

BIORÓŻNORODNOŚĆ MIASTA BIAŁEGOSTOKU

Porosty Białegostoku

Anna Matwiejuk

4

BIORÓŻNORODNOŚĆ MIASTA BIAŁEGOSTOKU

Porosty Białegostoku

Anna Matwiejuk

Białystok 2021

Autor opracowania „Porosty Białegostoku”:
Anna Matwiejuk

Autor projektu „Bioróżnorodność Miasta Białegostoku”:
Andrzej Piotr Karolski

Autorstwo fotografii:
Janusz Kupryjanowicz, Przemysław Sarżyński, Anna Matwiejuk
Okładka:
Chrobotek cienki *Cladonia macilenta* (Fot. J. Kupryjanowicz)

Projekt okładki, opracowanie graficzne, redakcja techniczna, skład:
Apogea – Mariola Łotysz
www.apogea.pl

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część niniejszej publikacji nie może być reprodukowana, przechowywana jako źródło danych i przekazywana w jakiegokolwiek formie zapisu bez zgody posiadacza praw.

© by Miasto Białystok

BIAŁYSTOK 2021

Wydawca:
Prezydent Miasta Białegostoku

ISBN: 978-83-954504-3-3





Szanowni Państwo,

ludzie od zawsze poznawali otaczającą ich przyrodę. Budowaliśmy naszą wiedzę o naturze, mimo to do dziś nie wiemy wszystkiego. Człowiek późno zrozumiał, jak ważne jest zachowanie różnorodności biologicznej na Ziemi, a tylko dzięki niej przyroda może przetrwać zmiany. Nasz byt zależy od bogactwa roślin, zwierząt i mikroorganizmów odpowiedzialnych za produkcję tlenu, obieg pierwiastków czy przepływ energii. Zachowanie bioróżnorodności, czyli bogactwa form życia na Ziemi, ma ogromne znaczenie dla nas wszystkich.

Od wielu lat w Białymstoku prowadzimy działania na rzecz ochrony bioróżnorodności i edukacji przyrodniczej. Wśród nich można wymienić m.in. zakładanie łąk kwietnych, pól słonecznikowych i rzepakowych, rezygnację z koszenia wybranych zieleńców w pasach drogowych, stawianie budek lęgowych, domków dla owadów czy wiewiórek, montaż platform pływających z funkcją oczyszczania wody, utworzenie miejskiego sadu edukacyjnego na Antoniuku oraz miejską pasiekę, która stanęła na skwerze przy ul. Augustowskiej. Chcemy pomóc owadom i zwierzętom w mieście, które radzą sobie tym gorzej, im bardziej jednorodne są tereny zielone. Dzięki naszym działaniom powstają atrakcyjne i naturalne miejsca w przestrzeni miejskiej, które jednocześnie wpływają na bioróżnorodność. Zależy nam na tym, aby Białystok był miastem zielonym.

Ta publikacja jest pretekstem do dyskusji o przyrodzie w naszym mieście. Wraz z naukowcami zapraszam Państwa do refleksji, w jaki sposób wspólnie możemy zadbać o utrzymanie bioróżnorodności w Białymstoku.

Prezydent Miasta Białegostoku
Tadeusz Truskolaski

Spis treści

Od Autora	6
1. OGÓLNE INFORMACJE O POROSTACH	8
1.1. Porosty jako organizmy symbiotyczne	9
1.2. Komponenty plech porostowych	11
1.3. Relacje między komponentami w plechach porostów	19
1.4. Budowa plech – anatomiczna i morfologiczna	22
1.5. Strategie reprodukcyjne porostów	36
1.6. Wtórne metabolity porostowe – „kwasy porostowe”	52
1.7. Ekologia porostów – grupy siedliskowe.....	58
1.8. Znaczenie porostów w przyrodzie i ich wykorzystanie przez człowieka.....	74
1.9. Porosty jako organizmy bioindykacyjne	85
1.10. Lichenometria – metoda datowania wieku skał.....	94
1.11. Zagrożenia porostów w skali lokalnej i globalnej.....	98
2. MIASTO JAKO INTERESUJĄCY OBIEKT BADAŃ LICHENOLOGICZNYH.....	102
3. CHARAKTERYSTYKA POROSTÓW BIAŁEGOSTOKU.....	108
3.1. Lista gatunków porostów odnotowanych na terenie miasta.....	111
3.2. Charakterystyka zróżnicowania morfologicznego porostów	126

3.3.	Różnorodność porostów głównych grup siedliskowych	127
3.3.1.	Charakterystyka porostów nadrzewnych	128
3.3.2.	Charakterystyka porostów naskalnych	173
3.3.3.	Charakterystyka porostów murszejącego drewna.....	183
3.3.4.	Charakterystyka porostów naziemnych.....	186
3.3.5.	Charakterystyka porostów na mszakach	193
3.3.6.	Charakterystyka porostów nietypowych podłoży	193
3.4.	Charakterystyka gatunków chronionych	193
3.5	Charakterystyka gatunków zagrożonych.....	210
3.6.	Występowanie porostów w różnych rejonach miasta, na terenach zabudowanych i terenach zielonych, ze wskazaniem miejsc cennych pod kątem występowania porostów w tym gatunków najwyższej troski (chronionych i zagrożonych) na obszarze Białegostoku	212
3.7.	Skala porostowa i mapa lichenoindykacyjna Białegostoku.....	226
3.8.	Działania, które należy podjąć w celu ochrony porostów na terenie Białegostoku	230
	LITERATURA.....	238
	Słowniczek.....	243
	GALERIA.....	244

Od Autora

Rozpoznawanie bioróżnorodności gatunkowej organizmów na świecie, w poszczególnych państwach, regionach staje się coraz ważniejszym i priorytetowym zadaniem. Żyjemy w świecie z nasilającą się presją człowieka na środowisko przyrodnicze, z eksploatacją, przekształcaniem zbiorowisk roślinnych, z pozyskiwaniem terenów pod zabudowę i powiększaniem się terenów miejskich, wycinaniem lasów, zalesianiem cennych przyrodniczo terenów, np. muraw itd. W wyniku tych działań wiele gatunków roślin, grzybów i zwierząt ginie. Organizmami, które jako pierwsze reagują na wszelkie zmiany w środowisku są porosty (grzyby lichenizujące). Porosty to organizmy, które są ważnym elementem bioróżnorodności na Ziemi, i mają wiele walorów przyrodniczych. Odgrywają szczególnie ważną rolę w utrzymywaniu równowagi w wielu ekosystemach, jednak ze względu na niewielkie rozmiary ich znaczenie jest często niedoceniane lub wręcz całkowicie pomijane. Porosty to grupa organizmów, będąca jednym z ogniw odpowiedzialnych za funkcjonowanie łańcucha obiegu materii w przyrodzie. W wielu ekosystemach są ogniwem podstawowym, ponieważ pełnią rolę organizmów pionierskich i na niektórych obszarach należą do organizmów dominujących. Porosty są organizmami bardzo wrażliwymi na wszelkie zmiany w środowisku, przede wszystkim na zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego ditlenkiem siarki SO_2 , tlenkami azotu NO_x , metalami ciężkimi, pyłami, związkami fluoru i innymi. Porosty cechuje zdolność przetrwania w ekstremalnych warunkach. Endolityczne porosty pustyń i Antarktydy są często uważane za możliwe analogi porostów, które mogłyby przetrwać na Marsie.

W prezentowanej monografii ta bardzo interesująca i wciąż mało znana grupa organizmów zostanie przybliżona i scharakteryzowana. Zostaną przedstawione, m.in. dane, wskazujące, że symbioza porostów nie jest prostym układem, ale znacznie bardziej złożonym i może obejmować szeroką gamę innych oddziałujących organizmów.

Celem niniejszego opracowania jest:

- podsumowanie dotychczasowej wiedzy o porostach Białegostoku,
- opublikowanie danych lichenologicznych zbieranych od kilkunastu lat na terenie miasta,
- popularyzacja wiedzy lichenologicznej.

Ta książka powstała dzięki wsparciu wielu osób. Dziękuję mgr Andrzejowi Piotrowi Karolskiemu, Dyrektorowi Departamentu Gospodarki Komunalnej Urzędu Miejskiego w Białymstoku, bardzo wrażliwemu na piękno przyrody, w tym na świat grzybów, za umożliwienie wydania tej monografii. Dziękuję dr hab. Piotrowi Zielińskiemu, prof. UwB za motywację do jej napisania i wsparcie. Pragnę złożyć szczególne podziękowania dr. Januszowi Kupryjanowiczowi i mgr inż. Przemysławowi Sarżyńskiemu za wykonanie profesjonalnych fotografii porostów.

Serdecznie dziękuję również mojemu mężowi Jarosławowi za wsparcie i pomoc podczas wielu godzin przeprowadzonych badań terenowych.

