rejonu Morza Śródziemnego, Oliveira i Peñuelas [2000] także dowiedli na podstawie badań u zimozielonych *Quercus ilex* i *Cissus albidus*, że nastąpiło obniżenie sprawności PSII, wyrażone stosunkiem  $F_v/F_M$  w okresie zimowym, kiedy wystąpiły chłodne dni. Możliwe, że aparat fotosyntetyczny u tego typu roślin także pozostaje uśpiony w okresie zimowym dla tego klimatu.

Badane odmiany *Ilex* sp. wywodzą się z tego samego obszaru geograficznego (Azja Południowo-Wschodnia), w tym odmiany *Ilex meserveae* (mieszaniec z Japonii i Sachalinu) 'Blue Prince' i 'Blue Princess' wprowadzone do uprawy jako amerykańskie odmiany [Seneta i Dolatowski 2011]. W związku z tym stanęły przed podobnymi wyzwaniami klimatycznymi. Badanie pokazuje, że pomimo spełnionych podobnych warunków klimatycznych w kolekcji dendrologicznej RZ odmiany opracowały podobne mechanizmy. Drugi termin pomiarów okazał się być dla nich bardziej korzystny. Zarówno parametr  $F_v/F_M$  i PI wykazywał mniejsze spadki pod wpływem temperatury, pomimo że w I terminie zaobserwowano mniejsze wahania temperaturowe niż w II.

Zastosowane techniki pomiaru fluorescencji u roślin zimozielonych znajdują coraz szersze zastosowanie w uprawie roślin ozdobnych. Brak jest jednak jednoznacznych doniesień na tego typu roślinach o liściach zimozielonych. Za pomocą parametrów fluorescencji można dokładnie monitorować zmiany zachodzące w uprawach gruntowych na różnych etapach produkcji roślinnej. Jest to uniwersalny i bardzo szybki sposób oszacowania oraz określania wpływu różnych niesprzyjających warunków środowiska, jak wahania temperaturowe, na sprawne funkcjonowanie aparatu fotosyntetycznego. Techniki te umożliwiają wczesne zdiagnozowanie wpływu czynnika stresowego za nim wystąpią wizualne zmiany. W przypadku roślin zimozielonych wymaga to dalszych obserwacji.

### 5.3. OCENA KONDYCJI LIŚCI ZIMOZIELONYCH KRZEWÓW *ILEX CRENATA*

Tereny zieleni osiedlowej stanowią dla mieszkańców miasta najbardziej dostępną formę rekreacji. Odpowiadające potrzebom społecznym odpowiednie ich ukształtowanie może mieć istotny wpływ lub częściowy na pokonanie skutków urbanizacji, prowadząc do poprawy warunków życia mieszkańców miasta. Obecnie tereny zieleni miejskiej jak i osiedlowej stały się dobrem coraz bardziej docenianym [Lis i Burdziński 2007].

Wpływ na jakość życia mieszkańców miasta i ich stan psychofizyczny mają tereny zieleni w przestrzeni osiedlowej. Zieleń ta musi mieć nie tylko zdolność regeneracyjną pod

względem biologicznym, ale także pełnić rolę relaksu oraz wypoczynku biernego i aktywnego oraz przede wszystkim faktycznie lub potencjalnie odgrywać pozytywną rolę w budowaniu więzi społecznych [Latkowska 2011, Rzeszotarska-Pałka 2012 ].

Biorąc pod uwagę obecny stan terenów zieleni w dużych miastach polskich, w tym w Krakowie, ich pozytywne działanie ma w wielu przypadkach raczej charakter potencjalny niż faktyczny. Szczególnie niekorzystnie przedstawia się sytuacja terenów na obszarach zabudowy śródmiejskiej i w centrach miast. Do określania kondycji roślin oraz stanów stresowych stosuje się wiele metod badawczych. Badania dotyczące wpływu warunków miejskich na krzewy prowadzone są zarówno w terenie (*in situ*), jak i w kontrolowanych warunkach (doświadczenia wazonowe) [Malinowska 2012]. Na podstawie doświadczeń przeprowadzonych w warunkach kontrolowanych nie jesteśmy jednak w stanie określić wpływu całego kompleksu czynników na wzrost i rozwój roślin miejskich. Zatem uzasadnione są badania szczególnie roślin typu zimozielonych w warunkach oddziaływania wszystkich czynników środowiska zurbanizowanego.

Podjęto więc badania na terenie osiedla 'Wiślane Tarasy', zlokalizowanego w pobliżu Ronda Grzegórzeckiego w Krakowie w samym centrum miasta. Wśród zinwentaryzowanych roślin zimozielonych na terenie 'Wiślanich Tarasów' szczególnej obserwacji poddano ostrokrzew karbowanolistny w odmianie 'Golden Gem' (*Ilex crenata* 'Golden Gem' – IcGG).

Ostrokrzew karbowanolistny w odmianie 'Golden Gem' to karłowaty, zimozielony krzew z szeroko rozestawionymi pędami. Posiada eliptyczne i błyszczące liście koloru żółto-zielonego. Kwiaty białe, niepozorne, pojawiają się w maju [Lorberg 2010]. Przypomina bukszpan i posiada jego wszystkie najlepsze cechy, jest jednak od niego znacznie bardziej odporny na choroby. Bardzo dobrze znosi formowanie, szybko się regeneruje i ma zwarty pokrój, jest więc idealną rośliną do tworzenia obwódek oraz skomplikowanych rzeźb ogrodowych. Według Katalogu Roślin Szkołkarskich: Drzewa, krzewy i byliny, Związku Szkołkarzy Polskich, jest wrażliwy na mrozy i został zakwalifikowany do strefy mrozoodporności 7A (-17C/-15C).

Cała rodzina *Ilex* sp. preferuje stanowiska słoneczne lub półcieniste. W cieniu jego wzrost jest wolniejszy, a pokrój mniej zwarty. Dobrze rośnie na glebach średnio żyznych o umiarkowanej wilgotności. Ma szeroką tolerancję jeśli chodzi o pH podłoża, co jest niezmiernie ważne szczególnie w środowisku miejskim. *Ilex crenata* 'Golden Gem' cechuje się dobrą mrozoodpornością. Wytrzymuje spadki temperatur do -27°C. Jednak to nie mrozoodporność odgrywa kluczową rolę, a obecność np. wiatrów i ich wpływ na rośliny zimozielone [Seneta i Dolatowski 2011].

*Ilex crenata* 'Golden Gem' na terenie osiedla 'Wiślane Tarasy' zinwentaryzowano w 8 miejscach. Wzięto jednak pod uwagę 6 stanowisk (1,2,4,5,7,8) i poddano je badaniom Fluorescencji chlorofilu *a*, aparatem Handy PEA (Handy Plant Efficiency Analyzer) firmy Hansatech.

*Ilex crenata* 'Golden Gem' na stanowisku 1 występował na skarpie zewnętrznej między blokiem, a ogrodzeniem, pod okapem innych krzewów. Stanowisko było to cieniste oraz w miejscu korytarza wietrznego. Stanowisko 2 obejmowało rośliny na tej samej skarpie, jednak rosły bez towarzystwa innych krzewów, odsłonięte. Kolejnym zbadanym stanowiskiem gdzie pojawił się IcGG był dziedziniec tego osiedla (centrum Wiślanych Tarasów). *Ilex crenata* 'Golden Gem' ze stanowiska 4 występował na skarpie o wystawie słonecznej, a w pobliżu na stanowisku 5 występował także na skarpie, ale w cieniu, gdzie panowała tzw. „studnia”. Miejsce to charakteryzowało się brakiem wiatru i „stojącym powietrzem”. IcGG ze stanowiska 7 występował w nasadzeniach w formie pasów na trawniku, w sąsiedztwie krzewów na terenie płaskim. W pobliżu, ten sam gatunek na stanowisku 8 posadzony był w tzw. betonowych rabatach w miejscu odsłoniętym, także na terenie płaskim. Stanowiska 7 i 8 występowały w pobliżu rzeki Wisły.

Na podstawie badań parametrów fluorescencji chlorofilu *a* w opisanych stanowiskach odnotowano wiele różnic w reakcji aparatu fotosyntetycznego na warunki jakie panowały w miejscu występowania IcGG.

Poziom fluorescencji maksymalnej ( $F_M$ ) czyli w momencie, gdy wszystkie plastochinony PSII są zredukowane, był wyższy na stanowiskach 1, 4, i 7 w stosunku do pozostałych stanowisk. Wartość tego parametru zależy głównie od zawartości chlorofilu w liściach. Oznacza to więc, że IcGG, który rósł pod okapem innych krzewów, będąc osłonięty od wiatrów (1), a także na słonecznej skarpie w miejscu bezwietrznym (4) oraz na terenie płaskim na trawniku pod krzewami, osłonięty od wiatrów od strony rzeki Wisły (8), miał wyższy wskaźnik chlorofilu. Zmniejszone wartości  $F_M$  u IcGG w pozostałych stanowiskach mogą świadczyć o działaniu na nich czynnika stresowego, tj. wiatru, braku dostępu światła, tzw. „studni”, którego działanie uniemożliwia zredukowanie wszystkich akceptorów elektronów. W tym przypadku rośliny z tych stanowisk wyglądały gorzej wizualnie [Kalaji i Łoboda 2010, Hussain i Reigosa 2011].

Kolejnym analizowanym parametrem w tej pracy była fluorescencja zmienna ( $F_V$ ), czyli różnica wartości fluorescencji maksymalnej i początkowej, wyznaczonej po adaptacji ciemniowej. Niskie wartości  $F_V$  liści roślin IcGG na stanowisku 2, 5 i 8 w stosunku do

pozostałych stanowisk mogą sugerować obniżoną aktywność fotoukładu, co związane jest z rozpraszaniem energii w postaci ciepła [Niemczyk 2009].

Analizie poddano także  $F_v/F_M$  czyli maksymalną fotochemiczną wydajność fotosystemu II – parametru, który uznawany jest jako wskaźnik fotochemicznej aktywności aparatu fotosyntetycznego. Obniżenie tego parametru według Kalaji i Łobody [2010] może świadczyć o wystąpieniu czynnika stresowego, takiego jak np. susza czy nadmierne promieniowanie świetlne. Jednak u badanych IcGG na wszystkich stanowiskach zarejestrowano podobne wartości względem porównywanych do siebie. Wyniki  $F_v/F_M$  nie różniły się statystycznie w obszarze porównywanych stanowisk czyli 1 i 2, 4 i 5, 7 i 8. Colom i in. [2003] pisali, że dla zdrowych roślin naczyniowych prawidłowy stosunek  $F_v/F_M$  powinien wynosić 0,83. Najbliżej tej wartości są wyniki z pomiarów fluorescencji IcGG ze stanowiska 1 (0,70). Pozostałe wartości  $F_v/F_M$  u IcGG na pozostałych stanowiskach wynoszą poniżej 0,70. Należy pamiętać, że rośliny tego typu, czyli zimozielone, jesienią oraz porą zimową wykazują niskie wartości tego współczynnika, nawet poniżej 0,70, a związane to jest z wygaszaniem fotochemicznym aparatu fotosyntetycznego. Wyżej opisywane pomiary wykonywane były jednak w sezonie letnim. Takie niskie wartości  $F_v/F_M$  mogą świadczyć o ich gorszej kondycji w tym okresie. Należy jednak podkreślić, że IcGG na stanowiskach 1, 4 i 7 prócz niskich wartości  $F_v/F_M$  przyjmował wyższe wartości pozostałych parametrów fluorescencji w opozycji do pozostałych stanowisk występowania IcGG.

Warto także poddać analizie współczynnik PI (Performance Index), czyli wskaźnik funkcjonowania fotosystemu II. Stanowi kombinację całkowitej liczby aktywnych centrów reakcji, wydajności fotochemicznej oraz sprawności transportu elektronów [Appenroth i in. 2001]. W badanych stanowiskach występowania IcGG zarówno  $F_v/F_M$  i PI nie różniły się istotnie statystycznie od pozostałych parametrów w stosunku do pozostałych współczynników testu JIP. Jednak ich wartości były niskie. Najwyższą wartość PI odnotowano tylko u IcGG na stanowisku 4 (słonecznej skarpie, dziedzińcu osiedla) - 6,67, najmniejszą zaś na stanowisku 5 - 0,21, tj. grupie tych samych roślin w tym samym miejscu, tylko w cieniu w tzw. studni, terminologii wcześniej wyjaśnianej. Według Kalaji i Łobody [2010] na obniżoną wartość PI może mieć wpływ zawartość chlorofilu. Podobną tendencję wykazał parametr  $F_v/F_M$ . Hermans i in. [2003] podają, że PI jest jednym z najbardziej wrażliwych parametrów testu OJIP. Performance Index wskazuje na postępujące zmiany fluorescencji związane z modyfikacjami konformacji anteny fotosyntetycznej i energii fluktuacji.

Kolejnym spośród mierzonych parametrów była wartość parametru  $A_m$  (Area), określanego polem powierzchni nad krzywą indukcji fluorescencji chlorofilu  $a$ , który jest

wprost proporcjonalny do liczby akceptorów elektronów w PSII. Area jest zależny więc od fluorescencji maksymalnej ( $F_M$ ). Szybki wzrost fluorescencji maksymalnej ( $F_M$ ) powinien odpowiadać zmniejszeniu się powierzchni Area nad wykresem i wykazywać niską wartość tego parametru [Kalaji i Łoboda 2010]. Zaobserwowano u IcGG rosnących w obiekcie 1, 4 i 7 wysokie wartości  $F_M$ , które odpowiadają także wysokim wartościom parametru  $A_m$ , na tych samych stanowiskach. Analogicznie, niskie wskaźniki  $A_m$  na stanowiskach 2, 5 i 8 odpowiadały niskim wartościom  $F_M$  w tym samym miejscu występowania.

Ocena stanu fizjologicznego aparatu fotosyntetycznego wykonana została także na podstawie analizy parametrów testu OJIP. Sam test OJIP pozwala zrozumieć zależność między strukturą i funkcją aparatu fotosyntetycznego oraz oszacować witalność roślin [Sulkiewicz i Ciereszko 2016]. Na podstawie analizy wskaźników testu JIP możemy ocenić funkcjonowanie PSII. Parametry charakteryzujące absorpcję energii PAR oraz transport elektronów używane w teście JIP dzielą się na specyficzne (przeliczone na centrum reakcji – RC), oraz fenomenologiczne (przeliczone na wzbudzoną powierzchnię – CS) fotosyntetycznej próbki [Strasser i in. 2004].

W badaniach nad IcGG analiza sygnału fluorescencji chlorofilu wskaźników z testu OJIP wykazała, że parametry takie jak: ABS/CS, TRo/CS, ETo/CS, DIo/CS, RC/CS<sub>o</sub>, RC/CS<sub>m</sub>, które są wykorzystywane do oceny funkcji fotoukładu II, okazały się bardziej czułe na możliwe występujące czynniki stresujące w miejscach występowania IcGG niż podstawowe wskaźniki fluorescencji chlorofilu ( $F_V/F_M$  oraz PI). Takimi czynnikami mogły być silne wiatry, np. w korytarzach, gdzie panowały przeciągi, nadmierna ekspozycja światła, albo zbyt duża ilość cienia na dziedzińcu osiedla w tzw. studni. W doświadczeniu wykazano, że u badanych IcGG na wszystkich stanowiskach (1-8) parametry  $F_V/F_M$  oraz PI nie różniły się statystycznie. Jednak interpretacja wskaźników testu OJIP wskazuje, że IcGG na stanowiskach 2, 5 oraz 8 rośnie znacznie gorzej niż na pozostałych. Wartości parametrów OJIP są znacznie wyższe w przebiegu fluorescencji na stanowiskach 1, 4 oraz 7. Można zatem jednoznacznie stwierdzić, że IcGG preferuje stanowiska pod okapem innych roślin, a jeśli słoneczne to w miejscu gdzie nie ma wiatru oraz przeciągów.

Na zamieranie lub niewłaściwy wzrost roślin zimozielonych w tym badanego *Ilex crenata* 'Golden Gem', szczególnie zlokalizowanych w terenach zieleni osiedlowej, zasadniczo wpływa degradacja ich siedliska, jak również niewłaściwy dobór roślin do istniejących warunków. Często niestety dobór krzewów do nasadzeń miejskich odbywa się na podstawie ich cech kształtujących walory estetyczne. Skutkiem jest szybkie zamieranie gatunków krzewów do wybranych nasadzeń. Dotychczas opracowany uniwersalny dobór gatunków

krzewów zimozielonych dla warunków miejskich Polski według klasyfikacji Katalogu Roślin Szkółkarskich: Drzewa, krzewy i byliny, Związku Szkółkarzy Polskich, zdaje się być już nieaktualny dla panującego klimatu w Polsce. Próbę takiego doboru dokonał także Łukasiewicz [2010], na podstawie wieloletnich badań własnych i innych badaczy. Opracował wykaz gatunków krzewów, w tym także drzew najbardziej odpornych, średnio odpornych oraz najbardziej wrażliwych na działanie kompleksu czynników środowiska miejskiego. Jednak dziś wydaje się to także nieaktualne, chociażby ze względu na brak jasno występujących pór roku. Niezależnie od tego, każde miasto powinno mieć własną listę gatunków krzewów w tym zimozielonych dopasowanych do lokalnych warunków. Przy opracowywaniu doboru powinno się uwzględnić także gatunki lokalne, sprawdzone pod względem ich przydatności w konkretnej lokalizacji [Baranowski 2010].

#### 5.4. OCENA KONDYCJI LIŚCI ZIMOZIELONYCH KRZEWÓW *ILEX MESERVEAE*

*Ilex x meserveae* sp. – ostrokrzew Meservey jest mieszańcem *Ilex aquifolium* i *Ilex rugosa*. W warunkach naszego klimatu uznaje się go za odpornego na mróz i wysuszające wiatry [Seneta i Dolatowski 2011]. Czekalski [2015] opisuje za najlepsze warunki dla ostrokrzewu kolczastego stanowiska szczególnie osłonięte od zachodniego wiatru. Píše, że to właśnie od zachodu wieją najbardziej wysuszające wiatry. Zaleca korzystnie sadzić ostrokrzewy od wschodu, za jakimś zacisznym miejscem. W przypadku przeprowadzonych badań była to klatka schodowa z tyłu budynku. Występowanie silnych wiatrów może być dodatnio skorelowane ze średnią masą świeżych liści, którą obliczono dla badanych *Ilex meserveae* sp. Innymi słowy, wraz z występującymi mocnymi wiatrami lub przeciągami komunikacyjnymi masa liści jest mniejsza. W niniejszej pracy wykazano więc, że największą masę świeżych liści miał krzew na stanowisku 3 (ImBPss), rosnący w miejscu zacisznym bez przewiewów. Natomiast najniższą średnią świeżą masą charakteryzował się krzew na stanowisku 1 (ImBPss), tj. w miejscu, gdzie występował silny wiatr i słabe oświetlenie. Bezpośrednie działanie wiatru na roślinność ma postać fizjologiczną i mechaniczną. Fizjologiczne działanie wiatru polega na zintensyfikowaniu transpiracji. Silny wiatr zwiększa proces transpiracji, ponieważ zmniejsza się wówczas wilgotność powietrza znajdującego się nad powierzchnią liścia [Simonin i in. 2015]. Dlatego działalność wiatru, która mogła wzmacniać transpirację zaobserwowano poprzez najmniejszą średnią masę świeżych liści u ImBPs, która na stanowisku 1 była prawie dwa razy mniejsza niż na stanowisku 3.