Mam nadzieję, że publikacja będzie przydatna Wszystkim Miłośnikom Przyrody w poznawaniu wyjątkowej grupy organizmów, jakimi są porosty. Dlatego też, książkę tą adresuję nie tylko do biologów, leśników, a przede wszystkim do mieszkańców Białegostoku. Mam nadzieję, że nie odstręczy Czytelników specjalistyczna terminologia lichenologiczna. Życzę Państwu miłej lektury i poszerzenia wiedzy na temat porostów.

Białystok, wrzesień 2021 r.

Anna Matwiejuk

A close-up photograph of a tree trunk covered in various types of lichens and mosses. The bark is dark brown and textured. There are patches of green moss, greyish-blue lichens, and a small cluster of bright yellow lichens at the bottom. A semi-transparent white box with a thin black border is centered on the image, containing the title text. To the left of the box, there is a large, semi-transparent white graphic element that looks like a stylized letter 'A' or a similar shape.

**OGÓLNE
INFORMACJE
O POROSTACH**

1.1. Porosty jako organizmy symbiotyczne

Na świecie występuje około 18-20 tysięcy gatunków porostów, z czego w Polsce stwierdzono 1642 gatunki (z 333 rodzajów), a w Polsce Północno-Wschodniej ok. 600 gatunków (Fałtynowicz, Kossowska 2016). Mimo powszechności występowania porostów, grupa ta jest dla przeciętnego człowieka prawie zupełnie nieznana.

Porosty (grzyby lichenizujące, grzyby zlichenizowane, z języka angielskiego *lichenized fungi*) są wyspecjalizowaną grupą organizmów, które zbudowane są ze strzępek grzybów (mykobiontów) i komórek glonów (fotobiontów), głównie eukariotycznych zielenic (chlorobiontów) lub prokariotycznych cyjanobakterii = sinic (cyjanobiontów). W wyniku połączenia co najmniej dwóch całkowicie odmiennych organizmów z różnych grup taksonomicznych, powstała nowa jakość biologiczna, niepodobna do biontów wyjściowych, unikatowa w świecie organizmów żywych – porosty.

POROST = GRZYB + GLON

1 = 1 + 1

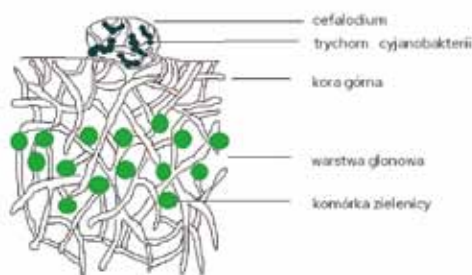
Zasadniczo, aby utworzyć porost, grzyb preferuje określony gatunek glonu. Wyjątkowo w roli partnera fotosyntetyzującego, u osobników tego samego gatunku porostu mogą być różne gatunki glonów, należące do tego samego rodzaju. Morfologicznie takie porosty nie różnią się od siebie. Niektóre gatunki porostów, mogą posiadać w swojej pleśze zarówno zielenice, jak i cyjanobakterie.

POROST =

GRZYB + ZIELENICA + CYJANOBAKTERIA

1 = 1 + 1 + 1

U około 3–4% porostów, ich plechy zbudowane są z trzech komponentów: grzybów, zielenic i cyjanobakterii. Wówczas na powierzchni (ektotroficznie) lub wewnątrz plech (endotroficznie) znajdują się cefalodia, struktury zawierające cyjanobakterie, a w warstwie glonowej obecne są zielenice. Cefalodia występujące na powierzchni plech mają postać niewielkich wybrzuszeń, w których sinice oplecione są strzępkami mykobionta (Ryc. 1).



Ryc. 1. Cefalodium – skupienie cyjanobakterii na powierzchni plechy (opracowanie własne)

Ponad 1500 gatunków porostów (w tym niektóre gatunki granicznika *Lobaria*, pawężniczki *Nephroma*, pawężnicy *Peltigera*, *Pseudocyphellaria*, podgranicznika *Sticta*) na świecie ma jako głównego lub pomocniczego partnera fotosyntetyzującego – cyjanobakterię. W obrębie plech porostów symbiotyczne cyjanobakterie dostarczają grzybowi cukru i / lub związanego azotu atmosferycznego.

Obecność glonów o różnych właściwościach fizjologicznych w plechach porostów, potencjalnie ułatwia tym porostom sukces w wielu różnych siedliskach i obszarach geograficznych i / lub w zmieniających się warunkach środowiskowych.

Klasyfikacja porostów w systemie organizmów żywych przez wiele lat była niejasna. Jeszcze w latach 80-tych XX wieku uznawane były za rośliny, często utożsamiane z mszakami. Porosty jako samodzielna jednostka taksonomiczna przestała istnieć w 1981 roku w wyniku zmian, wprowadzonych przez Międzynarodowy Kodeks Nomenklatury Botanicznej (*International Code of Botanical Nomenclature* – ICBN). Współcześnie porosty ujmowane są jako grupa ekologiczna (podobnie jak grzyby mykoryzowe), a nie systematyczna. Obecnie, wiemy, że porosty stanowią wyspecjalizowaną grupę grzybów, które mają zdolność współżycia z samożywnymi glonami. Taksonomia porostów stanowi część systemu klasyfikacyjnego grzybów i nazwa mykobionta jest nazwą gatunkową porostu, natomiast komponent autotroficzny (fotobiont) klasyfikowany jest niezależnie. Międzynarodowy Kodeks Nomenklatury glonów, grzybów i roślin (*International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants*) reguluje zasady

nazewnictwa roślin i grzybów, w tym również porostów. Zgodnie z artykułem 13 Kodeksu, ważne, opublikowane nazwy porostów odnoszą się do ich mykobionta (Guzow-Krzemińska, Kukwa 2013). W związku z tym mówienie o gatunkach porostów w tym ujęciu jest nieprecyzyjne. Badania biologii molekularnej, w tym badania nad filogenezą królestwa Grzybów (Fungi) potwierdziły pozycję systematyczną porostów wśród grzybów. Porosty stanowią około 20% znanych obecnie gatunków grzybów.

Tradycyjna taksonomia stosuje do identyfikacji poszczególnych taksonów porostów indywidualne ich cechy jako wspólnoty symbiotycznej, które w większości przypadków odnajdują potwierdzenie w niepowtarzalnych cechach mykobionta (Kubiak 2020). Taksonomię porostów opiera się o dane morfologiczne, chemiczne, jak i zależności filogenetyczne. Taksonomowie porostów coraz częściej wykorzystują dane molekularne, ponieważ klasyczna taksonomia tej grupy organizmów jest pełna niejasności i problemów, które mogą rozwiązać tylko dane z analiz molekularnych. Coraz częściej stosuje się dane molekularne (markery DNA) do wyróżniania taksonów w różnej randze. Wyniki badań molekularnych są bardzo przydatne przy systematyce, np. porostów sterylnych, które wykazują całkowity zanik wytwarzania owocników, zarodników mejospor i procesów płciowych.

Dzisiaj, porosty należą do królestwa grzybów Fungi (Mycota). Większość z ich należy do gromady workowców (Ascomycota), w podgromadzie Pezizomycotina, do której należą m.in. trufle, smardze. Łacińska nazwa porostów to *Lichenes*, dlatego nauka o porostach to lichenologia. Liczne terminy dotyczące porostów pochodzą od słowa *Lichenes*, a także ich nazwy w wielu językach świata, np. nazwa angielska i francuska – *lichens*, hiszpańska i portugalska – *liquesnes*, włoska – *licheni*, rumuńska – *lichenilor*, turecka – *likenler*, albańska – *likenet*, bośniacka – *lišajevi*, czeska – *lišejníky*, słowacka – *lišajníky*, słoweńska – *lišaji*, rosyjska – *лишайники*, bułgarska – *лишеи*, macedońska – *лишави*, serbska – *лишажеви*, turkmeńska – *lişajnikler*.

Porosty to ekologiczna grupa grzybów, która wykształciła w drodze ewolucji wyjątkowy i niepowtarzalny układ symbiotyczny. W ujęciu klasycznym porosty stanowią przykład organizmu symbiotycznego, złożonego z autotroficznego komponenta – eukariotycznego (głównie zielenic) lub/i prokariotycznego – cyjanobakterii oraz cudzożywnego grzyba.

1.2. Komponenty plech porostowych

Porosty uznawane są za fenomen przyrodniczy. Według definicji opracowanej przez lichenologów Hawkswortha i Honeggera, porost jest ekologicznie obligatoryjnym związkiem mutualistycznym pomiędzy zewnętrznym partnerem

grzybowym (mykobiontem) oraz zasiedlającą go międzykomórkową populacją glonów lub cyjanobakterii (fotobiontem).

W budowie plech różnych gatunków porostów uczestniczą przedstawiciele czterech królestw: Roślin (Plantae) – zielenice, Bakterii (Bacteria) – cyjanobakterie, Żółtawców (Chromista) – brunatnice oraz Grzybów (Fungi) – workowce, podstawczaki i grzyby niedoskonałe.

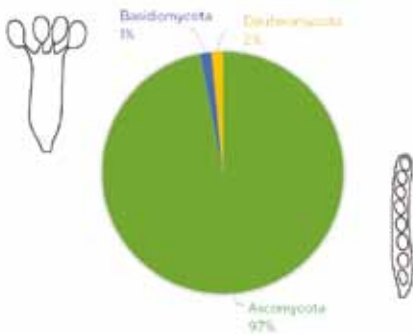
Komponentami autotroficznymi (fotobiontami) w plechach porostów są zielenice (Chlorophyta) – chlorobionty i/lub cyjanobakterie (Cyanobacteria) – cyjanobionty. W plechach porostów występuje kilkanaście rodzajów zielenic, lecz najczęstszymi są *Trebouxia*, *Trentepohlia*, *Coccomyxa*. Zielenica *Trebouxia* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) rzadko występuje na wolności, i tym samym utraciła zdolność samodzielnego życia. Wiemy, że łączy się ona z około 80% grzybów tworzących porosty w strefie klimatu umiarkowanego i ponad 20% wszystkich grzybów tworzących porosty na świecie. Często jest tak, że ten sam gatunek zielenicy w konfrontacji z różnymi grzybami współdziała w tworzeniu odmiennych gatunków i rodzajów porostów. Przykładowo, *Trebouxia irregularis* jest fotobiontem w plechach chrobotka reniferowego *Cladonia rangiferina*, płucnicy islandzkiej *Cetraria islandica* oraz tarczownicy skalnej *Parmelia saxatilis*. Z drugiej zaś strony, różne gatunki glonów mogą z tym samym grzybem tworzyć jeden gatunek porostu; przykładowo chlorobiontem w plechach tarczownicy skalnej mogą być co najmniej trzy gatunki zielenic: *Trebouxia arboricola*, *T. irregularis* i *T. jamesii*, które z tym samym gatunkiem grzyba tworzą identyczne plechy (Fałtynowicz 2012).

W niektórych plechach porostów dochodzi do wymiany fotobiontów, co jednocześnie skutkuje zmianą budowy morfologicznej ich plech i sposobu rozmnażania z generatywnego na wegetatywne. Taka strategia pozwala porostom na przystosowanie się do zmieniających się warunków środowiskowych, na zwiększenie zasięgu występowania i wzrost liczebności populacji.

Cyjanobakterie, czyli sinice w plechach porostów występują jako symbiont podstawowy oraz w cefalodiach jako trzeci biont, u porostów zawierających zielenice. Sinice najczęściej reprezentowane są przez rodzaje: trzęsидło *Nostoc*, *Gloeocapsa*, *Stichococcus*, *Stigonema* i *Scytonema*.

Tylko w jednym gatunku porostu – brodawnicy brunatnicowej *Verrucaria lavaresiae* notowanej w Ameryce Północnej, w Kalifornii biontem autotroficznym jest brunatnica *Pteroderma maculiforme* (Lithodermataceae, Phaeophyta) (Fałtynowicz 2020).

U ponad 95% znanych porostów komponentem cudzożywnym (mykobiontem) są grzyby workowe (workowce) Ascomycota, co stanowi ok. 30% opisanych gatunków grzybów z tej grupy. U pozostałych porostów mykobiontami są przedstawiciele podstawczaków (Basidiomycota) lub grzyby anamorficzne (niedoskonałe) (Deuteromycota) (Ryc. 2).



Ryc. 2. Udział procentowy mykobiontów z różnych grup systematycznych grzybów w plechach porostów (opracowanie własne)

Porosty z podstawczakami (porosty podstawkowe) są bardzo rzadkie, w Polsce występują tylko trzy gatunki porostów z basidiomykobiontem z rodzaju pęporostek *Lichenomphalia*, są to: pęporostek alpejski *Lichenomphalia alpina*, p. Hudsona *L. hudsoniana* i p. baldaszkowy *L. umbellifera* (Fałtynowicz, Kossowska 2016).

Ze względu na przynależność systematyczną grzybów porostowych (mykobiontów) do trzech różnych grup taksonomicznych wyróżnia się sztuczne grupy: porosty workowe (Ascolichenes) (Fot. 1, 2), porosty podstawkowe (Basidiolichenes) oraz porosty niedoskonałe (Deuterolichenes).

Główną funkcją fotobionta w plechach porostów jest asymilacja substancji odżywczych w drodze fotosyntezy, a dodatkowo cyjanobionta asymilacja azotu atmosferycznego. Komponent cudzożywny (mykobiont), stwarza schronienie komórkom fotosyntetyzującym, dostarcza im wodę wraz z solami mineralnymi i kontroluje ich wzrost i rozmnażanie (Ryc. 3).



Ryc. 3. Wzajemne powiązania między grzybem a zielenicami w plechach porostów (1) oraz między grzybem a cyjanobakteriami (2) (Źródło: Juliette (2021). Lichens, surprising pioneering organisms. Encyclopedia of the Environment. © J. Asta, <https://www.encyclopedie-environnement.org/en/life/lichens-pioneering-organisms/>, nieco zmienione)



Fot. 1. Otwornica gorzka
Pertusaria amara
(Fot. P. Sarżyński)

Fot. 2. Granicznik płucnik
Lobaria pulmonaria
(Fot. P. Sarżyński)

Wyjątkowe są grzyby workowe z rodzaju *Stictis* (Stictidaceae, Ascomycota), które reprezentują przykład fakultatywnej lichenizacji. Rosnąc na korze drzewa, grzyby te nawiązują relacje z glonami i w procesie lichenizacji formują skorupiastą plechę porostu, a następnie żywią się komórkami swojego fotobionta. Po obumarciu drzewa, grzyb usuwa glony, i przechodzi na saprotroficzny sposób odżywiania się.

Porosty dostrzeżono po raz pierwszy w starożytności. Opisał je grecki uczony, uczeń i przyjaciel Arystotelesa, Teofrast z Eresos (ok. 370–287 p.n.e.). Uważał, że porosty są roślinami. Koncepcja ta przetrwała dwa tysiące lat i została zakwestionowana dopiero w połowie XIX wieku, wraz z rozwojem mikroskopii.

W 1827 roku niemiecki botanik Karl Wallroth zauważył, że w porostach znajdują się struktury przypominające komórki glonów. W 1852 roku francuski mikolog Louis Rene Tulane odkrył, że porosty mają owocniki typowe dla grzybów. 14 lat później niemiecki biolog Anton de Bary odkrył, że niektóre porosty zawierają struktury przypominające glony z rodziny trzęsidłowatych Nostocaceae, penetrowane strzępkami grzybów. To on wprowadził również termin „symbioza”, aby opisać takie struktury. W 1867 roku rosyjscy biolodzy Andrei Famintsyn i Osip Baranetski ustalili, że zielone komórki porostów to jednokomórkowe zielenice, które mogą żyć samodzielnie. Wreszcie, w tym samym roku 1867, szwajcarski botanik Simon Schwendener przyjął założenie o dualistycznej naturze wszystkich porostów. Powstało wiele kontrowersji wokół tej śmiałej hipotezy. Aby dowieść jej racji, konieczne było przeprowadzenie eksperymentu, polegającego na rozdzieleniu plechy porostowej na pojedyncze komponenty: glony i grzyby, a następnie w warunkach laboratoryjnych wyhodowanie plechy. Ale nikomu nie udało się tego zrobić, prawie wszystkie eksperymenty zakończyły się niepowodzeniem. Spór trwał długo i zakończył się dopiero na początku XX wieku, kiedy umarli lichenolodzy starej szkoły, a zwolennikom symbiotycznej teorii przypisano zwycięstwo.

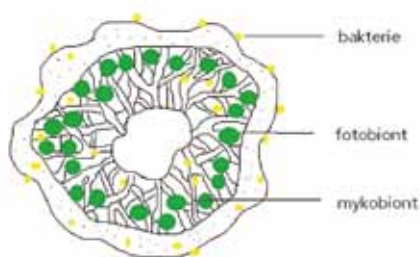
Od ponad 150 lat porosty stanowią cenny obiekt badań naukowych, w tym o charakterze ekologicznym, fizjologicznym, ewolucyjnym, a równocześnie są bioindykatorami zmian środowiska zachodzących pod wpływem antropopresji. Przemiany środowiska są jedną z przyczyn wpływających na zmianę liczby gatunków porostów, ich skład i częstość występowania.

Porosty – wspólna komnata dla jakich i ilu współlokatorów?