Obecność fotoprotekcyjnych antocyjanów w liściach przyczynia się zapewne do ograniczenia uszkodzeń aparatu fotosyntetycznego powstałych pod wpływem stresu świetlnego

[Neill i Gould 2003, Hughes i in. 2005]. Wysoki poziom antocyjanów jest także często dodatnio skorelowany z wyższą odpornością danej rośliny na chłód, deficyt wody lub zasoleniem gleby [Grzesiuk i in. 2008].

Fotoprotekcyjną rolę antocyjanów jako ochronę przed szkodliwym działaniem UV opisywał m.in. Pilarski i in. [2012]. Autorzy wykazywali, że barwniki te zmniejszają transmisję promieniowania UV przez epidermę przy jednoczesnej przepuszczalności promieniowania PAR i w związku z tym chronią DNA i aparat fotosyntetyczny przed uszkodzeniami. Dlatego też ich wzmożoną akumulację w liściach zaobserwowano na stanowisku 2, niezależnie od formy (męska czy żeńska). Z kolei niski współczynnik PPFd odnotowano u ImBPss na stanowisku 1 (cienistym).

W badaniach nad *Galax urceolata*, wiecznie zielonym ziele pochodzącym z Appalachów, Hughes wraz z in. [2005] poddali go działaniu długich okresów z niskimi temperaturami oraz silnego działania światła. Zaobserwowali, że *Galax* wytwarza antocyjany w najbardziej zewnętrznych komórkach mezofilu, powodując, że liście zmieniają swój odcień z zielonego na czerwony. Liście, które pozostały w cieniu były jednak zielone. Wiosną zawartość antocyjanów zmniejszyła się wraz z nadejściem wysokich temperatur i liście wróciły do swej zielonej barwy. Pojawienie się antocyjanów pokrywa się z przewidywalnie niską temperaturą i wysokim światłem oraz pełni funkcję filtrów światła lub/i przeciwutleniaczy w obrębie tkanek liści *Galax*.

Feild i in. [2001], Hoch i in. [2001], Lee i Gould [2002], Neil i Gould [2003] wysunuli hipotezę sugerując, że antocyjany znajdujące się w obrębie miękiszu palisadowego w jego górnej części obwodowej, czyli adaksjalnej stronie liści narażonej na wysokie nasłonecznienie, działają jak filtry światła, pochłaniając światło niebieskozielone, stąd czerwone zabarwienie antocyjanowe uwidacznia się po abaksjalnej stronie liścia. Na stanowisku 2 stwierdzono za pomocą analizy obrazu WinDIAS wysokie zawartości przebarwień antocyjanowych po abaksjalnej stronie liści form 'Blue Prince' oraz 'Blue Princess', natomiast program ImageJ pokazał odwrotnie. Powierzchnie antocyjanowe przyjmowały wyższe wartości po adaksjalnej stronie liści. Warto zauważyć, że w tym miejscu zanotowano najwyższe wartości gęstości strumienia fotosyntetycznych fotonów (PPFD). Powierzchnie antocyjanowe były w większości znacznie większe po abaksjalnej stronie liści niż na adaksjalnej w przypadku analizy WinDIAS. Tak było na stanowisku 2 i 3. Kolejni autorzy badań nad lokalizacją antocyjanów w liściach Sims i Gamon [2002] dowiedli w swych badaniach liści wielu gatunków, że antocyjany były rozmieszczone w większej ilości w górnej części blaszki niż w dolnej, gdzie jak autorzy twierdzą ich istnienie jest najbardziej pożądane jako „ekrany tłumiące światło”. Takie wyniki



pokazała analiza obrazów liści *Ilex meserveae* sp. w ImageJ. Odnosząc to do badań prezentowanych w niniejszej rozprawie należy zauważyć, że rośliny stanowiska 2 rosły wzdłuż chodnika przy ulicy i właściwie z każdej strony narażone były na działanie stresu świetlnego, szczególnie w niskiej temperaturze jako rośliny zimozielone. Zaskakujące jest, że właściwie przeprowadzono tak niewiele badań nad rolą funkcjonalną antocyjanów w zależności od ich lokalizacji w blaszce liściowej, szczególnie na roślinach zimozielonych, które sezonowo muszą znosić stres związany z nadmiernym natężeniem napromieniowania połączonym z niskimi temperaturami.

Warto także nadmienić o obecności cukrów w liściach, które zapobiegają zamarzaniu tkanek podczas zimy, co jest szczególnie ważnym procesem u roślin typu zimozielonych. Gollop i in. [2002] w badaniu nad *Vitis* wykazali, że wysoka zawartość sacharozy w połączeniu ze światłem będzie indukować także syntezę antocyjanów. Być może wzrost poziomu cukrów rozpuszczalnych, który występuje w zimie u *Galax* pełni podwójną funkcję. Działa jak kriptotektant oraz stanowi sygnał chemiczny do inicjowania syntezy antocyjanów w obecności światła. Badania nad *Galax urceolata* wyjaśniają, że wysokie wartości PPFD w lecie nie indukują produkcji antocyjanów (większość cukrów przechowywana jest jako skrobia), to samo dotyczy liści, które są w miejscu zacienionym. O zawartości barwników jako podstawy do interpretacji niektórych parametrów fluorescencji, ale także oceny stanu fizjologicznego i ryzyka uszkodzenia aparatu fotosyntetycznego pisali także Bączek-Kwinta i in. [2011] oraz Borek i in. [2016].

Należy wspomnieć także, że temperatura na stanowisku 2 i 3 była nieco niższa niż na stanowisku 1. Synteza antocyjanów jest także związana z temperaturą. Można to zaobserwować po nagłym, ale i krótkotrwałym działaniu niskich temperatur jak i w warunkach sezonowego obniżenia [Sharma i in. 2015]. Przykładowo kilkudniowe etiolowane siewki roślin *Pinus banksiana* wystawione na światło gromadziły dwukrotnie więcej antocyjanów w temperaturze 5°C niż w 15°C. Podobnie zareagowały siewki gorczycy (*Sinapis alba*) w temperaturze 20°C i 30°C oraz siewki *Polygonum cuspidatum*, które w temperaturze 5°C nagromadziły antocyjany w górnej części hypokotyla i w liścieniach, a przy 25°C ich kumulacja była znacząco niższa [Grzesiuk i in. 2008]. W przypadku badanych w niniejszej pracy *Ilex* sp., rośliny ze stanowiska 2 miały wyższą zawartość antocyjanowych zabarwień w liściach w temperaturze średnio 6°C i pod wpływem wysokiego PPFD niż te ze stanowiska 3 o podobnej temperaturze, ale w warunkach niższego PPFD i półcienistego stanowiska. Utwierdza to w przekonaniu, że wspomniane barwniki będą pełniły przede wszystkim rolę fotoprotektanta dla liści.

W badaniach nad kolejnym zimozielonym krzewem *Buxus sempervirens* autorzy Hormaetxe i in. [2004] zaobserwowali czerwone zabarwienie liści *Buxus* jesienią oraz zimą, które wynikało z syntezy nie tylko antocyjanów, ale i tzw. czerwonych karotenoidów. Te ostatnie występują bardzo rzadko, jedynie u niektórych taksonów. Liście *Buxus* wykazywały duży stopień zmienności fenotypowej stopnia zaczerwienienia, od zielonego przez pomarańczowy do czerwonego. Stężenie czerwonych karotenoidów i antocyjanów również wzrastało wraz z natężeniem napromieniowania w warunkach zimowych i było dodatnio skorelowane z innymi mechanizmami fotoprotekcyjnymi. Badacze udowodnili, że zimozielone liście mają zdolność do absorbowania zielonego światła i odbijania czerwonego światła oraz lokalizacji tych barwników w górnej warstwie mezofilu. Dlatego też czerwone karotenoidy *Buxus* są także potencjalnie w stanie chronić aparat fotosyntetyczny, tworząc tzw. filtry pasywne i zmniejszając ilość zielonego światła w dolnych, gąbczastych komórkach mezofilu. Do tej pory główna rola fotoprotekcyjna przypisywana była rodoksantynie [Han i in. 2003] i antocyjanom [Pietrini i in. 2002], natomiast autorzy badań nad *Buxus* poszli o krok dalej i pokazali, że to dodatkowy udział czerwonych karotenoidów jest prawdopodobnie niezbędny dla szerokiej tolerancji ekologicznej *B. sempervirens*.

*Ilex meserveae* jest zimozielonym krzewem o szerokiej amplitudzie ekologicznej, który jest w stanie rosnąć w wysoce kontrastujących środowiskach, takich jak cieniste lasy jodłowe, podszycia górskie, atlantyckie klimaty np. Wielkiej Brytanii, południowej ciepłej Europy czy upalnej Afryki [Seneta i Dolatowski 2011]. W konsekwencji jego długowieczne liście muszą być w stanie poradzić sobie z szerokim zakresem stresów środowiskowych. W moich badaniach wykazano również, że posiada on wysokie zdolności fotoprotekcji. Fotoprotekcja jest osiągnięta przez dwa główne mechanizmy: zmniejszenie fotochemicznej wydajności energii świetlnej, a w konsekwencji produkcję reaktywnych form tlenu (ROS) związanych z działaniem tak zwanego cyklu ksantofilowego oraz bezpośrednią detoksykację ROS przez skuteczny system antyoksydacyjny utworzony przez kilka szlaków enzymatycznych i fizjologiczne cząsteczki antyoksydacyjne [Hormaetxe 2006]. Krótko mówiąc, niskie temperatury hamują reakcje karboksylacji w cyklu Calvin-Bensona, ale nie wpływają na wychwytywanie fotonów i transport elektronów; ten brak równowagi w absorbcji energii w porównaniu z przetwarzaniem fotochemicznym skutkuje większym odsetkiem zamkniętych ośrodków reakcji, zwiększoną energią i przeniesieniem elektronu do tlenu cząsteczkowego przez chlorofil, wytwarzaniem rodnikowych form tlenu (ROS) i ostatecznie powodując uszkodzenia fotooksydacyjne. Dlatego też gatunki zimozielone o zmniejszonej zdolności do wiązania węgla w zimie muszą regulować mechanizmy chroniące przed fotoprotekcją, aby

załagodzić potencjalnie szkodliwy brak równowagi między wychwytywaniem, a przetwarzaniem energii fotonów [Adams i in. 2004, Hughes i in. 2012]. Wysokie wartości PPFD na stanowisku 2 u *ImBPss* i *ImBPs* mogły wiązać się z powstaniem zjawiska fotoinhibicji u tych roślin, tym samym powodując uszkodzenie aparatu fotosyntetycznego jako stres świetlny.

Należy także pokrótce wspomnieć o mechanizmach takich jak ruchy chloroplastów [Wada i in. 2003] czy zmiana położenia liści [Gratani i Ghia 2002], które również przyczyniają się znacząco do fotoprotekcji.

Na akumulację antocyjanów w roślinach wpływają też inne czynniki biotyczne i abiotyczne. Rola światła w biosyntezie i akumulacji antocyjanów wydaje się być bardzo ważna szczególnie u roślin zimozielonych, których liście narażone są cały rok na działanie niekorzystnych warunków środowiska. Spośród wszystkich badanych *Ilex meserveae* sp. oraz stanowisk ich występowania wydaje się, że to badane stanowisko 3 jest najbardziej korzystne dla tego typu roślin. Natomiast gromadzące się antocyjany u roślin na stanowisku 2 pełnią przede wszystkim funkcję fotoprotekcyjną, ale być może także przeciwutleniającą i antybakteryjną. Omawiane wyżej barwniki działają bowiem także jak naturalne substancje, które wpływają na odporność roślin na atak owadów i patogenów [Bołonkowska i in. 2011], co w ekosystemie miejskim może być ważne także w związku z zanieczyszczeniem powietrza wywołującym uszkodzenia liści i sprzyjające infekcjom.

Badany *Ilex meserveae* sp. na stanowisku 2 występował w formie żywopłotu. To tam zaobserwowano akumulację antocyjanów na abaksjalnej i adaksjalnej stronie liścia, jako mechanizm ochronny w związku z wysokimi wartościami PPFD. Żywopłoty są szczególnie ważne w kontekście miejskim ze względu na to, że zajmują mało miejsca, pod względem szerokości, a wraz z zielonymi ścianami i dachami mogą mieć w przyszłości większe znaczenie dla zapewnienia w mieście efektywnej zielonej infrastruktury [Pugh i in. 2012, Haaland i van den Bosch 2015]. Obecna polityka proekologiczna, świadcząca różne usługi związane z zarządzaniem terenów zieleni miejskiej próbuje spełnić kluczowe kryteria dotyczące jakości powietrza, bioróżnorodności, unikania powodzi, ale także zapewnić mieszkańcom miast korzyści społeczne i rekreacyjne [Dunn 2010]. Żywopłoty odgrywają kluczową rolę, zwłaszcza te, które tworzą gatunki roślin zimozielonych o całorocznym ulistnieniu. Mimo to istnieje ograniczona dokumentacja dotycząca doboru roślin zimozielonych do miejskich żywopłotów. Autorzy przeglądu gatunków i odmian roślin do ekosystemu żywopłotów miejskich („urban hedges”) Blanusa i in. [2019] w badaniu nad 25 gatunkami roślin stosowanymi na żywopłoty w miastach wyróżnili m.in. gatunek *Ilex* sp. na przykładzie *Ilex aquifolium* jako gatunku, który

może bardzo dobrze spełniać się w roli miejskiego żywopłotu. Oceniono go pozytywnie według przyjętego klucza oceny pod względem wpływu na jakość powietrza i łagodzenie zanieczyszczenia, redukcji hałasu, fitoremediacji gleb i wody oraz zapewnienie bioróżnorodności biologicznej. Warto nadmienić, że jako roślina zimozielona przyczyni się na pewno do wzmocnienia zielonej infrastruktury, zdrowia i dobrego samopoczucia ludzi, którzy będą mogli podziwiać szpaler w postaci żywopłotu z *Ilex* sp. cały rok. Ponadto, co można było zaobserwować w prezentowanych tu badaniach nad *Ilex meserveae* sp., takson ten wykształcił wiele mechanizmów obronnych do życia w warunkach miejskich, jak np. wzmożona akumulacja antocyjanów w miejscu o wysokiej gęstość strumienia fotosyntetycznych fotonów (PPFD).

Analiza trzech stanowisk występowania *Ilex meserveae* ‘Blue Prince’ i ‘Blue Princess’ pokazała, że to nie temperatura może być czynnikiem stresowym, a ilość energii docieranej do rośliny, która nie zależy od niej. Zmiany zawartości pigmentów w liściach mogą dostarczać wielu informacji na temat stanu fizjologicznego roślin. Tradycyjne metody analizy pigmentów poprzez ekstrakcję i pomiar spektrofotometryczny lub HPLC (wysokosprawna chromatografia cieczowa) wymagają nie tylko zniszczenia mierzonych liści, ale przede wszystkim to techniki czasochłonne i kosztowne co sprawia, że ocena ogólnego stanu zdrowia roślinności i jej ekosystemu jest mało praktyczna. Natomiast ocena obrazu w programie WinDIAS jest szybka i może być zastosowana w skalach przestrzennych. Stacjonarny system do analiz powierzchni liści pozwala nam na bardzo szybką analizę wielu plików w każdym formacie. Seryjna analiza obrazów działa jak „wirtualny przenośnik taśmowy”, który znacznie przyspiesza naszą pracę. Dostarcza pełen zestaw statystyk pomiarowych, a przy zastosowaniu opcjonalnego przenośnika taśmowego pozwala na wykonanie analiz do 800 liści na godzinę.

### **WinDIAS – Stacjonarny system do analiz powierzchni liści**

System WinDIAS funkcjonuje w badaniach fizjologii roślin, fitopatologii, ochronie upraw czy w leśnictwie. W kwerendzie literaturowej wykonanej na potrzeby niniejszej pracy nie stwierdzono wykorzystania go do porównania ilości barwników roślinnych. Zastosowana w prezentowanej rozprawie metoda jest stosunkowo łatwa pod warunkiem gdy badacz zapozna się z funkcjonowaniem oprogramowania. Wada polega na decyzji i kontroli badacza oraz wymaga posiadania wiedzy np. na temat możliwych występujących chorób (np. fytoftorazy, chlorozy), ponieważ wtedy użytkownik musi określić tę strefę jako zdrową lub chorą strefą liścia. To zatem badacz za każdym razem wybiera kolor jakim oznaczy np. zdrową część liścia i zakres tych kolorów oraz ich ilość może również zmienić według uznania. Im więcej odcieni

kolorów trzeba wybrać, tym praca będzie wolniejsza. Użytkownik ma także kontrolę nad zakresem pikseli, ponieważ WinDIAS przyjmuje systemowo pewien zakres czerwieni, zieleni i niebieskiego dookoła każdego piksela, który został wybrany. Dlatego analiza obrazu powierzchni liści wymaga od badacza decyzji w doborze parametrów.

Podobne problemy rodzą się w innej metodzie analizy obrazu w programie ImageJ, jaką poddano liście *Ilex meserveae* sp. odmiany 'Blue Princess' i 'Blue Prince' ze stanowiska 2. Program ten jest znanym i z powodzeniem stosowanym narzędziem do analizy obrazów w wielu dziedzinach nauki. Obsługuje pliki w formacie DICOM i niewątpliwie jego dużą zaletą jest nieodpłatna dostępność, niezależność od systemu operacyjnego i możliwość korzystania z tzw. makr (zapisanych zestawów poleceń w formie komputerowych algorytmów wykonywanych przez program) oraz możliwość tworzenia własnych rozszerzeń [Skrzyński 2013]. Uzyskane parametry pozwoliły na potwierdzenie różnicy barwy pomiędzy okazami męskimi i żeńskimi, a także ujawniły odmienność morfologiczną. Jak już zasygnalizowano w części pracy Wyniki, różnice dotyczące relacji górna/dolna blaszka liściowa mogą wynikać z innego wzorca kolorów przypisanego antocyjanom w obu programach. Teoria barw zakłada bowiem różne modele odwzorowania kolorów, o czym pisano szerzej w rozdziale gdzie zastosowano przenośny spektrofotometr Konica Minolta.