Współcześnie uważa się, że komponentem dominującym w plechach porostów jest grzyb. Glony żyją tylko w górnych warstwach plechy, i dzięki zdolności przeprowadzania fotosyntezy syntetyzują pokarm: cukry dla całego organizmu. W zamian grzyb dostarcza glonom wodę, chroni je i stwarza im warunki do życia. Jednak to współżycie między glonem a grzybem nie wygląda tak idyllicznie i nie jest takie proste. Każdy komponent plechy rozmnaża się i kiełkuje oddzielnie. W warunkach laboratoryjnych mykobiont nie przetrwa bez fotobionta. Zaś glony, z kilkoma wyjątkami potrafią żyć jako autonomiczne organizmy. Wiemy również, że glony nie wytworzyłyby substancji, którymi odżywia się grzyb w porostach. To grzyb pobudza je chemicznie, do fotosyntezy. A kiedy warunki środowiskowe się pogarszają, mykobiont może zabić i zjeść komórki glonów, wysysając je przez te same strzępki, przez które dostarczał im wodę. Dzięki temu porost jako jeden organizm jest w stanie przetrwać niekorzystne warunki. Związek fotobionta i mykobionta w plechach porostów to złożony i niejednoznaczny układ z cechami niewolnictwa (helotyizmu). Od ponad 150 lat, porosty uznawane były

za związek między pojedynczym grzybem, zwykle workowcem a partnerem fotosyntetyzującym. Niekiedy na powierzchni plech występują sporadycznie inne grzyby, jako grzyby naporostowe, pasożyty lub endofity. Fernandez-Mendoza i in. (2017) zaproponowali podział komponentów mykobiontu porostów (różnorodnych gatunków grzybów bytujących na powierzchni i w plesze) na trzy ekologiczne grupy: 1. gatunki grzybów współbytujące w miejscu ich występowania (wspólna pula), 2. grzyby naporostowe i endofity specyficzne dla każdego rodzaju/gatunku porostu oraz 3. gatunki przejściowe, które prawdopodobnie kiełkują na powierzchni lub wewnątrz plech, ale nie odgrywają określonej roli ekologicznej w symbiozie porostów. Dzisiaj wiemy, że plechy porostów zasiedla wiele dodatkowych grzybów – i niektóre z nich mogą mieć wpływ na funkcjonowanie plechy. A nazwa danego porostu pochodzi od dominującego mykobionta, a nie fotobionta i innych współbytujących gatunków grzybów.

Wiemy również, że niektóre bakterie kolonizują porosty, i są w stanie wnikać w korę górną i miąższ plechy (Ryc. 4). Liczebność i różnorodność gatunkowa bakterii zależy od podłoża, na którym rosną plechy porostów oraz od miejsca występowania i położenia geograficznego. Mikrobiom bakteryjny (np. bakterie z rzędu Rhizobiales) bierze udział w dostarczaniu składników odżywczych i degradacji powierzchniowych warstw plech porostowych, biosyntezie witamin i hormonów, procesach detoksykacji oraz ochronie przed stresem biotycznym i abiotycznym.



Ryc. 4. Występowanie bakterii w plesze porostowej – na powierzchni, w korze i miąższu plechy (opracowanie własne)

W lipcu 2016 roku, w czasopiśmie naukowym Science opublikowano artykuł amerykańskiego biologa Toby'ego Spribilla. Naukowiec z grupą innych badaczy zainteresował się porostami z rodzaju włostka *Bryoria*, które produkują kwas wulpinowy. Badał dwa amerykańskie gatunki włostek *Bryoria* – *B. tortuosa*, której plecha jest jasna, żółtawa, trująca, poprzez produkcję znacznej ilości trującego kwasu wulpinowego (kwas występuje w całej plesze) i *B. fremontii*, której plecha jest brązowa, jadalna i wytwarza małe ilości tego kwasu porostowego (kwas występuje jedynie w soraliach i apotecjach). Inspiracją podjętych badań

przez amerykańskich uczonych były wyniki analiz filogenetycznych, które nie wykazały żadnych różnic w ustalonych sekwencjach między dwoma biontami, ani w mykobioncie (*Ascomycota*, *Lecanoromycetes*, *Bryoria*), ani w fotobioncie (*Chlorophyta*, *Viridiplantae*, *Trebouxia simplex*). A także fakt, że jeden gatunek włoścki jest jadalny, a drugi śmiertelnie trujący. Początkowo postawiono hipotezę, że zróżnicowana ekspresja genów mykobionta może odpowiadać za zwiększoną produkcję kwasu wulpinowego u *Bryoria tortuosa*. Wyniki przeprowadzonych badań były zaskakujące. Badania genetyczne wspólnego gatunku mykobionta tych porostów (badania molekularne DNA grzyba *Bryoria*), wykazały że nie produkuje on tego kwasu. Naukowcy rozszerzyli swoje badania i zaczęli szukać źródła toksycznego kwasu u innych grzybów lichenizujących z różnych grup systematycznych. Okazało się, że kwas wulpinowy jest produkowany w plechach włośtek przez dodatkowego „współlokatora” – innego grzyba – podstawczaka. Badaniami objęto dodatkowo kilkanaście tysięcy próbek plech porostowych z wybranych rodzajów z rodziny tarczownicowatych *Parmeliaceae* z całego świata i okazało się, że wiele gatunków porostów zawiera również dodatkowego komponenta grzybowego, którego nie odnaleziono od XIX wieku. Było to możliwe, dzięki temu, że na oglądanych preparatach mikroskopowych z przekrojów plech porostowych widać tylko wyraźnie ułożone warstwami strzępki grzybów workowych i komórki glonów w warstwie glonowej. Dopiero zastosowanie badań molekularnych opartych na badaniu rRNA, wykazały obecność dodatkowego komponenta plech porostowych. Są nimi jednokomórkowe podstawczaki z rodzaju *Cyphobasidium* (*Basidiomycota*, *Pucciniomycotina*), określane nieformalnie drożdżami podstawkowymi, które są obecne w górnej warstwie plechy i na jej powierzchni. Preparaty mikroskopowe z przekroju plechy porostowej uwidaczniają jedynie wiele identycznych okręgów – przekrojów strzępek workowców. Cechą charakterystyczną grzybów z rodzaju *Cyphobasidium* jest ich jednokomórkowa budowa w przeważającej fazie rozwoju.

Spribile i in. (2016) odkryli, że klasyczny dualistyczny pogląd na porosty jest zbyt prosty. Dlatego, że północnoamerykańskie porosty przypominające brodę składają się nie z dwóch, ale z trzech symbiotycznych partnerów: grzyba workowego, fotosyntetycznej algi i nieoczekiwanie, jednokomórkowych podstawczaków. Komórki grzybów podstawkowych współtworzą korę plechy porostów i mogą mieć znaczenie dla jej kształtu. Okazało się, że grzyby te są stosunkowo powszechne w świecie porostów.

POROST = WORKOWIEC + PODSTAWCZAK + ZIELENICA

1 = 1 + 1 + 1

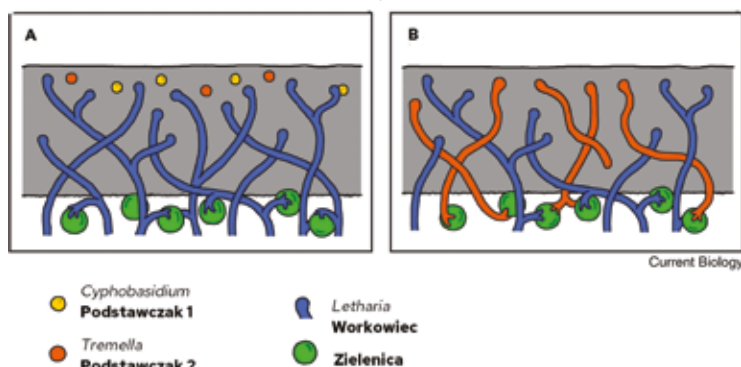
Odkrycie jednokomórkowych podstawczaków w górnej warstwie plech makroporostów z mykobiontem workowym może przedstawiać dowód na to, że w budowie ciała porostów może być zaangażowany więcej niż jeden grzyb, i może to wyjaśnić fakt, dlaczego porosty syntetyzowane *in vitro* z hodowanych kultur workowców i glonów rozwijają tylko szczątkowe fragmenty plechy. Odkrycie to było przez niektórych uznane za najważniejszy kamień milowy w lichenologii od czasu odkrycia dwoistej natury porostów.

Z kolei badania Jankinsa, Richardsa (2019) wykazały, że plechy porostu jaskrotki wilczej *Letharia vulpina* (która również produkuje kwas wulpinowy), składają się aż z czterech komponentów: jednego autotroficznego glonu – zielenicy i co najmniej trzech heterotroficznych – grzybów: workowca *Letharia* i dwóch filogenetycznie odrębnych podstawczaków: *Cyphobasidium* (Basidiomycota, Pucciniomycotina) i *Tremella* (Basidiomycota, Agaricomycotina).