Rozmiar liścia i jego kształt w naturalnym środowisku jego występowania może odgrywać ważne role adaptacyjne i może zmieniać się z wiekiem liści. Różnice te mogą występować międzypłciowo u gatunków dwupiennych (jak w przypadku *Ilex meserveae* 'Blue Princess' i 'Blue Prince'), gdzie zakłada się regułę, że to odmiany żeńskie mają zwykle większe liście [Rabska i in. 2020]. Istnieje wiele czynników, które mogą wpływać na morfologię i ekofizjologię liści. Kluczowymi czynnikami przyczyniającymi się do zmienności typu rozmiar i kształt liści są reakcje ekofizjologiczne na środowisko [Nicotra i in. 2011, Kröber i in. 2015]. Autorzy takich przeglądów jak Nowak-Dyjeta i in. [2017], Huang i in. [2018], Korgiopoulou i in. [2019] uważają, że różnice morfologiczne, występujące między płciami związane są ze strukturami wegetatywnymi, a także to, że odmiany żeńskie będą miały większe liście niż męskie. Prace badawcze nad morfologią liści są niezwykle ważne, ponieważ wiedza np. o wielkości liści może dawać informację o zwiększonej lub zmniejszonej zdolności pochłaniania energii w określonych warunkach, gdyż to liście są zazwyczaj kluczowymi organami w tym procesie [Singh i in. 2006]. Szczególnie istotny ten fakt wydaje się być u roślin zimozielonych, których liście utrzymują się cały rok.

W prezentowanych w niniejszej pracy badaniach nad odmianami *Ilex meserveae* sp. najważniejszy parametr AR (współczynnik kształtu) był wyższy u odmiany żeńskiej tj. 'Blue

Princess' gdzie wyniósł 1,61, niż u odmiany męskiej 'Blue Prince' u której wyniósł 1,51. Jak podano w metodyce, parametr AR jest miarą wielu współczynników takich, jak grubość, obwód, długość, szerokość liścia i inne. Program ImageJ podaje wyniki AR w jednostkach px (pixel). Dokonując więc przeliczeń wyników AR na cm (centymetry), uzyskujemy wartości współczynnika AR u odmiany żeńskiej 0,04 cm, a u męskiej 0,03 cm.

Autorzy przeglądów Singh i in. [2006], Teitel i in. [2016], Rozas i in. [2019] podają, że takie parametry, jak AR mogą być ściśle związane z reprodukcją danej odmiany. Funkcje reprodukcyjne odmian żeńskich i męskich związane są ściśle z ich zasobami, które magazynowane są w ich organach wegetatywnych i, jak piszą także Chaurasia i Shukla [2018], różnice te wynikają z płci. W związku z tym wychwytywanie energii oraz wielkość parametrów pomiarów morfologicznych liści roślin uwarunkowana jest wysiłkiem reprodukcyjnym, jakie wykonują odmiany żeńskie. W przypadku niniejszej pracy współczynnik AR był wyższy u ImBPss (odmiany żeńskiej), a ilość zaobserwowanych zabarwień antocyjanowych była mniejsza, co może świadczyć o tym, że liście odmiany żeńskiej nie reagują tak bardzo na stres świetlny, ponieważ produkują mniej fotoprotekcyjnych antocyjanów od liści odmiany męskiej. Liście jako główne organy szczególnie o całorocznym ulistnieniu roślin zimozielonych wykazują zróżnicowanie w wielkości, kształcie i grubości liści przechwytyjąc światło. To odpowiedź na warunki świetlne w jakich rosną. Autorzy publikacji pod przewodnictwem Rabskiej i in. [2020] twierdzą, że liście, które pochłaniają więcej światła będą cieńsze niż te, które pochłaniają mniej. Można więc postawić hipotezę, że liście odmiany ImBPss były grubsze (1,61 px – 0,04 cm) na podstawie wieloparametrowego współczynnika AR od liści ImBPs (1,51 px – 0,03), ponadto odmiana męska miała więcej zabarwień antocyjanowych niż żeńska.

Zwiększona akumulacja antocyjanów jest często skorelowana dodatnio z wysokim poziomem wrażliwości rośliny na dany czynnik chorobotwórczy i stanowi wskaźnik nadwrażliwości żywiciela, o czym pisali Kangatharalingam wraz z innymi [2002], a za nimi Grzesiuk i in. [2008]. Biosynteza i akumulacja antocyjanów u badanej odmiany męskiej *Ilex meserveae* sp. może być odpowiedzią rośliny na uszkodzenia, zarówno mechaniczne jak i spowodowane żerowaniem owadów, co np. zaobserwowano u roślin petunii w przeglądzie pracy Tamari i in. [1995]. Objawami zakażenia był wtedy patogen grzybowy o nazwie: *Colletotrichum graminicola* (CES.) WILS., podobnie jak w przypadku kukurydzy [Hammerschmidt i in. 1977], czy występująca infekcja bakteryjna, która pokazała się poprzez zwiększenie syntezy antocyjanów w roślinach bawełny [Kangatharalingam i in. 2002], a także w kulturze kalusa marchwi w której zaobserwowano wzmożoną produkcję antocyjanów

w wyniku działania elicytora typu grzybowego [Rajendran i in. 1994]. Z kolei spadek zawartości antocyjanów towarzyszy wzrostowi poziomu fitoaleksyn (chemiczne substancje obronne wydzielane miejscowo przez roślinę podczas infekcji, tj. obecności patogenów w organizmie, ograniczające rozwój patogena np. wirusa, bakterii, grzyba, pasożyta w roślinie), o czym pisał Manetas [2006], podczas gdy zdrowe organy zawierają małe ilości fitoaleksyn. Fitoaleksyny to związki chemiczne o charakterze fenoli chroniące przed roślinożercami [Sumbele i in. 2012]. Dlatego również wielkość i kształt liści można powiązać z uszkodzeniami przez roślinożerców, które mogą preferować rośliny o określonej płci [Brown i in. 1991, Mackay i Whalen 1996, Kabir i in. 2014]. Stwierdzono bowiem, że grubsze liście o wysokim wskaźniku AR zawierają więcej związków fenolowych i skondensowanych tanin niż liście cieńsze o niższym AR. W związku z tym można przypuszczać, że odmiana żeńska ImBPss o mniej intensywnym zabarwieniu antocyjanowym i wyższym wskaźniku AR będzie zawierała w liściach więcej fitoaleksyn niż odmiana męska ImBPs. Uważa się bowiem, że osobniki męskie są bardziej podatne na uszkodzenia owadów roślinożernych niż odmiany żeńskie [Brown i in. 1991, Cornelissen i Stiling 2005].

O roli morfologii w dymorfizmie płciowym pisała także Rabska [2020] w artykule o jałowcach (*Juniperus* sp.). Jałowce podobnie jak ostrokrzewy wytwarzają osobniki męskie i żeńskie jako osobne rośliny. Badania nad *Juniperus* sp. dowiodły, że osobniki męskie mają większy wigor. Wynika to z faktu, że osobniki żeńskie odpowiadają głównie za reprodukcję, muszą wytworzyć nasiona z zawartymi w nich substancjami zapasowymi i są mniej odporne na niekorzystne warunki, a raczej walkę z nimi w środowisku niż osobniki męskie. Autorka zauważyła jednak, że nie zawsze jałowce płci żeńskiej są „gorsze”. W terenach o wysokiej wilgotności to rośliny żeńskie są bardziej wytrzymałe. W takich warunkach jest ich zdecydowanie więcej niż roślin męskich

Wykrycie wtórnego dymorfizmu płciowego poprzez obserwację morfologii liści jest bardzo ważne i może mieć istotny wpływ na ewolucję danego gatunku. Różnice wynikające z budowy morfologicznej liści mogą zależeć od różnic w przebiegu procesu fotosyntezy pomiędzy płciami gatunku, a np. liczba ząbków liści może być związana z wysokimi parametrami fotosyntezy [Royer i Wilf 2006]. Większy liść będzie reagował bardziej na zmiany opadów atmosferycznych poprzez zmianę swojego kształtu w wyniku zmian temperaturowych [Li i in. 2020], a z kolei większa powierzchnia liścia wiąże się z większym pochłanianiem wody, co sprzyja większej wydajności rośliny [Singh i in. 2006]. Badania nad *Ilex meserveae* sp. i odmianami ‘Blue Princes’ i ‘Blue Prince’ w programie ImageJ pokazały, że to liście roślin odmiany żeńskiej mają wyższy wskaźnik AR. Prawdopodobnie liście o wysokim wskaźniku

AR mają zdolność do chłodzenia konwekcyjnego i to chroni je przed nadmiernym promieniowaniem [Marcysiak 2012].

Zastosowana analiza obrazu wykonana programami WinDIAS i ImageJ sprawdziła się w ocenie antocyjanowych przebarwień liści. Metoda analizy obrazu z wykorzystaniem WinDias została wykorzystana w pracy nad pylnikami pszenżyta w badaniu tolerancji na stres oksydacyjny [Żur i in. 2014]. Jeżeli wiemy, że zabarwienie nie wynika z genotypu rośliny, a pojawia się w wyniku pewnych czynników, taka analiza daje nam informacje o występowaniu takiego zjawiska, które pozwala nam być może na fenotypowanie. Przyjmuje się, że fenotyp jest obrazem genotypu w środowisku i daje odpowiedź na to, jaka obserwowana zmienność w naturze może mieć podłoże genetyczne. O fenotypie wspólnie z genotypem będą decydować czynniki środowiskowe, które w przypadku zmiany warunków środowiska prowadzić mogą do zmiany fenotypu [Scott i in. 2012]. Autorzy tacy jak Price i in. [2012] nazwali plastyczność fenotypową, która w przypadku *Ilex meserveae* sp. może przybierać postać antocyjanowych zabarwień, jako za podstawowy mechanizm adaptacji obejmujący szereg zmian morfologicznych i fizjologicznych obserwowanych u wielu organizmów. Zjawisko to jest szeroko rozpowszechnione w przyrodzie i może w różny sposób wpływać na tempo ewolucji. Kolejna z zastosowanych metod z udziałem oprogramowania ImageJ również dostarczyła wielu ciekawych wniosków na temat różnic morfologicznych między płciami jednego gatunku co może wskazywać na możliwość adaptacji do różnych warunków środowiskowych. Literatura obfituje w wiele doniesień naukowych, jakoby odmienność płciowa tego samego gatunku i kształt ich liści była bardzo ważna nie tylko w całej ewolucji gatunku, ale i w doborze chociażby stanowiska do ich występowania w warunkach miejskich [Bruschi i in. 2003, Li i in. 2020]. Do tej pory dobór roślin do warunków miejskich odbywał się poprzez posługiwanie się wiedzą z dostępnych katalogów roślin, które zawierały informacje o strefach klimatycznych (mrozoodporności), warunkach glebowych, stopniu zacienienia/nasłonecznienia itp. Być może wiedza o morfologii liści roślin zimozielonych będzie kolejnym źródłem wiedzy na temat doboru odmian danego gatunku do określonych terenów zieleni miejskiej.

##### 5.5. OCENA KONDYCJI LIŚCI ZIMOZIELONYCH KRZEWÓW *RHODODENDRON* SP.

Różaneczniki (*Rhododendron* L.) należą do najczęściej uprawianych krzewów ozdobnych w terenach krajobrazu miejskiego oraz przydomowego. Rodzaj *Rhododendron* sp. obejmuje prawie 1000 gatunków występujących na całym świecie [Fang i in. 2005]. Wśród nich ponad 850 gatunków rozmieszczonych jest w większości na półkuli północnej, od strefy arktycznej do gór tropików. Największe zróżnicowanie gatunkowe występuje w górach Chin



i w Himalajach [Seneta i Dolatowski 2011]. W ostatnich latach wzrosła popularność i zapotrzebowanie na różaneczniki w terenach miejskich. Większość różaneczników, zwłaszcza zimozielonych ma duże wymagania siedliskowe, które uniemożliwiają lub znacznie utrudniają uprawę tych krzewów w naszych warunkach klimatycznych [Seneta i Dolatowski 2011, Cai i in. 2014]. Różanecznik katawbijski (*Rhododendron catawbiense*) uznawany jest za stosunkowo odporny na mrozy, jednak to wybór odpowiedniego siedliska będzie decydował o powodzeniu w jego uprawie. Różanecznik katawbijski krzyżowano m.in. z *Rh. caucasicum* i *Rh. ponticum* i stąd wywodzi się *Rhododendron* ‘Cunningham’s White’ [Seneta i Dolatowski 2011].

W analizie badań fizjologicznych różaneczników rosnących w warunkach miejskich, parametry fluorescencji chlorofilu *a* w badanych grupach hybryd różaneczników kaukaskich (*Rhododendron caucasicum*) oraz katawbijskich (*Rhododendron catawbiense*) ulegały zmianom w zależności od stanowiska. Liście roślin zimozielonych, w tym omawianych powyżej różaneczników, narażone są na wiele niekorzystnych warunków środowiska nie tylko w okresie zimy. Czynniki te, to jak temperatura oraz szczególnie często panujące wahania dobowe temperatur. Analiza stanowisk występowania różaneczników na ‘Wiślanych Tarasach’ w Krakowie pokazała jednak, że warunki stanowiskowe pozostałych miesięcy, szczególnie letnich są dla nich kluczowe. Wyszuszające wiatry, zbyt duże nasłonecznienie, susza glebowa w ciągu ostatnich lat uniemożliwiają pobieranie wody, wywołują zjawisko suszy fizjologicznej. Uszkodzenia wywołane tymi czynnikami występują przede wszystkim w błonach biologicznych, a ich konsekwencją są zaburzenia procesów fizjologicznych w komórce.

Analizy *Rhododendron* sp. na ich stanowiskach występowania wskazują, że obecność słońca oraz wiatrów odgrywa kluczową rolę w ich kondycji [Sheperd i Griffiths 2006]. Liście różaneczników posadzonych w cieniu mają w znacznym stopniu ograniczony dostęp do światła, które dociera do ich powierzchni. W ten sposób zmniejsza się ryzyko uszkodzeń liści związanych z inhibicją fotosyntezy w warunkach intensywnego nasłonecznienia. W podobny sposób te same liście zimotrwałych różaneczników radzą sobie w okresie zimowym, zmieniając ustawienie liści z horyzontalnego na pionowe (wertykalne) [Cai i in. 2014].

Na stanowiskach zacienionych, czyli o słabej intensywności światła, maleje wartość stosunku chlorofilu *a/b*, a także PSII/PSI, pokazują to badania nad fluorescencją. Na przykład *Rhododendron* ‘Cunningham’s White’ posadzony w cieniu miał wyższą ogólną zawartość chloroflu niż ten sam, który rósł w słońcu. Wysokie parametry maksymalnej fotochemicznej wydajności fotosystemu, maksymalnej efektywności rozszczepienia wody, fluorescencji początkowej, czasu uzyskania fluorescencji maksymalnej, ale także wskaźnika funkcjonowania

fotosystemu II były znacznie wyższe u CSWz niż u CSWs, co wskazuje, że różanecznik ten preferuje bardziej miejsca cieniste niż o intensywnym nasłonecznieniu. Z kolei parametry fenomenologicznego strumienia energii absorbowanej przez anteny PSII, gdzie CS to wzbudzony, czynny przekrój liścia, fenomenologiczny strumień energii pułapowanej w centrach reakcji PSII oraz fenomenologiczny strumień energii rozpraszanej w centrach reakcji PSII były wyższe u odmiany rosnącej w słońcu niż w cieniu. Liście całoroczne na stanowiskach słonecznych przechodzą wiele zmian w tym adaptacyjnych w ultrastrukturze komórek mezofilu i morfologii liści, co wynika właśnie z intensywności i składu spektralnego docierającego do powierzchni liścia światła [Russell i in. 2009, Pilarski i in. 2012]. W warunkach zacienionych w miejscu występowania różaneczników odnotowuje się przewagę promieniowania w zakresie czerwonym [Horton i in. 1991]. Promieniowanie to przy słabej intensywności światła słonecznego z kolei wpływa na rozbudowywanie w aparacie fotosyntetycznym systemu antenowego, absorbującego promieniowanie, przy jednoczesnym spadku ilości syntetyzowanego Rubisco. Powstałe w takich warunkach chloroplasty charakteryzują się niewielką ilością gran z przewagą tylakoidów stromy. W błonach tylakoidów gran zlokalizowane są głównie kompleksy PSII, natomiast tylakoidy stromy obfitują w PSI [Gruszecki i in. 2006, Zubik i in. 2013]. *Rhododendron caucasicum* preferuje więc stanowiska półcieniste do cienistego, a intensywne nasłonecznienie nie sprzyja ich wysokiej intensywności fotosyntetycznej.

Kolejnymi grupami różaneczników przeanalizowanymi pod względem warunków atmosferycznych na osiedlu 'Wiślane Tarasy' są *Rhododendron* 'Roseum Elegans (RE) oraz *Rhododendron* 'Catawbiense Boursault' (CB). Powodzenie uprawy różaneczników w warunkach miejskich w dużej mierze zależy właśnie od właściwego wyboru dla nich, stanowisk na których można zapewnić im warunki zbliżone do naturalnych warunków ich występowania. Analizując różaneczniki REz ze stanowiska zacienionego, należy podkreślić, że chociaż miejsce ich występowania jest ogólnie preferowane jako cieniste, to już występowanie przeciągów oraz silnego wiatru jest niepokojące. Tego typu rośliny muszą znajdować się w miejscach osłoniętych od wiatru, najlepiej o podwyższonej wilgotności. Parametry fluorescencji chlorofilu *a* badanych grup mieszkańców *Rhododendron catawbiense* 'Catawbiense Boursault' oraz 'Roseum Elegans' były jednak przeciwstawne w zależności od warunków występowania. Różaneczniki CB ze stanowiska wietrznego miały wyższe wartości fluorescencji maksymalnej, wyższe wartości funkcjonowania fotosytemu II oraz wyższe zawartości chlorofilu niż te same rośliny, ale na stanowisku osłoniętym. Tylko parametr fluorescencji zmiennej był wyższy u CB osłoniętego niż u CB z miejsca wietrznego.

*Rhododendron* 'Roseum Elegans' ze stanowiska wietrzego miał niższe parametry fenomenologicznego strumienia energii pułapkowanej w centrach reakcji PSII, fenomenologicznego strumienia energii używanej do napędzenia transportu elektronów, ilości aktywnych centrów reakcji we wzbudzonym fragmencie liścia i ilości aktywnych centrów reakcji w stanie relaksacji fragmentu liścia niż *Rhododendron* 'Catawbiense Boursault' z tego samego rodzaju stanowiska. Różanecznik katawbijski odmiany 'Catawbiense Boursault' nie znosi silnych wiatrów oraz przeciągów, które powodują zwiększoną transpirację, ale mimo wszystko dobrze znosi stanowisko nasłonecznione, pomimo zaleceń stanowiska półcienistego.

Chcąc zaspokoić swoje estetyczne potrzeby czy to w ogrodzie czy projektując tereny architektury zielonej nie należy kierować się podczas wyborem odmian wyłącznie kolorem kwiatów. Takie postępowanie bywa zwodnicze. Wyniki badań różaneczników różnych grup mieszańców pokazały, w jaki sposób intensywne nasłonecznienie na stanowisku ich występowania może wywołać stres świetlny i być może także termiczny, a także wodny (suszę fizjologiczną), ponieważ korytarze wietrzne, miejsca silnych przeciągów powodują zmiany w uwodnieniu komórki poprzez stałe osuszanie ich blaszek liściowych [Zaytseva i in. 2016].

Badania nad fotosyntezą liści stanowią obecnie popularne narzędzie do wskazania stresu środowiskowego i wyboru warunków wzrostu odpowiednich dla różnych gatunków [Scagel 2007]. Wiedza o anatomii i fizjologii liści w odniesieniu do ich siedliska jest niezmiernie ważna w komercyjnej produkcji różaneczników.

Prezentowane powyżej wyniki badań nad fazą jasną fotosyntezy różaneczników nasadzonych w różnych warunkach, wskazujących na brak znajomości wymagań siedliskowych tych roślin, stały się podstawą do poszerzenia pracy o analizy histologiczne liści.

### **Histologia liści różaneczników rosnących na stanowiskach różniących się oświetleniem**

Światło jest jednym z czynników środowiskowych, który decyduje o wzroście, kondycji i przeżyciu różaneczników [Poorter i Bongers 2006, Shepherd T. i Griffiths 2006, Wang i in. 2008, Cai i in. 2014]. Poorter i Bongers [2006] analizując rolę światła wskazali, że to zdolność adaptacji roślin do zmieniającej się intensywności światła w środowisku decyduje o ich przeżywalności na różnych stanowiskach. Walters i in. [2003] piszą o mechanizmach unikania i tolerancji zbyt intensywnego nasłonecznienia przez rośliny, które wykazują tzw. fotoaklimatyzację w odpowiedzi na intensywność światła, która objawia się w morfologicznych i anatomicznych cechach liści. Cai i in. [2014] podaje przykład adaptacji do zmieniającego się otoczenia różnych gatunków *Rhododendron* sp. introdukowanych ze swojego naturalnego stanowiska.

Naturalnym środowiskiem występowania *Rhododendron yunnanense* są mieszane lasy na zacienionych zboczach, a *Rhododendron delavayi* i *Rhododendron irroratum* - cieniste lasy Nepalu [Cai i in. 2014]. Po przesadzeniu ich z naturalnego środowiska, jakim były zacienione lasy do cieplejszych warunków o intensywnym nasłonecznieniu zaobserwowano, że w innym obszarze klimatycznym regionu *R. yunnanense* rósł słabo, a jego liście wykazywały znaczne uszkodzenia spowodowane intensywnym światłem, jak chloroza liści i plamy oparzeń słonecznych, podczas gdy dwa pozostałe: *R. delavayi* i *R. irroratum* utrzymywały normalny wzrost, ale ze zmniejszoną liczbą kwiatów. Zmiana miejsca uprawy na bardziej oświetlone stanowisko wpłynęła także na morfologię liści. Liście *R. yunnanense* miały grubszą epidermę górną, miękisz gąbczasty i palisadowy. *R. delavayi* i *R. irroratum* miały gęściej rozmieszczone aparaty szparkowe, ale rozmiary ich liści były mniejsze. Podobne wyniki prezentowali Wentworth i in. [2006] w badaniach nad *Phaseolus vulgaris* podając, że liście ze stanowiska słonecznego są grubsze i mniejsze, mają zwiększone całkowite otwarcie porów aparatu szparkowego oraz grubszą warstwę miękiszu gąbczastego i palisadowego niż rośliny ze stanowisk zacienionych. Liście różaneczników narażone są na intensywne działanie światła w ciągu całego roku, dlatego cechy morfologiczne i anatomiczne ulegają zmianie, aby zbyt silne promieniowanie nie spowodowało szkodliwych skutków. W niniejszej pracy badano histologię liści podczas lata, próbując określić zmiany w strukturze liści na tle zmian klimatycznych, z jakimi borykają się rośliny nasadzone w Polsce. Przez wiele dekad XX wieku to mrozy były wyzwaniem dla różaneczników. Obecnie mogą być to gorące lata powodujące także niedobór wody lub warunki potęgowane przez suchy wiatr.

Z prezentowanych w niniejszej dysertacji badań nad *Rhododendron* ‘Cunningham’s White (CSW), *Rhododendron* ‘Catawbiense Boursault’ (CB) i *Rhododendron* ‘Roseum Elegans’ (RE) wynika, że nie zanotowano różnic istotnych statystycznie w grubości liścia, niezależnie od stanowiska występowania. Stwierdzono natomiast różnice statystycznie istotne dotyczące pozostałych analizowanych cech liści. *Rhododendron* CSW na stanowisku słonecznym miał grubszy miękisz palisadowy, gąbczasty, grubszą kutykulę, epidermę górną i całkowite otwarcie porów aparatu szparkowego w porównaniu do tej samej odmiany, ale rosnącej na stanowisku zacienionym. Podobne zależności wykazali w swojej pracy badawczej Wang i in. [2008]. *Rhododendron catawbiense* rosnący w miejscu silnie oświetlonym miał grubszy miękisz palisadowy, kutykulę oraz epidermę górną w porównaniu do *Rhododendron ponticum* ze stanowiska cienistego. W cytowanej pracy porównano różne gatunki różaneczników. Wykazano, że liście różanecznika na stanowisku słonecznym posiadają wielowarstwowy miękisz palisadowy, pełniący rolę fotoochronną. Taki miękisz sprawia,

że rośliny stają się bardziej wytrzymałe, wykorzystują wydajniej światło, ale tym samym chroni on liście przed intensywnym promieniowaniem [Pino i in. 2008]. Grubość kutykuli oraz epidermy górnej również jest ważna w ochronie mezofilu, ponieważ to one są główną barierą w kontakcie z promieniowaniem słonecznym. Dlatego odgrywają kluczową rolę w utrzymaniu integralności pomiędzy wnętrzem liścia a środowiskiem, tworząc ochronną barierę przed niekorzystnymi warunkami świetlnymi, ale i wodnymi [Liakoura i in. 2003]. Ten drugi czynnik może mieć znaczenie w interpretacji niniejszych badań w przypadku roślin ze stanowiska wietrznego.

W niniejszej pracy gęstość rozmieszczenia chloroplastów w komórkach miękiszu gąbczastego i palisadowego była prawie dwa razy mniejsza u *Rhododendron* 'Cunningham's White' (CSW) na stanowisku słonecznym niż na zacienionym. Przemieszczające się chloroplasty w komórce pozwalają na optymalizację ilości pozyskiwanych kwantów światła [Adamiec i Jackowski 2008, Allen i in. 2011]. W świetle o niskim natężeniu chloroplasty układają się prostopadle do kierunku padającego światła tak, by płaską powierzchnią zapewnić sobie maksymalną absorpcję światła. W świetle o dużej intensywności chloroplasty przemieszczają się do ścian równoległych do kierunku padania światła i przybierają położenie profilowe, zmniejszając w ten sposób ilość pochłanianego światła [Kopcewicz i Lewak 2018]. Może zdarzyć się jednak sytuacja, że pochłaniania przez rośliny energia jest niemożliwa do przetworzenia dla aparatu fotosyntetycznego. W wyniku takiego przeciążenia dochodzi m.in. do powstania tlenu singletowego uważanego za jeden z toksycznych związków odpowiedzialnych np. za oparzenia słoneczne, w tym także u ludzi [Zubik i in. 2013]. Aparat fotosyntetyczny roślin, choć zoptymalizowany do pochłaniania jak największej energii słonecznej (poprzez chociażby rozmieszczenie chloroplastów, czy fotoprotekcyjną rolę karotenoidów), musi również umieć rozproszyć jej nadmiar. Funkcję tę spełniają w nim kompleksy białek fotosyntetycznych LHCI [Gruszecki i in. 2006, Zubik i in. 2013, Akhtar i in. 2019]. Jednym ze sposobów ich adaptacji do konkretnych potrzeb energetycznych rośliny jest fosforylacja białek powodująca ich reorganizację. Tworzą więc wysoce zorganizowane struktury, sprzyjające efektywnemu pochłanianiu energii świetlnej, z drugiej strony możliwość magazynowania tej energii zamieniana jest według potrzeb rośliny tak, że pewna część jest rozpraszana na zewnątrz w postaci ciepła [Janik i in. 2017, Johnson i in. 2011].

*Rhododendron* 'Cunningham's White' (CSW) ze stanowiska słonecznego wykazał wyższe wartości prawie wszystkich analizowanych parametrów (grubość miękiszu gąbczastego i palisadowego, epidermy górnej, całkowite otwarcie porów aparatu szparkowego, grubość kutykuli) w stosunku do CSW rosnącego w miejscu zacienionym. Jedynie gęstość

rozmieszczenia chloroplastów była mniejsza w słońcu niż w cieniu. Wydaje się więc, że natura poradziła sobie z problemem nadmiernej ekspozycji roślin na światło systemowo. W zależności od tego, jak duża energia ma zostać pochłonięta dochodzi do przemieszczania się chloroplastów, co widać w opisywanych tu przypadkach [Horton i in. 1991]. Możliwe są także modyfikacje strukturalne białek [Janik i in. 2013], czy nawet zmiany w obrębie barwników wewnątrz błon tylakoidów [Natali i in. 2016], co może być jednym z elementów adaptacji różaneczników do klimatu Polski.

Sheperd i Griffiths [2006] podają, że rośliny rosnące w cieniu w przeciwieństwie do roślin ze stanowiska słonecznego, mają duże możliwości przystosowania do malejących wartości radiacji, są natomiast bardziej wrażliwe na promieniowanie słoneczne, wzrastające powyżej optymalnego dla nich poziomu. Dlatego z reguły te rosnące w cieniu charakteryzują się cienką kutykulą, epidermą górną lub brakiem wosku na powierzchni liści.

### **Histologia liści różaneczników na stanowiskach różniących się intensywnością wiatru**

Analiza histologiczna roślin rosnących na stanowisku osłoniętym i wietrznym *Rhododendron* ‘Catawbiense Boursault’ (CB) i *Rhododendron* ‘Roseum Elegans’ (RE) wykazała mniejsze całkowite otwarcie porów aparatu szparkowego na stanowisku osłoniętym niż w miejscu wietrznym. Wang i in. [2008] sugerują, że może to świadczyć o tym, że odmiany te mogą być bardziej podatne na wysuszenie liści. Z kolei zdolność liści różaneczników do termonastii (w tym przypadku to zwijanie się liści w rurkę) jest strategią unikania dodatkowego osuszania przez wiatr oraz pełni rolę fotoprotekcyjną. Już w 1992 roku Nilsen opisywał, że termonastie u różaneczników to nie tylko zwijanie liści w wyniku obniżenia temperatury. Ruchy te mogą być wynikiem unikania silnego stresu świetlnego poprzez zmniejszenie powierzchni liści [Nilsen 1992].

Parametr całkowitego otwarcia porów aparatu szparkowego przyjmował także wyższe wartości u *Rhododendron* ‘Cunningham’s White (CSW) na stanowisku słonecznym, a nie zacienionym. Podobne wyniki uzyskano w badaniach *R. delavayi* również w warunkach intensywnego promieniowania. Zaobserwowano u niego mniejsze całkowite otwarcie porów aparatu szparkowego. Może to świadczyć o większej zdolności do regulacji rozmieszczenia aparatów szparkowych, a także oznaczać lepsze przystosowanie do bardziej suchych i silnie oświetlonych stanowisk [Westoby i in. 2002]. Jest to zgodne z wynikami badań nad grupami mieszaińców *Rhododendron caucasicum* i *Rhododendron catawbiense*. Rośliny rosnące na stanowisku występującego wiatru i przeciągów wykazały większe całkowite otwarcie porów aparatów szparkowych niż te, które rosły w miejscu osłoniętym od wiatru.

Różaneczniki to rośliny płytko ukorzenione, podatne na wysuszenie liści w warunkach wietrznych [Zaytseva i in. 2016]. Wyniki uzyskane w niniejszej pracy pokazały, że w przypadku *Rhododendron* 'Catawbiense Boursault' (CB) i *Rhododendron* 'Roseum Elegans' (RE) na stanowiskach wietrznych, całkowite otwarcie porów aparatu szparkowego było rzeczywiście większe. Można przypuszczać, że te dwa gatunki ewoluowały w odrębny sposób, dostosowując inne cechy strukturalne liści do wietrznych warunków. Są to gruba kutykula u RE, grubsza epiderma górna u CB, grubszy miękisz gąbczasty u RE i CB czy grubszy miękisz palisadowy u CB niż u tych samych odmian, ale rosnących na stanowisku osłoniętym.

Podstawowymi sposobami przystosowania się roślin do nadmiernego natężenia światła lub silnego wiatru jest możliwe ograniczenie absorpcji światła (unikanie stresu świetlnego) lub aktywacja sprawnie działających mechanizmów naprawczych, regenerujących uszkodzone struktury, ale także wykształcenie innych alternatywnych cech anatomicznych i fizjologicznych liści związanych z ich przystosowaniem do siedliska. Przy długotrwałym działaniu promieni słonecznych lub występujących przeciągach rośliny wytwarzają bierne mechanizmy obronne (przystosowania o charakterze anatomiczno-morfologicznym) np. obniżające absorpcję światła. Są to gruba kutykula, dwuwarstwowa epiderma górna, powierzchnia liścia pokryta woskiem czy kutnerem, grubsze warstwy miękiszu palisadowego czy gąbczastego. Chloroplasty roślin rosnących w warunkach zacienionych lub osłoniętych od wiatru u *Rhododendron* 'Cunningham's White (CSW), *Rhododendron* 'Catawbiense Boursault' (CB) i *Rhododendron* 'Roseum Elegans' (RE) gwałtownie przemieszczają się pod wpływem warunków siedliska, co powoduje ich równoległe ustawienie do padających promieni świetlnych oraz pionową orientację liści. Jest to kolejna cecha strategii unikania lub zmniejszania deficytu światła [Zheng i in. 2018].

Warto zwrócić uwagę, że anatomia liści różaneczników wykazuje cechy kseromorficzne w postaci wielowarstwowej epidermy, wielowarstwowego miękiszu palisadowego i grubej kutykuli. Obecność aparatów szparkowych w epidermie dolnej jest częsta wśród roślin lądowych [Wang i in. 2008]. Mogą być one także chowane podczas zwijania się liścia. Takie cechy są także charakterystyczne dla roślin zimozielonych, narażonych okresowo na suszę fizjologiczną [Szweykowska i Szweykowski 2010], które musiały wykształcić mechanizmy adaptacyjne w związku z zamarzaniem wody w podłożu w okresie zimowym. Mogą się one okazać przydatne także w warunkach ocieplającego się klimatu i występowania susz, zwłaszcza w miastach, gdzie różaneczniki są często nasadzone.

Prezentowana w niniejszej pracy analiza histologiczna liści trzech gatunków *Rhododendron* sp. wykazała zmienność w budowie anatomicznej liści roślin w zależności od warunków środowiska takich, jak intensywność światła i wiatru.

## 6. WNIOSKI I PODSUMOWANIE

1. Skład florystyczny badanych stanowisk liczył 16 stwierdzonych rodzajów, w których dominowały dwa, *Cotoneaster* sp. (irga) oraz *Rhododendron* sp. (rózaniecznik). Wszystkie występujące RZ to szkółkarski standard na rynku europejskim.
2. Inwentaryzacja pokazała, że rośliny zimozielone planowane były w niewielkich kompozycjach o małej liczebności. Tylko w 100 stanowiskach na 800 miejsc określonych RZ występowały na dużych powierzchniach, rosnąc w skupiskach. Były to rośliny z grupy płożących, które w sztuce ogrodowej planuje się grupowo na dużych powierzchniach. Nie wyklucza się jednak planowania pozostały w taki sposób.
3. Udział kierunku wiatru w miejscach inwentaryzacji był zmienny. Literatura podaje, że RZ planowane od strony północnej mają mniej światła niż od strony południowej. Badania pokazały, że planowanie roślin było przypadkowe i niezależne od wpływu kierunku wiatru. Wiatr warunkuje uszkodzenia szczególnie liści roślin zimozielonych.
4. Większość planowanych RZ na badanych stanowiskach roślinnych była sadzona na stanowiskach osłoniętych, tj. w towarzystwie innych roślin, między budynkami czy też w otoczeniu innych elementów, które chroniły je przed szkodliwym działaniem czynników środowiska m.in. wiatru, gdyż podczas planowania najwyraźniej brano pod uwagę kierunku wiatru. Towarzystwo sąsiednich roślin powodowało tworzenie swoistego rodzaju mikroklimat, który chronił liście oraz pędy zimozielonych przed uszkodzeniami. Pozostałe rosły w miejscach odsłoniętych, charakteryzujących się przede wszystkim przeciągami, co miało wyraźny wpływ na ich stan uszkodzenia.
5. Rośliny zimozielone planowane były w warunkach, gdzie udział oświetlenia był zmienny. Posadzone w pełnym słońcu miały uszkodzone blaszki liściowe. Odnotowano, że tylko ponad 100 stanowisk została planowo posadzona w miejscach zacienionych zgodnie z naturalnymi wymaganiami zimozielonych.
6. W 2017 roku odnotowano posługując się przyjętą skalą uszkodzeń wzrost uszkodzeń liści zimozielonych, oraz znaczny wzrost uszkodzeń pąków kwiatowych oraz liściowych, pędów jednorocznych, a także ich wierzchołków w stosunku do roku 2014. Inwentaryzowane RZ w roku 2014 były młodymi osobnikami, posadzonymi na



stosunkowo nowych terenach miejskich. Zmienny udział kierunku wiatru, a także nasłonecznienia, planowanie oraz sadzenie w miejscach wietrznych, bez sąsiedztwa innych okazów tj. najważniejszych czynników wpływających na fizjologiczny stan liści roślin, wpłynęły niekorzystnie na ich ogólną kondycję.