**POROST =
WORKOWIEC + PODSTAWCZAK 1 + PODSTAWCZAK 2 + GLON**

$$1 = 1 + 1 + 1 + 1$$

Niejasna jest jednak natura tej cztero-biontowej interakcji i czy w jaki sposób można ją sklasyfikować w ramach standardowych współzależności (symbiozy, mutualizmu, pasożytnictwa itp.) (Ryc. 5). Istnieją jednak przypuszczenia, że większość symbiotycznych interakcji nie mieści się w jednej super-definicji oraz że każda dająca się sklasyfikować interakcja ma charakter przejściowy, a zmiana charakteru tej interakcji jest spowodowana wieloma czynnikami, takimi jak warunki środowiskowe, dostępność pożywienia itp.



Ryc. 5. Symbioza porostowa pomiędzy czterema komponentami (Źródło: Jenkins, Richards 2019, nieco zmienione)

- A** – Fragment plechy jaskrotki wilczej *Letharia vulpina* (pozbawiony żółtej struktury brodawkowej na powierzchni plechy). Pozakomórkowa macierz polisacharydowa (szara), ze strzępkami workowca *Letharia* (niebieskie), komórkami podstawczaka *Cyphobasidium* (żółte), komórkami podstawczaka *Tremella* (pomarańczowe), komórkami zielenic (zielone) znajdującymi się w pobliżu wewnętrznej części warstwy korowej, gdzie mogą wejść w fizyczny kontakt ze strzępkami *Letharia*.
- B** – Fragment plechy jaskrotki wilczej (zawierający żółtą strukturę brodawkową). Pozakomórkowa macierz polisacharydowa (szara), ze strzępkami workowca *Letharia* (niebieskie) i strzępkami podstawczaka *Tremella* (pomarańczowe) przeplatany na całej powierzchni. Strzępki *Tremella* mogą wnikać do wnętrza warstwy glonowej i przeplatać komórki glonów (zielone) w sposób zbliżony jak to robią strzępki *Letharia*. Brak komórek podstawczaka *Cyphobasidium* (żółte).

Z kolei badania Smitha i in. (2020) wykazały, że grzyby z rodzaju *Cyphobasidium* żyją na powierzchni plech niektórych gatunków porostów (i są częścią powierzchniowego biofilmu plech) albo wewnątrz plech, gdzie nie nawiązują kontaktu ze strzępkami mykobionta w korze.

Interesujące i ważne jest zagadnie – jak liczne i specyficzne są grzyby z grupy Cystobasidiomycetes, które występują na powierzchni i wewnątrz plech porostów, a także jak spójny może być mykobiom złożony z różnych gatunków grzybów tworzących porosty. Wymaga to dalszych badań, które obejmą porosty z różnych środowisk i grup systematycznych.

Przedstawione powyżej dane, wskazują, że symbioza porostów nie jest prostym układem, ale znacznie bardziej złożonym i może obejmować szeroką gamę innych oddziałujących organizmów, w tym bakterii nefotosyntetycznych, i dodatkowych grzybów i glonów. Z tego powodu, porosty porównuje się często do miniaturowych ekosystemów.

1.3. Relacje między komponentami w plechach porostów

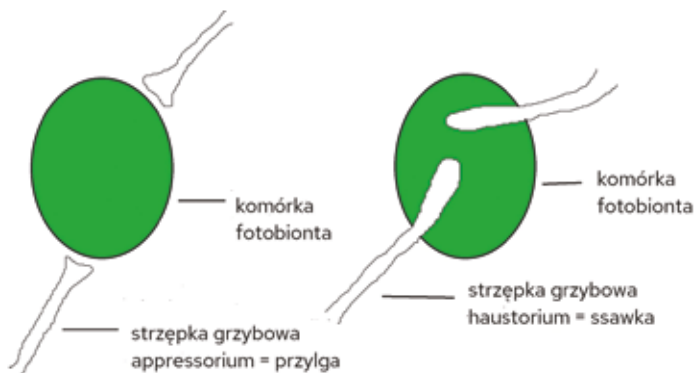
Porosty są organizmami powstałymi w wyniku wspólnoty życiowej glonu (fotobionta) i grzyba (mykobionta). Zdefiniowanie relacji między partnerami tworzącymi porosty od dawna budzi kontrowersje. Różne teorie dotyczące wzajemnego stosunku komponentów porostowych można sprowadzić do dwóch: teorii symbiozy mutualistycznej i symbiozy antagonistycznej. Stosunkowo najbardziej rozpowszechniona jest hipoteza symbiozy mutualistycznej, według której wszyscy partnerzy odnoszą ze współżycia korzyści. Zgodnie z tą teorią asymilacja węgla przez glon jest chemicznie stymulowana przez grzyb. Grzyb korzystając z produktów asymilacji żyje jako saprofit.

W obrębie teorii symbiozy antagonistycznej wyróżnione zostały cztery koncepcje: helotyizmu, pasożytnictwa, endosaprofityzmu i glonopasożytnictwa.

Zwolennicy helotyzy (niewolnictwa, kontrolowanego pasożytnictwa) uważają, że układ między partnerami odzwierciedla relację między panem (grzybem) a niewolnikiem (glonem). Grzyb panuje nad uwięzionym glonem, lecz dla swojej korzyści ułatwia mu wzrost i rozmnażanie. Zwolennikiem tej teorii był Simon Schwendener, który ogłosił światu naukowemu swoją hipotezę, że porosty składają się z dwóch odrębnych organizmów: grzybów i glonów.

Hipoteza pasożytnictwa lub ograniczonego pasożytnictwa wskazuje na obecność w plechach porostów struktur grzybowych zachowujących się mniej lub bardziej agresywnie w stosunku do fotobionta (ssawki i przyłgi). Zwolennicy tej teorii opisywali trzy powiązania między fotobiontem i mykobiontem w plechach porostów:

1. kiedy strzępki grzybów luźno oplatają komórki glonów, i nie wchodzi w bezpośredni kontakt z fotobiontami;
2. tworzenie przez mykobionta przyłg (appressoriów) na powierzchni ścian komórkowych fotobiontów. Appressorium jest najczęściej gruszkowatym lub brodawkowatym zgrubieniem końca strzępki grzybni;
3. gdy grzyb tworzy strzępki ssawki (haustoria), którymi przebija ściany komórkowe fotobiontów, dostaje się do protoplastu i powoduje ich śmierć. Ssawki pochłaniają pożywienie z komórek fotobionta, które grzyb wykorzystuje do swojego rozwoju (Ryc. 6).



Ryc. 6. Grzybowe strzępki – ssawki i przyłgi (opracowanie własne)

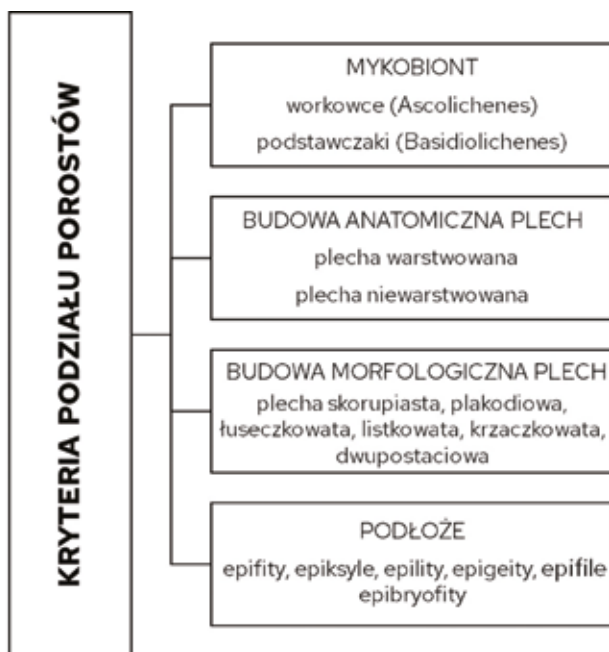
Relacje między glonem a grzybem, określano również mianem endosaprophytyzmu (pasożytnictwa wewnętrznego). Według, tej hipotezy w plechach porostów następuje ofiarne śmierć komórek glonów na korzyść cudzożywnego grzyba. Jednak, dzisiaj wiemy, że w plechach porostów często występują martwe komórki autotroficzne, szczególnie u porostów, które rosną w miejscach o silnej antropresji, np. o dużym skażeniu powietrza (np. tlenkami siarki).

Lansowano także, teorię glonopasożytnictwa, tłumacząc reakcję obronną grzyba przed glonem, poprzez tworzenie ochronnej warstwy korowej.