7. W trakcie inwentaryzowania obiektów występowania RZ zaobserwowano w większości przypadków prowadzenie zabiegów pielęgnacyjnych w postaci nawożenia czy ogławiania np. różaneczników. Pielęgnację zaobserwowano jednak tylko w roku 2014, Można więc sądzić, że zabiegi pielęgnacyjne nie były stosowane systematycznie do roku 2017, stąd procent uszkodzeń RZ się zwiększył.
8. Odnotowano, że inwentaryzowane RZ pochodziły w większości ze strefy 6b oraz 6a, pozostałe z 5b, 4, 5 oraz niewielka część z 7,7a. Nasadzenia zostały zatem zaplanowane zgodnie z wymaganiami stref mrozoodporności oraz odpowiadającymi jej temperaturami, jakie panują na południu Polski według obowiązującej klasyfikacji USDA. W projektach osiedlowej zieleni miejskiej zaplanowano gatunki RZ, odpornych na niskie temperatury (strefa 6a i 6b) zalecanych do klimatu Krakowa. Badania pokazały, że nie jest to wystarczające w obecnym klimacie wahań temperatur w ciągu roku oraz widocznej zmiany pór roku. Można zatem przyjąć, że obowiązująca klasyfikacja stref mrozoodporności staje się już niewystarczająca.
9. W spektrofotometrycznej ocenie barwy liści zimozielonych gatunków *Ilex* sp. pochodzących z kolekcji RZ WBiO, zachodzi zależność między temperaturą a intensywnością barwy liści, którą wyznaczają parametry chromatyczności  $a^*$  i  $b^*$ . Wraz ze wzrostem lub spadkiem temperatury powietrza intensywność parametrów  $a^*$  i  $b^*$  malała lub rosła w zależności od danego gatunku czy odmiany. W I terminie u IcGG zaszła istotna korelacja pomiędzy temperaturą, a parametrami chroma  $a^*$  i/lub  $b^*$ : tj. u ImBPs pomiędzy temp., a chroma  $a^*$ , u IcBPss pomiędzy temp., a chroma  $a^*$ . W II terminie zaszła korelacja między temperaturą, a chroma  $a^*$  u IcGG i u ImBPs między temp., a chroma  $a^*$  i  $b^*$ .
10. Przebieg pogody w latach 2014 i 2015 był stosunkowo łagodny, stąd obserwuje się w niewielkim stopniu różnicę barwy chromy  $a^*$  i  $b^*$ . Najbardziej intensywne wartości chromy  $a^*$  i  $b^*$  odnotowano w miesiącach jesiennych i do końca marca oraz w maju wraz ze wzrostem temperatury. Niewielkie wahania widm reflektancji w ocenie barwy liści w pozostałych miesiącach wynikają z różnic temperatury powietrza.
11. Nagły spadek temperatury (o  $15^{\circ}\text{C}$ ) powodował wzrost parametrów chromatyczności, które osiągały najwyższe wartości, jak u ImBPs. Jednak u ImBPss tak nagłe obniżenie

temperatury oznaczało spadek wybarwienia (niższe wartości widm reflektancji) w ciągu trwania doświadczenia.

12. Przeprowadzona metoda oceny barwy za pomocą spektrofotometru  $L^*a^*b^*$  może stanowić podstawę dalszych badań oceny liści zimozielonych i przemian w intensywności ich wybarwienia (dekoracyjności) pod wpływem działania temperatury. Zmiany wartości widm reflektancji parametrów  $L^*a^*b^*$  mogą także stanowić odpowiedź na uszkodzenia liści zimozielonych w zależności od temperatury oraz informować o zawartości naturalnych barwników roślinnych w liściach bez laboratoryjnych metod. Szybkość tej metody w przeprowadzeniu badań może być szczególnie ważna z perspektywy uprawy szkółkarskiej w gruncie, gdzie temperatura determinuje barwę liści i wpływa na ogólną dekoracyjność krzewów.
13. Wartości  $F_v/F_M$  u *Ilex* sp. na kolekcji RZ WBiO były niższe od przyjmowanych w literaturze za wartość progową 0,83 dla liści wszystkich RZ. W wizualnej ocenie nie można było stwierdzić na liściach widocznych uszkodzeń.
14. Wyniki mogą sugerować, że wydajność aparatu fotosyntetycznego u badanych RZ była obniżona, lub został wygaszony ze względu na porę roku.
15. W II terminie pomiarów wszystkie *Ilex* sp. odznaczały się lepszą tolerancją na niekorzystne warunki pogodowe. Świadczą o tym mniejsze spadki  $F_v/F_M$  i PI dla wszystkich badanych RZ.
16. Zaobserwowano, że Performance Index (PI) jest najbardziej wrażliwym wskaźnikiem funkcjonowania aparatu fotosyntetycznego na wahania temperatur. Przyjmował podobne wartości dla wszystkich badanych *Ilex* sp. w II terminie prowadzonych badań.
17. Parametry fluorescencji szybkiej chlorofilu *a* wskazują, że IcGG na stanowisku 1, pod okapem krzewów towarzyszących, wykazywał większą tolerancję na niekorzystne, wietrzne warunki miejskie w pasie komunikacyjnym osiedla 'Wiślane Tarasy', niż grupa tych samych roślin, która rosła odsłonięta na stanowisku 2. Prawidłowy wzrost roślin zimozielonych zależy od czynników abiotycznych panujących na terenie osiedla. W tym przypadku warunki stanowiska 1 dla IcGG, które rosły w przeciągu komunikacyjnym, ale krzewami w cieniu były najlepszym miejscem do nasadzeń.
18. Parametry fluorescencji chlorofilu *a* aparatu fotosyntetycznego IcGG wykazały, że rośliny na tej samej skarpie osiedla 'Wiślane Tarasy', ale na stanowisku słonecznym nr 4, przyjmowały wyższe wartości ( $F_M$ ,  $F_v$ ,  $F_v/F_M$ , PI,  $A_M$ , ABS/CS,  $TR_o/CS$ ,  $ET_o/CS$ ,  $DI_o/CS$ ,  $RC/CS_o$ ,  $RC/CS_m$ ) niż na stanowisku 5, gdzie rosły w cieniu. Warunki panujące

- w tej części osiedla wskazują, że stanowisko słoneczne bardziej niż cieniste warunkuje lepszy wzrost. IcGG w obu przypadkach rosły w terenie bezwietrznym na dziedzińcu.
19. IcGG w nasadzeniach na trawniku, w towarzystwie krzewów wysokich na stanowisku 7, przyjmował wyższe wartości parametrów fluorescencji chlorofilu *a* niż IcGG w tym samym terenie, ale na stanowisku 8. Rośliny w obiekcie nr 8 rosły w betonowych rabatach bez krzewów sąsiadujących. Warunki glebowe „betonowych ogrodów” oraz brak szpaleru krzewów jako formy osłony przed wiatrem, wywoływały pogorszenie kondycji roślin.
  20. We wszystkich badanych stanowiskach *Ilex crenata* ‘Golden Gem’ maksymalna wydajność fotochemiczna ( $F_v/F_M$ ) i wskaźnik funkcjonowania fotosystemu II (PI) nie różniły się istotnie, w przeciwieństwie do pozostałych parametrów testu JIP. Parametry przepływu energii przez fotoukład II okazały się bardziej czułe na stres powodowany zmianą czynników środowiskowych, tj. intensywność oświetlenia, obecność wiatru czy cienia od podstawowych wskaźników fluorescencji chlorofilu, np.  $F_v/F_M$ . Analiza sygnału fluorescencji chlorofilu, pochodzącego z fotoukładu II, wskaźników z testu JIP pozwala na wyróżnienie parametrów, które umożliwiają identyfikację wczesnych zmian w procesie fotosyntezy, pod wpływem działania różnych czynników stresowych.
  21. Najwyższą świeżą masę liści odnotowano u ImBPss na stanowisku 3, charakteryzującym się umiarkowanym oświetleniem oraz zaciszem bez przeciągów. Ten sam gatunek, ale na stanowisku 1 miał najniższą masę liści spośród wszystkich badanych. W tym miejscu występował przeciąg komunikacyjny z bardzo silnym wiatrem.
  22. Na stanowisku 2 u ImBPss, gdzie odnotowano najwyższe wartości PPFD stwierdzono najwięcej antocyjanowych przebarwień adaksjalnej i abaksjalnej strony blaszek liści obu form ImBP. Natomiast na pozostałych stanowiskach odnotowano niską zawartość antocyjanów, zmniejszającą się ze spadkiem PPFD. Wskazuje to na fotoprotekcyjną rolę antocyjanów w liściach *Ilex meserveae* sp. Zabarwienia antocyjanowe można było zaobserwować bardziej na adaksjalnej stronie blaszki liściowej niż abaksjalnej. Tak było w przypadku ImBPss i ImBPs na stanowisku 2 i 3, czyli tam gdzie wartości PPFD były najwyższe. Obecność fotoprotekcyjnych antocyjanów w liściach *Ilex meserveae* sp. może przyczynić się do ograniczenia uszkodzenia aparatu fotosyntetycznego powstałych pod wpływem stresu świetlnego u roślin pozbawionych cienia.
  23. Zastosowana analiza obrazu w programie WinDIAS oraz ImageJ w ocenie antocyjanowych przebarwień liści jest sprawnym narzędziem porównawczym do

sprawdzenia występowania antocyjanowych przebarwień i analizy morfologicznej liści. W obu populacjach płeć może mieć istotny wpływ na parametry związane z morfologią liści takie jak AR – współczynnik kształtu oraz krągłość liści.

24. Okazuje się, że to ilość energii jaka dociera do rośliny, a nie temperatura może okazać się czynnikiem stresowym dla roślin zimozielonych, tj. o całorocznym ulistnieniu, jak u *Ilex meserveae* sp. Rośliny tego typu wytworzyły mechanizmy adaptacyjne do skrajnych warunków miejskich, jakim są synteza i gromadzenie się antocyjanów w wakuolach liści, co obserwuje się podczas nadmiaru energii świetlnej. Zjawisko to ma za zadanie pochłonięcie części tej energii przez antocyjany i tym samym ochronę barwników fotosyntetycznych.
25. W badaniach przeprowadzonych na terenie Wiślanych tarasów na *Rhododendron* ‘Cunningham’s Snow White’, zawartość chlorofilu w liściach była wyższa u roślin różaneczników, występujących w miejscach zacienionych niż nasłonecznionych, na podstawie parametru indeksu zieloności. Wysokie wartości  $F_0$  u CSWs mogą świadczyć o zmniejszonej sprawności przekazywania energii wzbudzenia między cząsteczkami lub zmniejszonej efektywności jej absorpcji w PSII, spowodowanych zbyt słonecznym stanowiskiem w miejscu występowania odmiany. Parametry  $F_v/F_m$ ,  $F_v/F_0$ , a także PI uległy znacznemu obniżeniu u odmiany CSWs w stosunku do CSWz, sugerując zmniejszenie maksymalnej fotochemicznej wydajności fotosystemu II u rośliny tej odmiany rosnącej w słońcu.  $F_v/F_m$ ,  $F_0$ ,  $T_{FM}$  oraz PI był wyższy u CSWz w cieniu w stosunku do CSWs rosnącego w słońcu. Można wnioskować więc, że stanowisko cieniste jest dla roślin *Rhododendron* ‘Cunningham’s Snow White’ lepsze niż słoneczne.
26. Szacując przepływ energii w przeliczeniu na wzbudzoną powierzchnię próbki fotosyntetycznie czynnej u liści *Rhododendron caucasicum* (CSWs i CSWz), stwierdzono, że parametry ABS/CS, TRo/CS i DIo/CS były wyższe u odmiany ‘Cunningham’s Snow White’ w słońcu niż w cieniu. Wśród badanych okazów *Rhododendron caucasicum*, krzew *Rhododendron* ‘Cunningham’s Snow White’, rosnący w cieniu charakteryzował się bardziej intensywną pracą aparatu fotosyntetycznego niż jego odpowiednik rosnący na stanowisku słonecznym. Wyraziło się to w formie wysokiego poziomu indeksu zieloności, fluorescencji maksymalnej, maksymalnej fotochemicznej wydajności fotosystemu II, fluorescencji początkowej. Także czas uzyskania fluorescencji maksymalnej i wskaźnik funkcjonowania fotosystemu II były wyższe. Preferowane stanowisko do nasadzeń dla różaneczników

*Rhododendron caucasicum* to miejsce półcieniste do cienistego. Intensywne oświetlenie w ciągu dnia nie sprzyja wysokiej intensywności fotosyntetycznej i ogranicza ich wzrost.

27. Parametry fluorescencji chlorofilu *a* badanych grup mieszańców *Rhododendron catawbiense* na 'Wiślanych Tarasach' uległy istotnym zmianom w zależności od stanowiska występowania. Jednak przebieg tych zmian nie był identyczny u wszystkich mieszańców w tej grupie. CBw oraz CBo reagowały w sposób przeciwstawny do REw i REo. Różaneczniki CBw charakteryzowały się wyższymi wartościami fluorescencji maksymalnej, wskaźnikiem funkcjonowania fotosystemu II oraz wyższą zawartością chlorofilu niż CBo ze stanowiska osłoniętego, z kolei parametr fluorescencji zmiennej był wyższy u CBo niż u CBw. Wartości  $F_0$ ,  $F_v/F_M$  oraz  $T_{FM}$  nie różniły się istotnie statystycznie między badanymi CB pod względem wietrznego lub osłoniętego stanowiska występowania. Pod względem wskaźników przepływu energii w przeliczeniu na wzbudzoną powierzchnię próbki (CS) fotosyntetycznie czynnej, CB zareagował przeciwstawnie do *Rhododendron* 'Roseum Elegans'. CB ze stanowiska wietrznego osiągnęły wyższe wartości  $TR_o/CS$ ,  $ET_o/CS$ ,  $RC/CS_o$  i  $RC/CS_m$ . Natomiast CB ze stanowiska osłoniętego miały wyższe wartości  $ABS/CS$  i  $DI_o$  niż CBw. Z przeprowadzonych badań wynika, że odmiana różanecznika katawbijskiego 'Catawbiense Bousault', która często występuje w terenach zielonych zabudowy miejskiej, na podstawie parametrów fluorescencji chlorofilu *a* na osiedlu 'Wiślane Tarasy', toleruje silne wiatry, co nie znaczy, że nie powinna rosnąć na stanowiskach osłoniętych. Jednocześnie dobrze znosi także silne nasłonecznienie, pomimo że najlepiej rośnie na stanowiskach półcienistych.
28. *Rhododendron* 'Roseum Elegans' ze stanowiska wietrznego (REw) zareagował wysokim parametrem fluorescencji zmiennej w stosunku do REo ze stanowiska osłoniętego i był istotnie wyższy. Zaobserwowano u różaneczników ze stanowiska wietrznego (REw) niższy poziom fluorescencji maksymalnej i prawie zerową wartość wskaźnika funkcjonowania PSII w porównaniu do REo. Rośliny REo odznaczały się także wyższą zawartością chlorofilu niż REw. Parametr  $F_v/F_M$ ,  $F_0$  oraz  $T_{FM}$  okazały się nieistotne statystycznie dla określenia aktywności fotosyntetycznej roślin. Szacując przepływ energii w przeliczeniu na wzbudzoną powierzchnię próbki fotosyntetycznie czynnej u liści *Rhododendron* 'Roseum Elegans', wskaźniki  $ABS/CS$  oraz  $DI_o/CS$  okazały się wyższe u REw niż u REo. Jednak pozostałe wartości wskaźników u REo  $ET_o/CS$  oraz ilość aktywnych centrów reakcji we wzbudzonym fragmencie liścia oraz

w stanie relaksacji liścia były wyższe u RE ze stanowiska osłoniętego niż u RE ze stanowiska wietrznego.

29. W analizach morfologicznych *Rhododendron* 'Cunningham's Snow White' (CSW) na stanowisku słonecznym miał wyższe wartości prawie wszystkich badanych parametrów analiz histologicznych liści: miękisz gąbczasty (MG), miękisz palisadowy (MP), epiderma górna (EG), całkowite otwarcie porów aparatu szparkowego (AS), kutykula (K) niż na stanowisku cienistym. Jedynie gęstość rozmieszczenia chloroplastów (CH) okazała się być istotnie niższa u tej odmiany na stanowisku słonecznym. Grubsza dwuwarstwowa epiderma górna, kutykula, ale i grubszy miękisz palisadowy mogą świadczyć o lepszej adaptacji strukturalnej CSW do warunków stanowiska o dużym natężeniu światła pozwalając na zmniejszenie ryzyka uszkodzenia liści i ograniczenie transpiracji.
30. Analizując liście roślin z grupy *catawbiense* na stanowiskach osłoniętych (REo i CBo) zaobserwowano niskie wspólne wartości parametrów MG, AS. Z kolei na stanowisku wietrznym tych samych odmian, odnotowano wysokie wartości wskaźników MG, AS, CH. Na stanowisku wietrznym niższe wartości MP i EG miały liście REw w stosunku do CBw. Na stanowisku osłoniętym od wiatrów odnotowano z kolei wyższe wartości MP i EG u REo w porównaniu z CBo.
31. U różaneczników odmiany 'Roseum Elegans' (RE) na stanowisku osłoniętym stwierdzono większą grubość miękiszu palisadowego i grubszą epidermę górną, ale mniejszą miękiszu gąbczastego i kutykuli oraz mniejsze całkowite otwarcie porów aparatu szparkowego.
32. Całkowite otwarcie porów aparatu szparkowego na stanowisku wietrznym było wyższe u różaneczników z grupy *catawbiense*: 'Catawbiense Boursault' i 'Roseum Elegans' niż u różanecznika *caucasicum* 'Cunningham's Snow White' na stanowisku zacienionym. Sugeruje to, że *Rh. catawbiense* mogą być bardziej podatne na wysuszenie liści.
33. Gęstość rozmieszczenia CH była mniejsza u różaneczników CSW ze stanowiska słonecznego niż zacienionego. Może to wynikać z przemieszczania się CH pod ściany komórkowe, równoległe do kierunku padania światła w reakcji ucieczki, co przyczynia się do zmniejszenia ryzyka uszkodzeń wywołanych zbyt silnym światłem. U CB wartości tego parametru były niższe na stanowisku osłoniętym niż wietrznym, a u RE nie różniły się statystycznie.

## 7. SPIS LITERATURY

Adamiec M., Jackowski G. 2008. Molekularne odpowiedzi aparatu fotosyntetycznego roślin na długoterminowe zmiany natężenia światła. *Post. Bioch.*, 54, 4, 393-401.

Adams III W.W., Demmig-Adams B., Rosenstiel T.N., Ebbert V., Brightwell A.K., Barker D.H., Carter C.R. 2001. Photosynthesis, xanthophylls, and D1 phosphorylation under winter stress. [w]: 12th International Congress on Photosynthesis, Melbourne, Australia.

Adams III W.W., Zarter C.R., Ebbert V., Demmig-Adams B. 2004. Photoprotective strategies of overwintering evergreens. *Biosc.*, 54, 41-49.

Akhtar P., Gorfol F., Garab G., Lambrev P. H. 2019. Dependence of chlorophyll fluorescence quenching on the lipid-to-protein ratio in reconstituted light-harvesting complex II membranes Contain lipid labels. *Chem. Phys.*, 522, 242-248.

Aleksandrov V., Krasteva V., Paunov M., Chepishева M., Kousmanowa M., Kalaji M.H., Goltsev V. 2014. Deficiency of some nutrient elements in bean and maize plants analyzed by luminescent method. *Bulg. J. Agricult. Sci.*, 20, 24-30.

Allen J.F., de Paula W.B.M., Puthiyaveetil S., Nield J. 2011. A structural phylogenetic map for chloroplast photosynthesis. *Trends in Plant Sci.* 16,12, 645-655.

Anonim 1986. Insight in color. CIE L\* a\* b\* color space 1986. Hunter Lab 2012, Applications Note, 8, 7. [http://www.hunterlab.com/appnotes/an07\\_96.pdf](http://www.hunterlab.com/appnotes/an07_96.pdf), 12.02.2019.

Appenroth K.J., Stöckel J., Srivastava A., Strasser R.J. 2001. Multiple effects of chromate on the photosynthetic apparatus of *Spirodela polyrhiza* as probed by OJIP chlorophyll *a* fluorescence measurements. *Environ. Pollution*, 115, 1, 49-64.

Arora R., 2013. Summary of 'Cellular Mechanism of Thermo-nasty in Rhododendron: 'Are Membrane Water Channel Proteins (aquaporins) Involved?'. *J. Amer. Rhodo. Soc.*, vol. 67, 4, 196-199.

Arora R., Wiśniewski M., Scorza R., 1992. Cold acclimation in genetically related (sibling) deciduous and evergreen peach (*Prunus persica* [L.] Batsch.). I. Seasonal changes in cold hardiness and polypeptides of bark and xylem tissues. *Plan Physiol.*, 99, 1562-1568.

Bach A., Pawłowska B., Pniak M., Bartyńska M., Kraus D., Malinowska Z., 2006. Badanie wpływu czynników biotycznych i abiotycznych na stan zieleni miejskiej Krakowa oraz dobór drzew i krzewów do nasadzeń. *Wyd. AR, Kraków*, 2-59.

Bach A., Pawłowska B., Pniak M., Bartyńska M., Kraus D., Malinowska Z. 2006. Badanie wpływu czynników biotycznych i abiotycznych na stan zieleni miejskiej Krakowa oraz dobór drzew i krzewów do nasadzeń. *Gmina Miejska Kraków, Urząd Miasta Krakowa, Wydz. Gosp. Kom. i Ochr. Środ.*, 2-59.

Baker, N.R., Rosenqvist, E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *J. Exp. Bot.*, 55, 1607-1621.

- Banaszczak P., Tumiłowicz J., 2007. Uszkodzenia mrozowe drzew i krzewów w Arboretum SGGW w Rogowie podczas zimy 2005/06 roku. *Rocz. Dendro.*, 55, 57-85.
- Baranowski T. 2010. Wpływ zabiegów pielęgnacyjnych na zdrowotność drzew w miastach. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 50, 4, 1569-1574.
- Barboriak D., Padua A., York G., Macfall J. 2005. Creation of DICOM-Aware Applications Using ImageJ. *J Digit Imaging*. 18, 2, 91-9.
- Bączek-Kwinta R., Kozieł A. 2010. [Reaction of photosynthetic apparatus of leaves and the field of heads of German chamomile subjected to drought.] – *Advances Agr. Sci.*, 545, 103-116.
- Bączek-Kwinta R., Kozieł A., Seidler-Łożykowska K. 2011. Are the fluorescence parameters of German chamomile leaves the first indicators of the anthodia yield in drought conditions?. *Photosynth.*, 49, 1, 87-97.
- Björkman O., Demmig B. 1987. Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, 170, 489-504.
- Blanusa T., Garratt M., Cathcart-James M., Hunt L., Cameron R.W.F. 2019. Urban hedges: A review of plant species and cultivars for ecosystem service delivery in north-west Europe. *Urban Forestry & Urban Greening*, 44, 1-16.
- Bołonkowska O., Pietrosiuk A., Sykłowska-Baranek K. 2011. Roślinne związki barwne, ich właściwości oraz możliwości wytwarzania w kulturach in vitro. *Biulet. Wydz. Farma. Warsz. Uniwer. Med.*, 1, 1-27.
- Borawska-Jarmułowicz B., Mastalerczuk G., Pietkiewicz S., Kalaji M.H. 2014. Low temperature and hardening effects on photosynthetic apparatus efficiency and survival of forage grass varieties. *Plant Soil Environ.*, 60, 177-183.
- Borek M., Bączek-Kwinta R., Rapacz M. 2016. Photosynthetic activity of variegated leaves of *Coleus x hybridus* hort. Cultivars characterised by chlorophyll fluorescence techniques. *Photosynth.*, 54, 3, 331-339.
- Borowski J., Pstrągowska M., 2010. Effect of street conditions, including saline aerosol, on growth of the small-leaved limes. *Rocz. Pol. Tow. Dendol.* 58, 15-24.
- Brown V.K., Lawton J.H., Grubb P.J., 1991. Herbivory and the evolution of leaf size and shape. *Philos. Trans. R Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 333, 265-272.
- Bruschi P., Grossoni P., Bussotti F. 2003. Within and among tree variation in leaf morphology of *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. natural populations. *Trees*, 17, 164-172.
- Bugała W., Chylarecki H., Bojarczuk T., 1980. Zrejonizowany dobór drzew i krzewów do uprawy w Polsce. *Arbor. Kórnickie* 25, 239-375.
- Cai S.Q., Xu D.Q. 2002. Light intensity-dependent reversible down-regulation and irreversible damage of PSII in soybean leaves. *Plant Sci.*, 163, 847-853.



- Cai YF, Li SF, Li SF, Xie WJ, Song J. 2014. How do leaf anatomies and photosynthesis of three *Rhododendron* species relate to their natural environments? *Bot. Studies* 55, 36, 1-9.
- Cameron R.W.F., Dixon G.R., 2000. The influence of temperature, day length and calendar date on cold tolerance of *Rhododendron*. *J. Hort. Sci. Biotechnol.*, 75, 4, 481-487.
- Cetner M.D., Dąbrowski P., Samborska I.A., Łukasik I., Swoczyna T. Pietkiewicz S., Bąba W., Kalaji H.M. 2016. Zastosowanie pomiarów fluorescencji chlorofilu w badaniach środowiskowych. *Probl. Nauk. Biol.*, tom 65, 2, 311, 197-205.
- Cetner M.D., Pietkiewicz S., Podlaski S., Wiśniewski G., Chołuj D., Łukasik I., Kalaji M.H. 2014. Photosynthetic Efficiency of Virginia Mallow (*Sida Hermaphrodita* (L.) Rusby) under Differentiated Soil Moisture Conditions. *Int. J. Sust. Water Environ. Syst.*, 6, 2, 89-95.
- Chalker-Scott L. 2002. Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues? *Advances in Botanical Research*, 37, 103-106.
- Chaurasia B., Shukla R.P. 2018. Spatial distribution, population structure and neighbour relation of *Trewia nudiflora* within forested vegetation of north eastern U.P., India. *Russ. J Ecol.*, 49, 507-516.
- Chen L.S., Li P., Cheng L. 2009. Comparison of thermotolerance of sun-exposed peel and shaded peel of „Fuji” apple. *Environ. Exp. Bot.*, 66, 110-116.
- Chojnowska E., 2000. Ocena odporności na przemarzanie czterech odmian ostrokrzewu mesery (*Ilex x meserveae*). Materiały Konf. Nowe technologie w szkółkarstwie ozdobnym. Poznań-Kórnik 8-9.09.2000, 67-68.
- Chojnowska E., Chojnowski M., 2003. Azalie, różaneczniki, wrzosy i inne wrzosowate. Wyd. Oficyna, Warszawa, 164-195.
- Chylarecki H., 1986. Podział Polski na rejony klimatyczne dla potrzeb doboru drzew i krzewów ozdobnych odpornych na niskie temperatury. W: Referaty i doniesienia. IV Ogólnopolskie Seminarium Grupy Roboczej „Mrozoodporność” 21-22.11.1985 Kórnik. Wyd. AR, Poznań, 109-117.
- Close D.C., Beadle C.L., Holz G.K., Brown P.H. 2002. Effect of shade cloth tree shelters on cold-induced photoinhibition, foliar anthocyanin and growth of *Eucalyptus globulus*. and *E. nitens* seedlings during establishment. *Aust. J. Bot.*, 50, 15-20.
- Collins T.J. 2007. ImageJ for microscopy. *Bio Techniques.*, 43,1, 25-30.
- Colom M.R., Prato E.P., Giannini R. 2003. Chlorophyll fluorescence and photosynthetic response to light in 1-year-old needles during spring and early summer in *Pinus leucodermis*. *Trees* 17, 207-210.
- Corcuera L., Morales F., Abadía A., Gil-Pelegrián E., 2005. Seasonal changes in photosynthesis and photoprotection in a *Quercus ilex* subsp. *ballota* woodland located in its upper altitudinal extreme in the Iberian Peninsula. *Tree Physiol.*, 25, 599-608.

- Cornelissen T., Stiling P. 2005. Sex biased herbivory: a meta-analysis of the effects of gender on plant herbivore interactions. *Oikos*, 111, 488-500.
- Czekalski M. 2015. Krzewy ozdobne mało znane. Ostrokrzew kolczasty. *Zieleń miejska*, 3, 28.
- Czekalski M., 1980. Aklimatyzacja różaneczników – *Rhododendron* ‘Catawbiense-Hybridum’ i *Rh.* ‘Cunningham’s White’ w Polsce. *Rocz. AR Pozn., Rozpr. Nauk.*, 102, 1-74.
- Czekalski M., 1982. Uszkodzenia mrozowe różaneczników w Polsce powstałe podczas zimy 1978/79 roku. *Rocz. AR Pozn., Ogrodnictwo*, 137, 3-14.
- Czekalski M., 1986. Dobór różaneczników zawsze zielonych do uprawy w Polsce. *Ogrodnictwo*, 7, 13-16.
- Czekalski M., 1999. Ogólna uprawa roślin ozdobnych. Wyd. AR, Wrocław, 9-236.
- Czekalski M., 2001. Wzrost i kwitnienie siedmiu taksonów różaneczników w Arboretum Leśnym w Laskach koło Kępna. *Erica Polonica*, 12, 39-50.
- Czekalski M., 2005. Wzrost młodych różaneczników zawsze zielonych w Arboretum Leśnym w Laskach. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.*, 504, 385-391.
- Czekalski M., 2008. Ulistnienie - ozdoba różaneczników zawsze zielonych poza okresem kwitnienia. *Zesz. Prob. Postęp. Nauk Rol.*, 525, 55-56.
- Czekalski M., Aniśko T., 1986. Znaczenie wody i cukrów dla przezimowania różaneczników zawsze zielonych. *Ogrodnictwo*, 11.29-31.
- Czubiński Z., Hellwig Z., Zielonko A., 1951. Dobory drzew i krzewów i bylin. Wyd. PWT, 1-163.
- Dai Y., Shen Z., Liu Y. 2009. Effects of shade treatments on the photosynthetic capacity, chlorophyll fluorescence, and chlorophyll content of *Tetrastigma hemsleyanum*. *Diels et Gilg. Environ. and Exp. Bot.* 65, 177-182.
- De Jong. S.M., Addink E., Hoogenboom P., Nijland W., 2012. The spectral response of *Buxus sempervirens* to different types of environmental stress - A laboratory experiment. *J. of Photogram. and Remote Sensing*, 74, 56-65.
- Dunn A.D., 2010. Siting green infrastructure: legal and policy solutions to alleviate urban poverty and promote healthy communities. *Boston Coll. Environ. Aff. Law Rev.*, 37, 41.
- Ebbert V., Demmig-Adams B., Adams III W.W., Mueh K.E., Staehelin L.A. 2001. Correlation between persistent forms of zeaxanthin-dependent energy dissipation and thylakoid protein phosphorylation. *Photosynth. Res.*, 67, 63-78.
- Falarz M., 1998, Wieloletnia zmienność pokrywy śnieżnej w Krakowie na tle zmian w obszarach podmiejskich, *Acta Geographica Lodziensia, Folia Geographica Physica*, 3, 473-481.

- Falarz M., 2007, Potencjalny okres występowania pokrywy śnieżnej w Polsce i jego zmiany w XX w., [w:] K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych, IGI GP UJ, 205-213.
- Fang MY, Fang RZ, He MY, Hu LZH, Yang HP. 2005. Flora of China, 14th edition. Sci. Press, Beijing, 260-455.
- Feild T.S., Lee D.W., Holbrook N.M. 2001. Why leaves turn red in autumn. The role of anthocyanins in senescing leaves of red-osier dogwood. *Plant Physiology*, 127, 566-574.
- Ferrante A., Maggiore T. 2007. Chlorophyll a fluorescence measurements to evaluate storage time and temperature of Valeriana leafy vegetables. *Postharvest Biol. Tec.* 45, 73-80.
- Ferreira T., Rasband W. 2012. ImageJ User Guide IJ 1.46r. Fiji. <https://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/user-guide.pdf> , (20.04.2021).
- Figuerola F.L., Conde-Álvarez R., Gómez I. 2003. Relations between electron transport rates determined by pulse amplitude modulated chlorophyll fluorescence and oxygen evolution in macroalgae under different light conditions. *Photosynth. Res.*, 75, 259-275.
- Fischer E.M., Schaä C., 2008. Future changes in daily summer temperature variability: driving processes and role temperature extremes. *Climate Dynamics*, 33, 7-8, 917-935.
- Fisher D.B. 1968. Protein staining of ribboned epon sections for light microscopy. *Histochemie* 16, 92-96.
- Fortuniak K., 2003, Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne, Wyd. Uniwer. Łódź., Łódź.
- Fortuniak K., Kłysik K., 2008, Osobliwości klimatu miast na przykładzie Łodzi, [w:] K. Kłysik, J. Wibig, K. Fortuniak (red.), Klimat i bioklimat miast, Wyd. Uniwer. Łódź., 477-488.
- Fracheboud Y., Leipner J. 2003. The application of chlorophyll fluorescence to study light, temperature, and drought stress. [red.]: De-Ell J.R., Toivonen P.M.A. [w]: Practical Applications of Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology, Kluwer Acad. Publ. Dordrecht: 125-150.
- Garstka M. 1999. Fotosynteza. Wydaw. Nauk.-Tech., Warszawa, 221-219.
- George D., Mallery M. 2010. SPSS for Windows Step by Step: A simple guide and Reference, Pearson, Boston. 36-45.
- Gilkey R., 1996a. Correlation between weather conditions and Rhododendron flower bud formation. *J. Am. Rhod. Soc.*, 50, 1, 38-40.
- Gilkey R., 1996b. Cold hardiness ranking of rhododendrons by means of flower bud damage. *J. Am. Rhod. Soc.*, 50, 2, 100-102.
- Gollop R., Even S., Colova-Tsolova V., Perl A. 2002. Expression of the grape dihydroflavonol reductase gene and analysis of its promoter region. *J. of Exp. Bot.*, 53, 1397-1409.

- Gould K., Kuhn D., Lee D., Oberbauer S., 1995. Why leaves are sometimes red. *Nature*, 378: 242-243.
- Grace S.C., Logan B.A. 1996. Acclimation of foliar antioxidant systems to growth irradiance in three broad-leaved evergreen species. *Plant Physiology*, 112, 1631-1640.
- Gratani L., Ghia E. 2002. Adaptive strategy at the leaf level of *Arbutus unedo* L. to cope with Mediterranean climate. *Flora*, 197, 4, 275-284.
- Gruszecki W. I., Grudzinski W., Gospodarek M., Patyra M., Maksymiec W. 2006. Xanthophyll-induced aggregation of LHCII as a switch between light-harvesting and energy dissipation systems. *Biochim. Biophys. Acta, Bioenerg.*, 1757, 11, 1504-1511.
- Grzesiuk A., Dębski H., Horbowicz M. 2008. Wpływ wybranych czynników na akumulację antocyjanów w roślinach. *Post. Nauk Roln.*, 1, 81-91.
- Haaland C., Van den Bosch C.K., 2015. Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: a review. *Urban For. Urban Green*, 14, 4, 760-771.
- Hammerschmidt R., Nicholson R.L. 1977. Resistance of maize to anthracnose: changes in host phenols and pigments. *Phytopathology*, 67, 251-258.
- Han Q., Shinohara K., Kakubari Y., Mukai Y. 2003. Photoprotective role of rhodoxanthin during cold acclimation in *Cryptomeria japonica*. *Plant Cell Environ.*, 26, 715-723.
- Heinze W., Schreiber D., 1984. Eine neue Kartierung der Winterhärtezone für Gehölze in Europa [A new mapping of winter hardiness zones for woody plants in Europe. *Mitteilungen der Deutschen*]. *Mitt. Dtsch. Dendrol. Ges.* 75, 11–56.
- Hellwig Z., Białobok S., 1955. *Drzewoznawstwo*. Wyd. PWRiL.
- Henry, A., Chopra, S., Clark, D.G. 2012. Responses to low phosphorus in high and low foliar anthocyanin coleus (*Solenostemon scutellarioides*) and maize (*Zea mays*). *Functional Plant Biology*, 39, 3, 255-265.
- Hermans C., Smeyers M., Rodriguez R.M., Eyletters M., Strasser R.J., Delhaye J.P. 2003. Quality assessment of Reirurban trees: a comparative study of physiological characterisation, airborne imaging and on site fluorescence monitoring by the OJIP-test. *J. of Plant Physio.*, 160, 1, 81-90.
- Herold M., Roberts D.A., Gardner E., Dennison P.E. 2013. Spectrometry for urban area remote sensing – Development and analysis of a spectral library from 350 to 2400 nm. *Remote Sensing of Environment*, 91, 304-319.
- Hoch W.A., Zeldin E.L., McCown B.H. 2001. Physiological significance of anthocyanins during autumnal leaf senescence. *Tree Physiology*, 21, 1-8.
- Hołubowicz T. 1984. Odporność na uszkodzenia mrozowe. W: *Fizjologia roślin sadowniczych*. Red. L.S. Jankiewicz. PWN, Warszawa, 647-690.