Niezależnie od charakteru relacji między fotobiontem a mykobiontem, porosty to fascynujący przykład współpracy dwóch grup organizmów: glonów i grzybów.

Kryteria klasyfikacji porostów

Pomimo często, zawitych relacji między komponentami plech, porosty klasyfikuje się i opisuje ze względu na kilka kryteriów, w tym: typ budowy morfologicznej i anatomicznej plechy, rodzaj mykobionta, czy też rodzaj zasiedlanego podłoża (Ryc. 7).



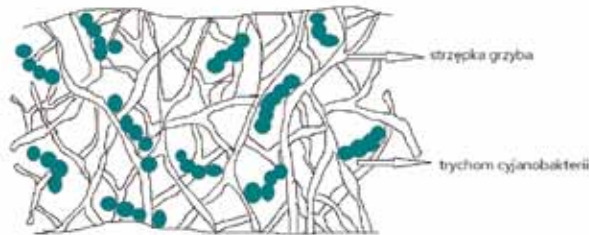
Ryc. 7. Kryteria klasyfikacji porostów

Trudnym zagadnieniem jest rozpoznawanie poszczególnych gatunków porostów. Nawet dobrzy fachowcy – lichenolodzy nie są w stanie dokonać tego na podstawie zdjęcia lub żywego okazu, gdyż w wielu przypadkach konieczne jest użycie mikroskopu lub odczynników i analiz chemicznych. Wiele gatunków porostów jest bardzo trudno zidentyfikować z powodu dużej zmienności siedliskowej, morfologicznej i chemicznej.

1.4. Budowa plech – anatomiczna i morfologiczna

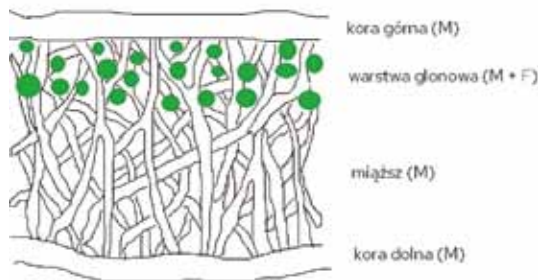
Plechy porostowe – budowa anatomiczna

W stosunku do dużej liczby gatunków porostów, skromnie jest zróżnicowana budowa anatomiczna ich plech. Sprowadza się ona do dwóch typów: plechy homeomerycznej (niewarstwowanej) i plechy heteromerycznej (warstwowanej). Plechy homeomeryczne w przekroju są jednowarstwowe, nie są zróżnicowane na warstwę korową, miąższową (rdzeniową) i glonową. Często u porostów o takim typie budowy komponentem autotroficznym jest cyanobakteria (Ryc. 8).



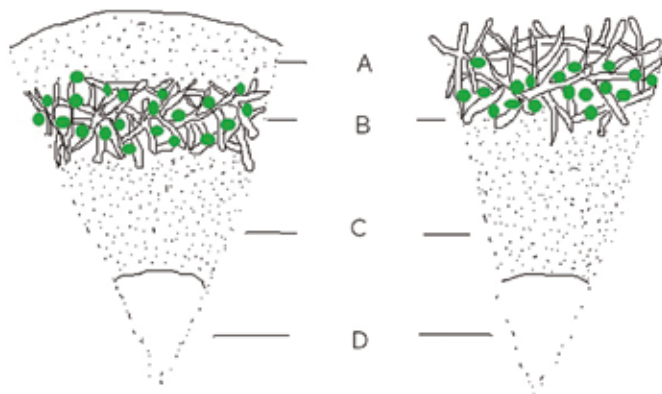
Ryc. 8. Budowa anatomiczna plechy niewarstwowanej galaretnicy *Collema* sp. (opracowanie własne)

Cechą charakterystyczną plech heteromerycznych (warstwowanych) jest obecność przynajmniej dwóch dobrze wyodrębnionych warstw grzybowych: kory i miąższu oraz warstwy glonowej utworzonej z komórek fotobionta przepłatanych strzępkami grzyba (Ryc. 9).



Ryc. 9. Budowa anatomiczna plechy warstwowanej, grzbietobrzusznie spłaszczonej, M – mykobiont, F – fotobiont (opracowanie własne)

Niektóre gatunki porostów mają plechy warstwowane, gdzie poszczególne warstwy ułożone są radialnie, promieniście (Ryc. 10). Taki typ budowy plechy reprezentują porosty krzaczkowate, nitkowate, o zwisających plechach (np. brodaczkki *Usnea*, włostki *Bryoria*) lub porosty, których plechy zbudowane są z obłych odcinków – podecjów rosnących ku górze, mających często formę trzoneczków drzewkowatych lub trzoneczków zakończonych czarkami (np. chrobotki *Cladonia*).



1. Chrobotek widlasty
Cladonia furcata

2. Chrobotek reniferowy
Cladonia rangiferina

A. Kora górna

B. Warstwa glonowa

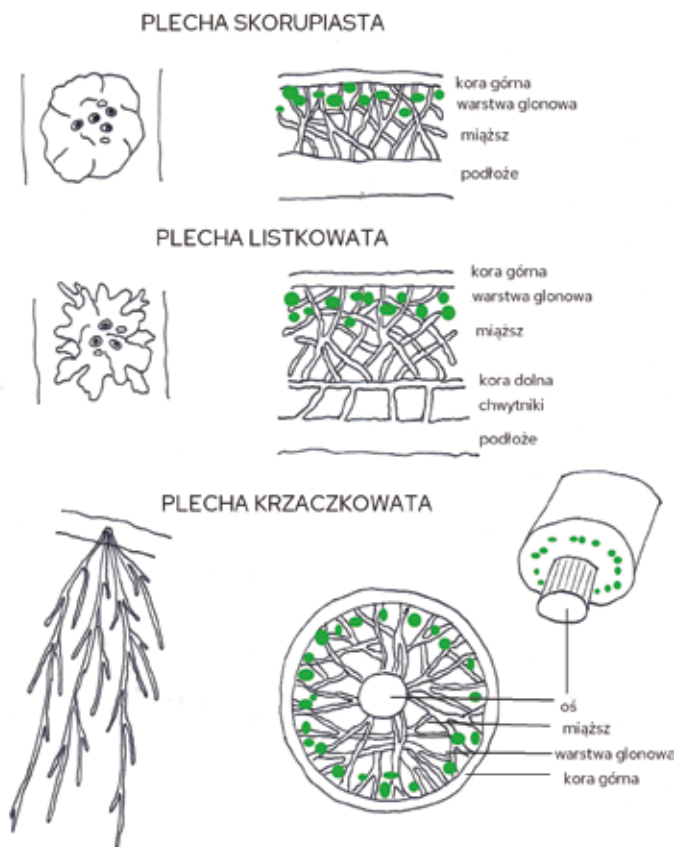
C. Rdzeń

D. Pusty kanał centralny

Ryc. 10. Budowa anatomiczna plech warstwowanych, promienistych (opracowanie własne)

U pojedynczych gatunków porostów, to glon, a nie grzyb nadaje kształt plesze. W Polsce ten typ budowy reprezentuje rodzaj pakłaczek *Racodium*. Porosty te mają plechy nitkowate tworzące wełniste skupienia, zbudowane z włókienek, w których nitkowate, rozgałęzione plechy zielenicy *Trentepohlia* otoczone są strzępkami mykobionta. Nitkowate plechy zielenicy tworzą centralną oś, która otoczona jest najczęściej przez jedną warstwę strzępek.

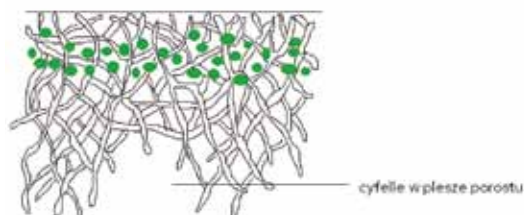
Heteromeryczną (warstwowaną) budowę plech posiada większość porostów. W tej grupie występują wszystkie znane u porostów typy morfologiczne plech. Są wśród nich plechy skorupiate, listkowate, krzaczkowate (Ryc. 11).



Ryc. 11. Budowa morfologiczna i anatomiczna plech skorupiastych, listkowatych i krzaczkowatych (opracowanie własne)

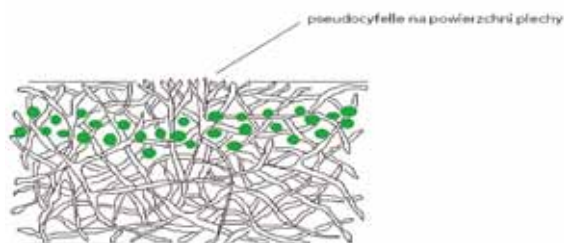
Przy rozpatrywaniu budowy anatomicznej plech porostów nie można nie wspomnieć o cyfellach i pseudocyfellach, czyli strukturach ułatwiających wymianę gazową.

Cyfelle są to małe (0,1–0,5 mm średnicy) okrągłe otworki w korze dolnej plechy. Wgłębienia pod otworkami wyścielone są strzępkami grzyba i dosięgają miąższu plechy (Ryc. 12).



Ryc. 12. Cyfelle w plesze porostu (opracowanie własne)

Pseudocyfelle o bardziej nieregularnym kształcie niż cyfelle, są różnej wielkości, od bardzo drobnych do 4 mm średnicy. Są to drobne pęknięcia lub rozluźnienia warstwy korowej plechy (Ryc. 13). Pseudocyfelle mogą być kropczkowate, plamkowate, rozgałęzione, często na powierzchni plechy tworzą siateczkowatą strukturę w postaci białych linii.

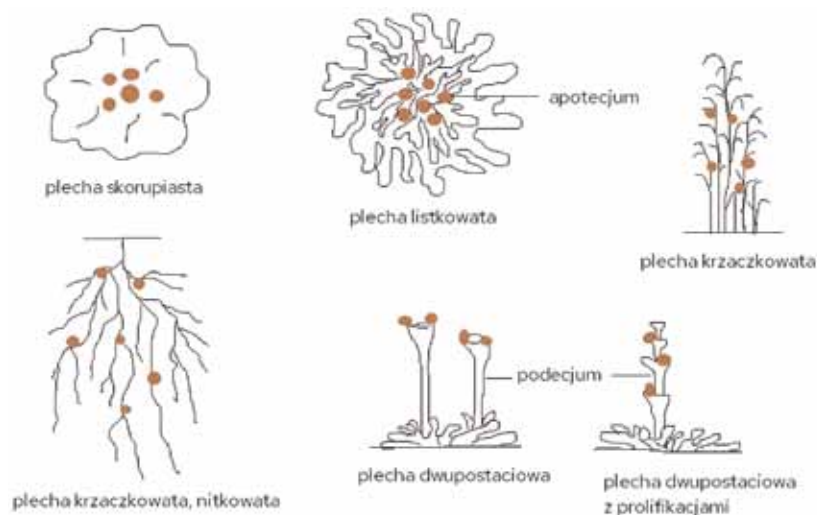


Ryc. 13. Pseudocyfelle na powierzchni plechy (opracowanie własne)

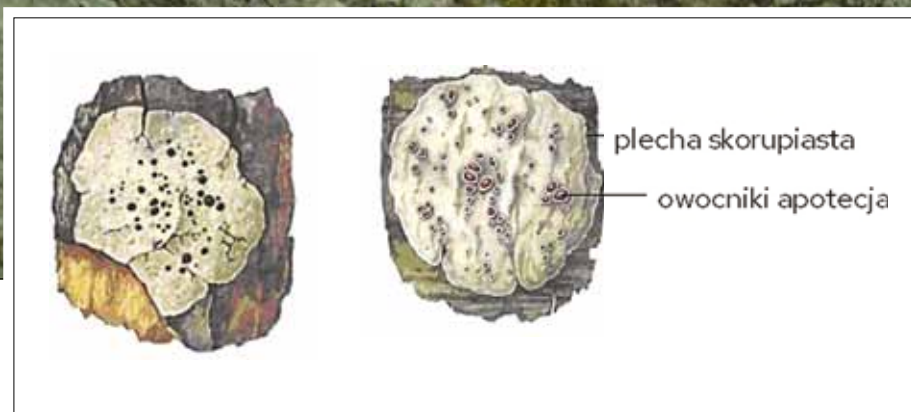
Występowanie cyfelli, jak i pseudocyfelli oraz ich budowa morfologiczna mają znaczenie przy oznaczaniu niektórych gatunków porostów.

Plechy porostowe – budowa morfologiczna

Porosty reprezentują różne typy budowy morfologicznej plech. Są porosty o plechach skorupiastych, listkowatych, krzaczkowatych, dwupostaciowych (Ryc. 14). Mimo różnych kształtów, rozmiarów plech, wyróżnia je brak wyspecjalizowanych organów oraz niewielkie zróżnicowanie tkanek.



Ryc. 14. Formy morfologiczne plech porostów (opracowanie własne)



Ryc. 15. Plechy skorupiaste (Źródło: Tolpysheva 2004, zmienione)

Fot. 3. Plechy skorupiaste na gładkiej korze grabu pospolitego *Carpinus betulus* (Fot. P. Sarżyński)

Plechy skorupiaste ściśle przylegają do podłoża, często plecha wrasta w podłoże podpleszem zbudowanym z grubych, luźno splecionych strzępek, najczęściej ciemno zabarwionych. Zależnie od sposobu rozrastania się plech skorupiastych mówimy o plechach epifloedycznych (porost wrasta prawie całkowicie do zewnętrznej powierzchni kory drzew – martwej tkanki korkowej) i hypofloedycznych (plecha jest całkowicie pograżona w podłoże – w skałę). Powierzchnia plech skorupiastych może być gładka, spękana, areolkowana, ziarenkowata, często z owocnikami, lub z licznymi soraliami (Ryc. 15, Fot. 3). Często u porostów skorupiastych występuje dobrze wykształcone przedplesze w postaci bardziej lub mniej widocznego rąbka na brzegu. Grubość plechy jest zmienna i charakterystyczna dla danego gatunku.



Fot. 4. Plecha łuseczkowata (Fot. J. Kupryjanowicz)

Plechy łuseczkowate składają się z licznych łuseczek przytwierdzonych do podłoża tylko z jednej strony, które są lekko wypukłe. Drobne łuseczki mogą być rozproszone lub skupione, a także mogą zachodzić na siebie dachówkowato (Fot. 4). Często na brzegach łuseczek wstępują drobne, ziarenkowane urwistki.



Fot. 5. Plecha plakodiowa (Fot. A. Matwiejuk)

Plechy plakodiowe są ściśle przyrośnięte do podłoża strzępkami podplesza. Tworzą regularne, koliste rozetki. Ich brzeżne odcinki są listkowate i często tylko bardzo nieznacznie odstają na brzegach. Centralna część plechy jest wyraźnie skorupiasta, przeważnie jej powierzchnia jest areolkowato spękana i często z licznymi owocnikami apotecjami (Fot. 5).



Ryc. 16. Plecha listkowa (Źródło: Tolpysheva 2004, zmienione)

Fot. 6. Plecha listkowa (Fot. A. Matwiejuk)

Plechy listkowane najczęściej zbudowane są z wielu łatek, rozmieszczonych promieniście w postaci kolistej lub nieregularnej rozetki albo zachodzących na siebie (Ryc. 16, Fot. 6). Plecha listkowata jest wyraźnie spłaszczona grzbietobrzusznie (listkowato).

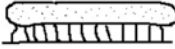
Plechy listkowane nie przytwierdzają się tak ściśle do podłoża jak plechy skorupiaste czy plakodiowe i dają się oderwać od podłoża, na którym rosną. Różne są rodzaje przytwierdzeń do podłoża: zmarszczki kory dolnej (pustułka *Hypogymnia*), centralna płytko uczepna – uczep (kruszownica *Umbilicaria*), pojedyncze chwytники rozmieszczone regularnie na całej dolnej powierzchni (tarczownica *Parmelia*, obrost *Physcia*) lub pęczki chwytników (pawężnica *Peltigera*) (Ryc. 17).



zmarszczki kory dolnej



tarczka uczepna (uczep)



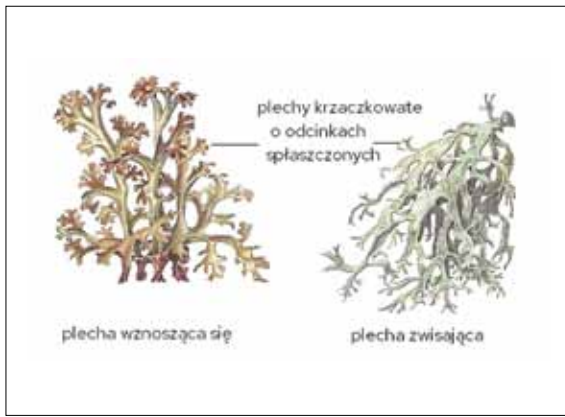
chwytniki pojedyncze, równomiernie rozmieszczone
na dolnej powierzchni plechy



chwytniki zebrane w pęczki, równomiernie rozmieszczone
na dolnej powierzchni plechy

Ryc. 17. Różne typy przytwierdzeń plech listkowatych do podłoża (opracowanie własne)

Niektóre gatunki porostów mają plechy krzaczkowate, których odcinki są płaskie lub rynienkowato zwinięte, wznoszące się lub zwisające (Ryc. 18, Fot. 7).