- Hormaetxe K., Becerrill J.M., Fleck L., Pinto M., García-Plazaola J.L. 2005. Functional role of red (retro)-carotenoids as passive light filters in leaves of *Buxus sempervirens* L.: increased protection of photosynthetic tissues? *J. of Exp. Bot.*, 56, 420, 2629-2636.
- Hormaetxe K., Becerrill J.M., Hernández A., Esteban A., García-Plazaola J.L., 2006. Plasticity of photoprotective mechanisms of *Buxus sempervirens* L. leaves in response to extreme temperatures. *Plant Biology*, 9, 1, 59-68.
- Hormaetxe K., Hernández A., Becerrill J.M., García-Plazaola J.L. 2004. Role of red carotenoids in photoprotection winter acclimation in *Buxus sempervirens* leaves. *Plant Biology*, 6, 3, 325-332.
- Horton P., Ruban A. V., Rees D., Pascal A. A., Noctor G., Young A. J. 1991. Control of the light-harvesting function of chloroplast membranes by aggregation of the LHCII chlorophyll-protein complex. *FEBS Lett.*, 292, 144.
- Huang K., Liao Y., Dong T., 2018. Sex specific responses of tree ring growth to climate in the dioecious tree *Populus cathayana*. *J. Plant Ecol.*, 11, 771-779.
- Hughes N. M., Neufeld H. S., Burkey K. O. 2005. Functional role of anthocyanins in high-light winter leaves of the evergreen herb *Galax urceolata*. *New Phytologist* 2005, 168, 575-587.
- Hughes N.M., Burkey K.O., Cavender-Bares J., Smith W.K. 2012. Xanthophyll cycle pigment and antioxidant profiles of winter-red (anthocyanic) and winter-green (acyanic) angiosperm evergreen species. *J. of Exp. Bot.*, 63, 5, 1895-1905.
- Hughes N.M., Neufeld H.S., Burkey K.O. 2005. Functional role of anthocyanins in high-light winter leaves of the evergreen herb *Galax urceolata*. *New Phytologist*, 168, 575-587.
- Hughes N.M., Reinhardt K., Gierardi A., Feild T.S., Smith W.K. 2010. Association between winter anthocyanin production and drought stress in angiosperm evergreen species. *J. of Exp. Bot.*, 61, 1699-1709.
- Hussain M.I., Reigosa M.J. 2011. A chlorophyll fluorescence analysis of photosynthetic efficiency, quantum yield and photon energy dissipation in PSII antennae of *Lactuca sativa* L. leaves exposed to cinnamic acid. *Plant Physiol. and Bioch.*, 49, 11, 1290-1298.
- Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badwaczy, <https://meteo.imgw.pl/>, (20.05.2023).
- Jacobs G. 2002. Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection. *New Phytologist*, 155, 349-361.
- Janik E., Bednarska J., Zubik M., Luchowski R., Mazur R., Sowinski K., Grudzinski W., Garstka M., Gruszecki W. I. 2017. A chloroplast "wake up" mechanism: Illumination with weak light activates the photosynthetic antenna function in dark-adapted plants. *J. Plant Physiol.*, 210, 1-8.
- Janik E., Bednarska J., Zubik M., Puzio M., Luchowski R., Grudzinski W., Mazur R., Garstka M., Maksymiec W., Kulik A., Dietler G., Gruszecki W. I. 2013. Molecular architecture of plant

thylakoids under physiological and light stress conditions: A study of lipid-light-harvesting complex II model membranes. *Plant Cell*, 25, 2155-2170.

Jeanette E., Reyss A., Gregory N., Gantet P., Prioul J.L. 2000. Carbohydrate metabolism in a heat-girdled maize source leaf. *Plant, Cell & Environment*, 23, 61-69.

Johnson G.N, Young A.J., Scholes J.D., Horton P. 1993. The dissipation of excess excitation energy in British plant species. *Plant Cell and Environment*, 16: 673-690.

Johnson M. P., Goral T. K., Duffy C. D. P., Brain A. P. R., Mullineaux C. W., Ruban A. V. 2011. Photoprotective Energy Dissipation Involves the Reorganization of Photosystem II Light-Harvesting Complexes in the Grana Membranes of Spinach Chloroplasts. *Plant Cell*, 23, 4, 1468-1479.

Kabir M.F., Moritz K.K., Stenberg J.A. 2014. Plant sex biased tritrophic interactions on dioecious willow. *Ecosphere*, 5, 153.

Kacperska A. 1986. Współczesne poglądy na mechanizm uszkodzeń mrozowych w komórkach roślinnych. W: Referaty i doniesienia. IV Ogólnopolskie Seminarium Grupy Roboczej „Mrozoodporność” 21-22.11.1985 Kórnik. Wyd. AR, Poznań, 13-37.

Kalaji H.M. 2011. Oddziaływanie abiotycznych czynników stresowych na fluorescencję chlorofilu w roślinach wybranych odmian jęczmienia *Hordeum vulgare* L. Wyd. SGGW, Rozpr. Nauk. i Monogr., Warszawa, 378, 1-176.

Kalaji H.M., Guo P. 2008. Chlorophyll fluorescence: a useful tool in barley plant breeding programs. (red.): Sánchez A., Gutiérrez S.J. [w]: Photochemistry Research Progress. Nova Sci. Publ. Inc., New York, 439-463.

Kalaji H.M., Jajoo A., Oukarroum A. 2016. Chlorophyll *a* fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. *Acta Physiol. Plant.*, 38, 102.

Kalaji H.M., Oukarroum A., Alexandrov V., Kouzmanova M., Brestic M., Zivack M., Samborska I. A., Cetner M.D., Allakhverdiev S.I., Goltsev V. 2014a. Identification of nutrient deficiency in maize and tomato plants by in vivo chlorophyll *a* fluorescence measurements. *Plant Physiol. Biochem.*, 81, 16-25.

Kalaji H.M., Rastogi A., Živčák M., Brestic M., Daszkowska-Golec A., Sitko K., Alsharafa K.Y., Lotfi R., Stypiński P., Samborska I.A., Cetner M.D. 2018. Prompt chlorophyll fluorescence as a tool for crop phenotyping: an example of barley landraces to various abiotic stress factors. *Photosynthetica*, 56, 3, 953-961.

Kalaji H.M., Rutkowska A. 2004. Reakcje aparatu fotosyntetycznego siewek kukurydzy na stres solny. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 496, 545-558.

Kalaji H.M., Schansker G., Ladle R.J., Goltsev V., Bosa K., Allakhverdiev S.I., Brestic M., Bussotti F., Calatayud A., Dąbrowski P., Elsheery N.I., Ferroni I., Guidi I., Hogewoning S.W., Jajoo A., Misra A.N., Nebauer S.G., Pancaldi S., Penella C., Poli D.B., Pollastrini M., Romanowska-Duda Z.B., Rutkowska B., Serôdio J., Suresh K., Szulc W., Tambussi E.,

- Yannicari M., Zivack M. 2014b. Frequently asked questions about in vivo chlorophyll fluorescence: practical issues. *Photosynth. Res.*, 122, 121-158.
- Kalaji M.H., Goltsev V.N., Żuk-Gołaszewska K. 2017b. *Chlorophyll Fluorescence: Understanding Crop Performance – Basics and Applications*. CRC Press, Boca Raton, 222.
- Kalaji M.H., Łoboda T. 2010. Fluorescencja chlorofilu w badaniach stanu fizjologicznego roślin. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 9-26, 29-38, 63-66.
- Kangatharalingam N., Pierce M.L., Bayles M.B., Essenberg M. 2002. Epidermal anthocyanin production as an indicator of bacterial blight resistance in cotton. *Physiol. Mol. Plant Path.*, 61, 1, 189-195.
- Katalog roślin. Drzewa, krzewy, byliny. 2016. Red. Wyd. Agencja Promocji Zieleni, Warszawa, 1-492.
- Kawabata S., Kusuhara Y., Li Y., Sakiyama R. 1999. The regulation of anthocyanin biosynthesis in *Eustoma grandiflorum* under low light conditions. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 68, 519-526.
- Kazimierska M. 2014. Obiektywna ocena barwy wyrobów użytkowych. *Technologia i Jakość Wyrobów*, 59, 44-47.
- Kondracki J., 2002. *Geografia regionalna Polski*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 1-441.
- Kopcewicz J., Lewak S. 2018. *Fizjologia roślin*. Wyd. nauk. PWN, 274-333.
- Korgiopoulou C., Bresta P., Nikolopoulos D., 2019. Sex specific structural and functional leaf traits and sun-shade acclimation in the dioecious tree *Pistacia vera* (Anacardiaceae). *Funct. Plant Biol.*, 46, 649-659.
- Kosiba A., Nothnagal M., Alsanus B.W., Larsen R.U. 2005. Analysis of rythmic growth in holly (*Ilex x meserveae*) grown in controlled conditions. *Scien. Hort.*, 104, 3, 325-337.
- Kosiński W., 2011. Zieleń w polskich osiedlach mieszkaniowych z lat 1920-2010. [w: Szulczewska B., Giedych R., red., *Przestrzeń przyrodnicza i społeczna osiedli mieszkaniowych w XX i XXI wieku*]. Warszawa: Wyd. SGGW, 61-91.
- Kröber W., Heklau H., Bruelheide H., 2015. Leaf morphology of 40 evergreen and deciduous broadleaved subtropical tree species and relationships to functional ecophysiological traits. *Plant Biol.*, 17, 373-383.
- Krüssmann G., 1960. *Handbuch der Laubgehölze*. B. 1. [Handbook of deciduous. Part 1]. Paul Parey, Berlin-Hamburg, 495.
- Krüssmann G., 1962. *Handbuch der Laubgehölze*. B. 2. [Handbook of deciduous. Part 2]. Paul Parey, Berlin-Hamburg, 608.
- Krüssmann G., 1972. *Handbuch der Nadelgehölze* [Handbook of conifers]. Paul Parey, Berlin-Hamburg, 366.

- Kubiak J., Księżniak A., 2005. Przyrodnicze uwarunkowania zadrzewień na obszarach zurbanizowanych. Teka Kom. Arch. Urb. Stud. Krajobr. – OL PAN, 168-176.
- Kuckenbergh J., Tartachnyk I., Noga G. 2009. Temporal and spatial changes of chlorophyll fluorescence as a basis for early and precise detection of leaf rust and powdery mildew infections in wheat leaves. *Precis. Agric.*, 10, 34-44.
- Latkowska M. 2011. „Community gardens”, czyli ogrody sąsiedzkie – nowe formy zieleni w przestrzeni miejskiej, referat na XVIII konferencji naukowej z cyklu sztuki ogrodowej i dendrologii historycznej nt: historyczne i współczesne ogrody w krajobrazie miasta, Kraków, (3.11.2011).
- Latocha P. 1999. Obserwacje mrozoodporności 31 gatunków i odmian roślin okrywowych w warunkach polowych (1995-1998). *Rocznik dendrologiczny*, 47, 155-164.
- Lee D.W., Gould K.S. 2002. Why leaves turn red. *American Scientist*, 90, 524-531.
- Lewińska J., 2000, Klimat miasta, zasoby, zagrożenia, kształtowanie, IGPIK, Kraków.
- Li Y., Zou D., Shrestha N., 2020. Spatiotemporal variation in leaf size and shape in response to climate. *J. Plant Ecol.*, 13, 87-96.
- Liakopoulos, G., Nikolopoulos, D., Klouvatou, A. 2006. The photoprotective role of epidermal anthocyanins and surface pubescence in young leaves of grapevine (*Vitis vinifera*). *Ann. Bot.* 98, 257-265.
- Liakopoulos, G., Spanorigas, I. 2012. Foliar anthocyanins in *Pelargonium x hortorum* are unable to alleviate light stress under photoinhibitory conditions. *Photosynthetica*, 50, 254-262.
- Liakoura, V., Bornman J.E., Karabourniotis G. 2003. The ability of abaxial and adaxial epidermis of sun and shade leaves to attenuate UV-A and UV-B radiation in relation to the UV absorbing capacity of the whole leaf methanolic extracts. *Physiol. Plant.* 117, 33-43.
- Liang Y., Chen H., Tang M.J. 2007. Responses of *Jatropha curcas* seedlings to cold stress: photosynthesis-related proteins and chlorophyll fluorescence characteristics. *Physiol. Plantarum*, 131, 508-517.
- Lichtenthaler H.K. 2007. Biosynthesis, accumulation and emission of carotenoids, *a* – tocopherol, plastoquinone, and isoprene in leaves under high photosynthesis irradiance. *Photosynth. Res.*, 92, 163-179.
- Lis A., Burdziński J. 2007. Zieleń osiedlowa w mieście – czynniki wpływające na zaspokojenie potrzeb społecznych. *Zesz. Nauk. Polit. Śląsk.*, seria: Architektura, 45, 1745. 55-65.
- Logan, B.A., Stafstrom, W.C., Walsh, M.J.L. 2015. Examining the photoprotection hypothesis for adaxial foliar anthocyanin accumulation by revisiting comparisons of green- and red-leaved varieties of coleus (*Solenostemon scutellarioides*). *Photosyn. Resear.* 124, 267-274.
- Lootens P., Ruttink T., Rhode A. 2016. High-throughput phenotyping of lateral expansion and regrowth of spaced *Lolium perenne* plants using on-field image analysis. *Plant Meth.*, 12, 32.



- Lorberg S.H., 2010. Szkółki drzew. Wyd. Baumschulerzeugnisse GmbH Co. KG, Kat. 82, 158.
- ŁUKASIEWICZ A., 1987. Wpływ surowej zimy 1984/85 na drzewa i krzewy w Ogrodzie Botanicznym UAM w Poznaniu. *Wiad. Bot.*, 31, 4,5-36.
- Łukasiewicz S., 2010. Drzewa i krzewy polecane do obsadzeni ulicznych w miastach. [w: *Rośliny do zadań specjalnych*]. Red. M. Drozdek. Wydaw. PWSZ Sulechów.
- Łysiak G. 2012. The base colour of fruit as an indicator of optimum harvest date for two apple cultivars (*Malus domestica* Borkh.). *Folia Hort.*, 24/1, 81-89.
- Mackay D.A, Whalen M.A. 1996. Geographic variation in and defence of a widespread. Australian euphorb. *Aust Syst Bot.*, 9, 235-242.
- Malinowska K. 2012. Oddziaływanie warunków miejskich na niektóre parametry fizjologiczne wybranych gatunków drzew w Szczecinie. Wyd. Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, Szczecin, 7-94.
- Manetas Y. 2006. Why some leaves are anthocyanic and why most anthocyanic leaves are red? *Flora*, 201, 163-177.
- Marciniak K., Wójcik G., 1991, The variation of sunshine duration in the middle part of northern Poland during the period 1946–1989, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 396, 109–115.
- Marcinkowski J., 1986/87. Odporność liści różaneczników zimozielonych (*Rhododendron* sp.) na niskie temperatury. *Rośliny Ozdobne, Prace ISiK, ser. B*, 11, 185-191.
- Marcysiak K. 2012. Variation of leaf shape of *Salix herbacea* in Europe. *Plant Syst. Evol.*, 298,1597-1607.
- Mathur S., Jajoo A., Mehta P., Bharti S. 2011. Analysis of elevated temperature-induced inhibition of photosystem II using chlorophyll a fluorescence induction kinetics in wheat leaves (*Triticum aestivum*). *Plant Biol.*, 13, 1-6.
- Mathur S., Kalaji H.M., Jajoo A. 2016. Investigation of deleterious effects of chromium phytotoxicity and photosynthesis in wheat plant. *Photosynthetica*, 54, 185-192.
- Matuszko D., Piotrowicz K. 2015. Cechy klimatu miast a klimat Krakowa. Wyd. Inst. Geo. i Gosp. Przestrz. UJ Kraków, tom 1, 221-241.
- Matuszko D., Piotrowicz K., Kowanetz L., 2014, *Klimat*, [w:] B. Degórska, M. Baścik ( red. ), Środowisko przyrodnicze Krakowa. Zasoby – Ochrona – Kształtowanie, Inst. Geo. i Gosp. Przestrz. UJ, Kraków, 81-108.
- Maxwell K., Johnson G.N. 2000(A). Chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants. *CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 19, 29-85.
- Maxwell K., Johnson N.G. 2000(B). Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *J. Exp. Bot.*, 51, 659-668.

- McNamara S., Pellet H., Florkowska M., Lindstrom O., 2002. Comparison of the cold hardiness of landscape tree and shrub cultivars growing at disparate geographic locations. *J. Environ. Hort.*, 20, 2, 77-81.
- Mehta P., Jajoo A., Mathur S., Bharti S. 2010. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. *Plant Physiol. Bioch.*, 48, 16-20.
- Meroni M., Rossini M., Guanter L. 2009. Remote sensing of solar-induced chlorophyll fluorescence: Review of methods and applications. *Remote Sens. Environ.*, 113, 2037-2051.
- Mill RR, Stark Schilling DM. 2009. Cuticle micromorphology of *Saxegothaea* (*Podocarpaceae*). *Bot. J. Linn Soc.*, 159, 58-67.
- Mohsenin N.N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Public, New York., 841-881.
- Morsink W.A.G., 2000. Estimating hardiness using cold duration and extent of shelter. *J. Am. Rhod. Soc.*, 54, 2, 70-73.
- Motonaga Y., Kameoka T., Hashimoto A. 1997. Constructing color image processing system for managing the surface color of agricultural products. *J. Japanese Soc. Agric. Machin.*, 59, 3, 13-21.
- Murchie E.H., Lawson T. 2013. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *J. Exp. Bot.*, 64, 3983-3998.
- Natali A., Gruber J. M., Dietzel L., Stuart M. C. A., van Grondelle R., Croce R. 2016. Light harvesting Complexes (LHCs) Cluster Spontaneously in Membrane Environment Leading to Shortening of Their Excited State Lifetimes. *J. Biol. Chem.*, 291, 32, 16730-16739.
- Neill S.O., Gould K.S., Kilmartin P.A., Mitchell K.A., Markham K.R. 2002. Antioxidant activities of red versus green leaves in *Elatostema rugosum*. *Plant, Cell & Environment*, 25, 539-547.
- Neill, S., Gould, K.S. 2003. Anthocyanins in leaves: light attenuators or antioxidants?. *Funct. Plant. Biol.* 30, 865-873.
- Nick W. 2011. WinDIAS 3. Image Analysis System., 2-70.
- Nicotra A.B., Leigh A., Boyce C.K., 2011. The evolution and functional significance of leaf shape in the angiosperms. *Funct. Plant Biol.*, 38, 535-552.
- Niemczyk H. 2009. Zdolność rzepaku ozimego do wyrównania plonu z nieobsianej powierzchni ścieżek technologicznych. *Fragm. Agrom.* 26, 3, 128-136.
- Nilsen E.T, Tolbert A., 1993. Does winter leaf curling confer cold stress tolerance in *Rhododendron*? *J. Amer. Rhod. Soc.*, 47, 98-104.
- Nilsen E.T. 1992. Thermonastic leaf movements: A synthesis of research with *Rhododendron*. *Bot. J. Linn. Soc.* 110, 205-233.

- Nowak-Dyjeta K., Giertych M.J., Thomas P., 2017. Males and females of *Juniperus communis* L. and *Taxus baccata* L. show different seasonal patterns of nitrogen and carbon content in needles. *Acta Physiol Plant*, 39, 191.
- Nowakowska M., Baran J., 2007. Uszkodzenia mrozowe drzew i krzewów rosnących w Ogrodzie Dendrologicznym w Glinnej podczas zimy 2005/2006. *Rocz. Dendro.*, 55, 129-140.
- Oliveira G., Peñuelas J. 2000. Comparative photochemical and phenomorphological responses to winter stress of an evergreen (*Quercus ilex* L.) and a semi-deciduous (*Cistus albidus* L.) Mediterranean woody species. *Acta Oecologica*, 21, 2, 97-107.
- Ostasiewicz W. 2011. *Badania statystyczne*. Wyd. Oficyna, Warszawa.
- Ozkan M., Kirca A., Cemeroglu B. 2003. Effect of moisture content on CIE color values in dried apricots. *European Food Res. Techn.*, 2016-2019.
- Pajek M., 2000–2001, Charakterystyka pokrywy śnieżnej w obszarze miejskim i wiejskim na przykładzie Krakowa i Gaika-Brzezowej, *Folia Geographica*, seria *Geographica-Physica*, 31-32, 85-99.
- Papageorgiou G.C., Govindjee. 2011. Photosystem II fluorescence: slow changes - scaling from the past. *J. Photochem. Photobiol. B.*, 104, 258-270.
- Peng, Y., R. Arora, G. Li, X. Wang, and A. Fessehaie. 2008. Rhododendron catawbiense plasma membrane intrinsic proteins are aquaporins, and their over-expression compromises constitutive freezing tolerance and cold acclimation ability of transgenic Arabidopsis plants. *Plant Cell and Environ.*, 31, 1275-89.
- Pietrini F., Iannelli M.A., Massacci A. 2002. Anthocyanin accumulation in the illuminated surface of maize leaves enhances protection from photo-inhibitory risks at low temperature, without further limitation to photosynthesis. *Plant Cell and Environ.*, 25, 1251-1259.
- Pilarski J., Tokarz K., Kocurek M. 2012. Adaptacja roślin do składu spektralnego i intensywności promieniowania. *Prace Instytutu Elektrotechniki*, 256, 224-236.
- Pino, M.T., Skinner J.S., Jeknic Z., Hayes P.M., Soeldner A.H., Thomashow M.F., Chen T.H. 2008. Ectopic AtCBF1 overexpression enhances freezing tolerance and induces cold acclimation-associated physiological modifications in potato. *Plant Cell Environ.* 31, 393-406.
- Podymiak M., 2011. Wartość roślin w zieleni miejskiej. *Szkółkarstwo*, 3, 30-33.
- Poorter L, Bongers F. 2006. Leaf traits are good predictors of plant performance across 53 rain forest species. *Ecology* 87, 1733-1743.
- Porcar-Castell A., Peñuelas J., Owen S.M., Llusà J., Munné-Bosch S., Bäck J. 2009. Leaf carotenoid concentrations and monoterpene emission capacity under acclimation of the light reactions of photosynthesis. *Boreal Environment Research Publishing Board*, 14, 794-806.
- Price T.D., Qvarnström A., Irwin D.E. 2003. The role of phenotypic plasticity in driving genetic evolution. *Proceedings Biological Sciences*, 270, 1523, 1433-1440.

- Pugh T.A.M., MacKenzie A.R., Whyatt J.D., Hewitt C.N., 2012. Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. *Environ. Sci. Technol.*, 46, 14, 7692-7699.
- Rabska M. 2020. Aromatyczny wojownik. *Kórniczanie*, 1, 20.
- Rabska M., Warwick N.W.M., Iszkuło G., Gross C.L. 2020. Intersexual differences leaf size and shape in dioecious *Adriana tomentosa*. *J. of Plant Ecol.*, 14, 67-83.
- Rajendran L., Suvarnalatha G., Ravishankar G.A., Venkataraman L.V. 1994. Enhancement of anthocyanin production in callus cultures of *Daucus carota* L. under the influence of fungal elicitors. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 42, 227-231.
- Rapacz M., Tyrka M., Kaczmarek W., Gut M., Wolanin B., Mikulski W. 2008. Photosynthetic Acclimation to Cold as a Potential Physiological Marker of Winter Barley Freezing Tolerance Assessed under Variable Winter Environment. *J. of Agro. and Crop Sci.*, 194, 1, 61-71.
- Rehder A. 1927. *Rehder's Manual of Cultivated Trees and Shrubs. Reviewed Work: Manual of Cultivated Trees and Shrubs Hardy in North America by Alfred Rehder. Vol. 29, 339, 48-51.*
- Royer D.L., Wilf P. 2006. Why do toothed leaves correlate with cold climates? Gas exchange at leaf margins provides new insights into a classic paleotemperature proxy. *Int. J. Plant. Sci.*, 167, 11-18.
- Rozas V., Le Quesne C., Rojas-Badilla M., 2019. Climatic cues for secondary growth and cone production are sex- dependent in the long-lived dioecious conifer *Araucaria araucana*. *Agric. For Meteorol.*, 274, 132-143.
- Russell R.B., Lei T.T., Nilsen E.T., 2009. Freezing induced leaf movements and their potential implications to early spring carbon gain: *Rhododendron maximum* as exemplar. *Functional Ecology*, 23, 463-471.
- Rybczyński R., Dobrzański B. 2004. Ocena barwy skórki jabłek różnych odmian po przechowaniu. *Acta Agrophysica*, 4, 2, 501-507.
- Rzeszotarska-Pałka M. 2012. Rewitalizacja terenów zieleni osiedlowej szansą dla dwudziestowiecznych blokowisk? *Wyd. PK, Czas. Tech. Technical Transactions*, 1, 109, 158-164.
- Samecka-Cymerman A., Kempers A.J., 1999. Bioindication of heavy metals in the town Wrocław (Poland) with evergreen plants. *Atmospheric Environ.*, tom 33, 3, 419-430.
- Scagel C.F. 2007. Seasonal variation in growth, nitrogen uptake and allocation by container-grown evergreen and deciduous *Rhododendron* cultivars. *Hort. Sci.* 42, 1440-1449.
- Schneider C.A., Rasband W.S., Eliceiri K.W. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat. Methods*. 9, 7, 671-675.
- Scott A.K., Panhuis T.M., Stoehr A.M. 2012. Phenotypic Plasticity: Molecular Mechanisms and Adaptive Significance. *Americ. Physio. Soc.*, 2, 2, 1417-1439.

- Seneta W., Dolatowski J. 2011. *Dendrologia*. Wydawnictwo naukowe PWN., 422-424.
- Seneta W., Dolatowski J., 2011. *Dendrologia*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 343-344.
- Sharma D.K., Andersen S.B., Ottosen C.O., Rosenqvist E. 2015. Wheat cultivars selected for high FV/FM under heat stress maintain high photosynthesis, total chlorophyll, stomatal conductance, transpiration and dry matter. *Physiologia plantarum*, 153, 284-298.
- Shepherd, T., Griffiths D.W. 2006. The effects of stress on plant cuticular waxes. *New Phytol.* 171, 469-499.
- Simonin K., Burns E., Choat B., Barbour M. M., Dawson T. E., Franks J. K. 2015. Increasing leaf hydraulic conductance with transpiration rate minimizes the water potential drawdown from stem to leaf. *J. of Exp. Bot.*, 66, 5, 1303-1315.
- Sims D.A., Gamon J.A. 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environ.*, 81, 337-354.
- Singh V., Pallaghy C.K., Singh D. 2006. Phosphorus nutrition and tolerance of cotton to water stress. I. Seed cotton yield and leaf morphology. *Field Crop Res.*, 96, 191-198.
- Stankiewicz D. 2007. Skutki suszy w rolnictwie polskim. *Infos*, 6, 1-4.
- Starck Z., Chołuj D., Niemyska B., 1995. Fizjologiczne reakcje roślin na niekorzystne czynniki środowiska. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Steyn W.J., Wand S.J.E., Holcroft D.M., Jacobs G. 2002. Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection. *New Phytol.*, 155, 349-361.
- Stirbet A., Lazár D., Kromdjik J., Govindjee. 2018. Chlorophyll *a* fluorescence induction: Can just a one-second measurement be used to quantify abiotic stress responses?. *Photosynthetica*, 56, 1, 86-104.
- Strasser R.J., Srivastava A., Tsimilli-Michael M. 2000. The fluorescent transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. (red.): Yunus M., Pathre, U., Mohanty P. [w]: *Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation*. Taylor and Francis, London 445-483.
- Strasser R.J., Tsimilli-Michael M., Srivastava A. 2004. Analysis of the chlorophyll fluorescence transient. [W] *Chlorophyll Fluorescence: A Signature of Photosynthesis*. Advances in Photosynthesis and Respiration. Papageorgiou G.C., Govindjee, Springer, Dordrecht, Holland, 321-362.
- Stribet A., Riznichenko G.Yu., Rubin A.B. 2014. Modeling chlorophyll *a* fluorescence transient: relation to photosynthesis. *Biochemistry (Moscow)*, 79, 4, 291-323.
- Strihz I.G., Lysenko G.G., Neverov K.V. 2005. Photoreduction of molecular oxygen in preparation of photosystem II under photoinhibitory conditions. *Rus. J. Plant Physiol.*, 52, 717-723.

- Suchocka M. 2011a. Wpływ zmiany warunków siedliskowych na stan drzewostanu na terenach inwestycji. *Człowiek i Środowisko*, 35,1-2, 73-91.
- Sulkiewicz M., Ciereszko I. 2016. Fluorescencja chlorofilu *a* – historia odkrycia o zastosowanie w badaniach roślin. *Kosmos*, 65, 1, 103-115.
- Sumbele S., Fotelli M.N., Nikolopoulos D., 2012. Photosynthetic capacity is negatively correlated with the concentration of leaf phenolic compounds across a range of different species. *AoB Plants*, 2012, 25.
- Swoczyna T., Kalaji H.M., Pietkiewicz S., Borowski J., Zaraś-Januszkiewicz E., 2010a. Monitoring young urban trees tolerance to roadside conditions by application of chlorophyll fluorescence technique. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.*, 545, 303-309.
- Szopa M., Zygmunt M., Mierczyk J. 2009. Metoda korekcji charakterystyk odbiciowych wybranych materiałów naturalnych i sztucznych w skanerze laserowym średniego zasięgu. *Biuletyn WAT*, Vol. LVIII, 1, 100-122.
- Szweykowska A., Szweykowski J. 2010. *Botanika. Morfologia. Tom I.* Wyd. PWN, 45-52.
- Szymanowski M., 2004, *Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu*, *Studia Geograficzne*, 77, Wyd. UW, Wrocław.
- Świdorski, A., P. Muras, and H. Koloczek. 2004. Flavonoid composition in frost-resistant *Rhododendron* cultivars grown in Poland. *Scie. Hort.* 100, 139-151.
- Takahashi, S., Badger, M.R. 2011. Photoprotection in plants: a new light on photosystem II damage. *Trends Plant Sci.*, 16, 53-60.
- Takos A.M, Jaffé F.W., Jacob S.R., Bogs J., Robinson S.P., Walter A.R., 2006. Light-induced expression of a MYB gene regulates anthocyanin biosynthesis in red apples. *Plant Physiol.*, 142, 1216-1232.
- Tamari G., Borochoy A., Atzorn R., Weiss D. 1995. Methyl jasmonate induces pigmentation and flavonoid gene expression in petunia corollas: a possible role in wound response. *Physiol. Plantarum*, 94, 45-50.
- Tanaka, Y., Sasaki, N., Ohmiya, A. 2008. Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *Plant J.*, 54, 733-737.
- Teitel Z., Pickup M., Field D.L., 2016. The dynamics of resource allocation and costs of reproduction in a sexually dimorphic, wind-pollinated dioecious plant. *Plant Biol.*, 18, 98-103.
- Tomar R.S., Jajoo A. 2014. Fluoranthene, a polycyclic aromatic hydrocarbon, inhibits light as well as dark reactions of photosynthesis in wheat (*Triticum aestivum*). *Ecotoxicol. Environ. Safe.*, 109, 110-115.
- Trowbridge P.J., Bassuk, N.L. 2004. *Trees in the urban landscape. Site assessment, design, and installation*, Hoboken, NY: John Wiley & Sons, 25-43.

- Tsimilli-Michael M., Strasser R.J. 2008. *In vivo* assessment of stress impact on plant's vitality: applications in detecting and evaluating the beneficial role of mycorrhization on host plants. (red.): Varma A. [w]: Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco- Physiology, Structure and Systematics (3rd edition). Springer, Berlin – Heidelberg, 679-703
- Tumiłowicz J. 2000. Strefy klimatyczne dla uprawy drzew i krzewów w Polsce. *Szkółkarstwo*, 4, 10-13.
- Ülo N., Valladares F., 2006. Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperate northern hemisphere trees and shrubs. *Ecological Monographs*, 76, 4, 521-547.
- Wada M., Kagawa T., Sato Y. 2003. Chloroplast movement. *Plant. Biol.*, 54, 455-468.
- Wahid A., Ghazanfar A. 2006. Possible involvement of some secondary metabolites in salt tolerance of sugarcane. *J. Plant Physiol.*, 163, 723-730.
- Walter A., Liebisch F., Hund A. 2015. Plant phenotyping: from bean weighing to image analysis. *Plant Methods*, 11, 14.
- Walters R.G., Shephard F., Rogers J.J.M., Rolfe S.A., Horton P. 2003. Identification of mutants of *Arabidopsis* defective in acclimation of photosynthesis to the light environment. *Plant Physiol.* 131, 472-481.
- Wang X., Arora R., Horner H.T, Krebs S.L. 2008. Structural Adaptations in Overwintering Leaves of Thermonastic and Nonthermonastic *Rhododendron* Species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 133, 6, 768-776.
- Wang X., Peng Y., Singer J.W., Fessehaie A., Krebs S.L., Arora R. 2009. Seasonal changes in photosynthesis, antioxidant systems and ELIP expression in a thermonastic and non-thermonastic *Rhododendron* species: A comparison of photoprotective strategies in overwintering plants. *Plant Sci.*, 177, 607-617.
- Wei, H., A.L. Dhanaraj, R. Arora, L.J. Rowland, Y. Fu, and L. Sun. 2006. Identification of cold acclimation-responsive *Rhododendron* genes for lipid metabolism, membrane transport and lignin biosynthesis: importance of moderately abundant ESTs in genomic studies. *Plant Cell and Environ.*, 29, 558-570.
- Wentworth M., Murchie E.H., Gray J.E., Villegas D., Pastenes C., Pinto M., Horton P. 2006. Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress-II. Acclimation of photosynthesis. *J. Expt. Bot.* 57, 699-709.
- Westoby M., Falster D.S., Moles A.T., Veski P.A., Wright I.J. 2002. Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species. *Annual Review Ecol. Syst.* 33, 25-159.
- Wietnik K., Mazur J., Pypeć M., 2013. Ocena metod zabezpieczeń drzew w terenach miejskich. *Wyd. Episteme, Kraków*, tom II, 18, 361-366.
- Wittig R., 1995. *Ökologie der Stadt* [w: *Natur-und Umweltschutz – Ökologische Grundlagen, Methoden, Umsetzung*]. Gusta – Fischer – Verlag, Jena-Stuttgart, 230-260.

- Woźniak Z. 2013. Wykorzystanie pomiaru spektrofotometrycznego w pracach laboratorium technologicznego. *Materiały Ceramiczne*, 65,1, 121-125.
- Woźny A., Przybył K., 2004. *Komórki roślinne w warunkach stresu*. Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- Wyka T., Żytkowiak R., Oleksyn J., 2013. Budowa anatomiczna liści zimozielonych drzew i krzewów i jej konsekwencje dla fotosyntezy. *Mat. Konf. Konf. Nauk. Instytutu Dendrologii PAN, Wyd. Nauk. Bogucki, Kórnik-Poznań*, 282.
- Xu ZZ, Zhou GS. 2008. Responses of leaf stomatal density to water status and its relationship with photosynthesis in a grass. *J. Exp. Bot.* 59, 3317-3325.
- Yang X., Liang Z., Wen X., Lu C. 2008. Genetics engineering of the biosynthesis of glycinebetaine leads to increased tolerance of photosynthesis to salt stress in transgenic tobacco plants. *Plant Mol. Biol.*, 66, 73-86.
- Yang Z.M., Zheng S.J., Hu A.T., Zheng Y.F., Yan J.Y. 2000. Response of cucumber plants to increased UV-B radiation under water stress. *J. Envir. Sci.*, 12, 236-240.
- Zapotoczny P., Zielińska M. 2005. Rozważania nad metodyką instrumentalnego pomiaru barwy marchwi. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 1, 42, 121.
- Zaytseva Y.G., Poluboyarova T.V., Novikova T.I. 2016. Effects of thidiazuron on *in vitro* morphogenic response of *Rhododendron sichotense* Pojark. and *Rhododendron catawbiense* cv. Grandiflorum leaf explants. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, vol. 52, 56-63.
- Zheng W., Li K., Wang W., Xu X., 2018. The complete chloroplast genome of the threatened *Pistacia weinmannifolia*, an economically and horticulturally important evergreen plant. *Conservation Genetics Resources*, 10, 535-538.
- Živčák M., Brestic M., Kunderlikova K. 2015. Effect of photo-system I inactivation on chlorophyll a fluorescence induction in wheat leaves: does activity of photosystem I play any role in OIP rise?. *J. Photoch. Photobio. B* 152, 318-324
- Zubik M., Luchowski R., Puzio M., Janik E., Bednarska J., Grudzinski W., Gruszecki W. I. 2013. The negative feedback molecular mechanism which regulates excitation level in the plant photo-synthetic complex LHCII: Towards identification of the energy dissipative state. *Biochim. Biophys. Acta, Bioenerg.*, 1827, 3, 355-364.
- Žur I., Dubas E., Krzewska M., Janowiak F., Hura K., Pocięcha E., Bączek-Kwinta R., Płażek A. 2014. Antioxidant activity and ROS tolerance in triticale (x *Triticosecale* Wittm.) anthers affect the efficiency of microspore embryogenesis. *Plant Cell Tiss Organ Cult*, 119, 79-94.