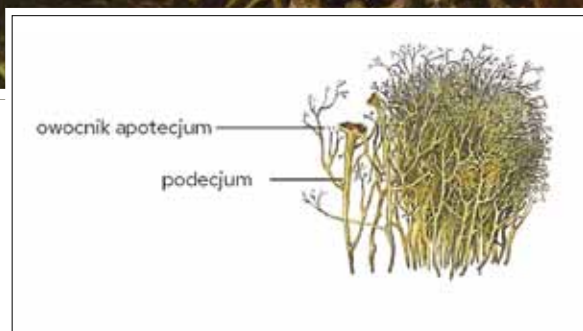
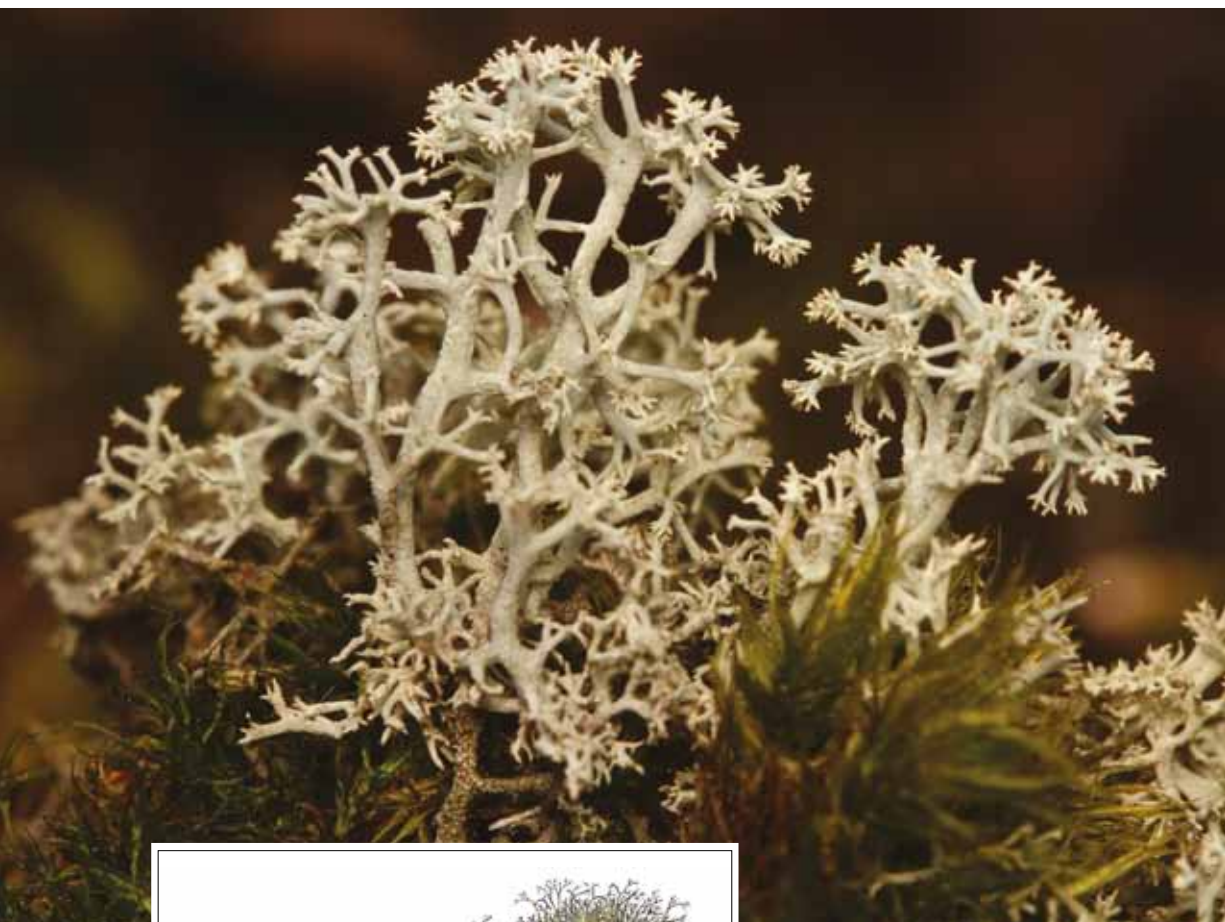
Ryc. 18. Plechy krzaczkowate, o spłaszczonych odcinkach (Źródło: Tolpysheva 2004, nieco zmienione)

Fot. 7. Plecha krzaczkowata, o spłaszczonych odcinkach (Fot. J. Kupryjanowicz)



Plechy krzaczkowate często przypominają miniaturowe drzewa, ponieważ u chrobotków *Cladonia* są zbudowane z obłych trzoneczków, zwanych podecjami, które często są rozgałęzione widełkowato (Ryc. 19, Fot. 8). Liczne gatunki mają podecja tępo zakończone lub kieliszkowato rozszerzone.

Niekiedy podecja tworzą pięterka, które mogą wyrastać z brzegu kieliszka. Często szczyty podecjów lub brzeżki kieliszków są zakończone owocnikami.

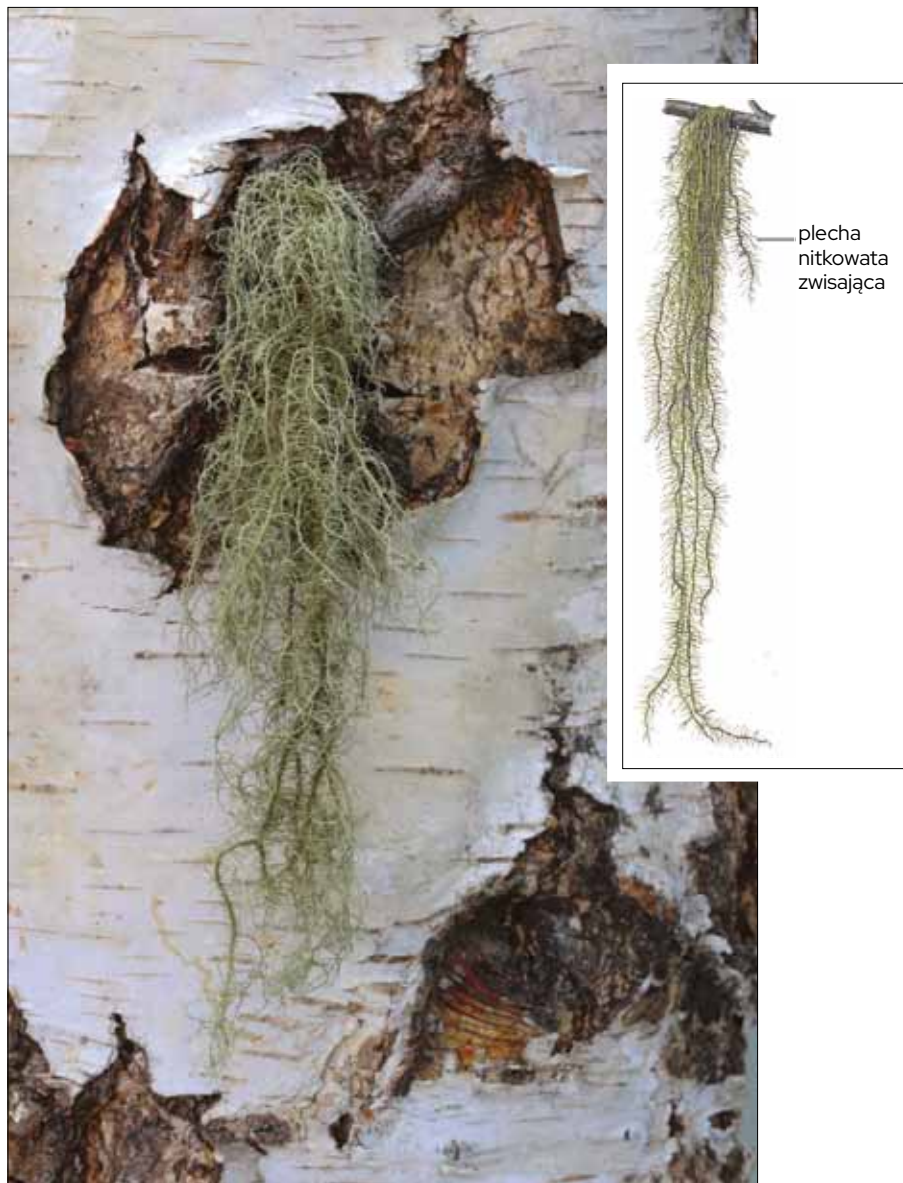


Ryc. 19. Plechy krzaczkowate
(Źródło: Tolpysheva 2004, nieco zmienione)

Fot. 8. Plecha krzaczkowata
(Fot. J. Kupryjanowicz)

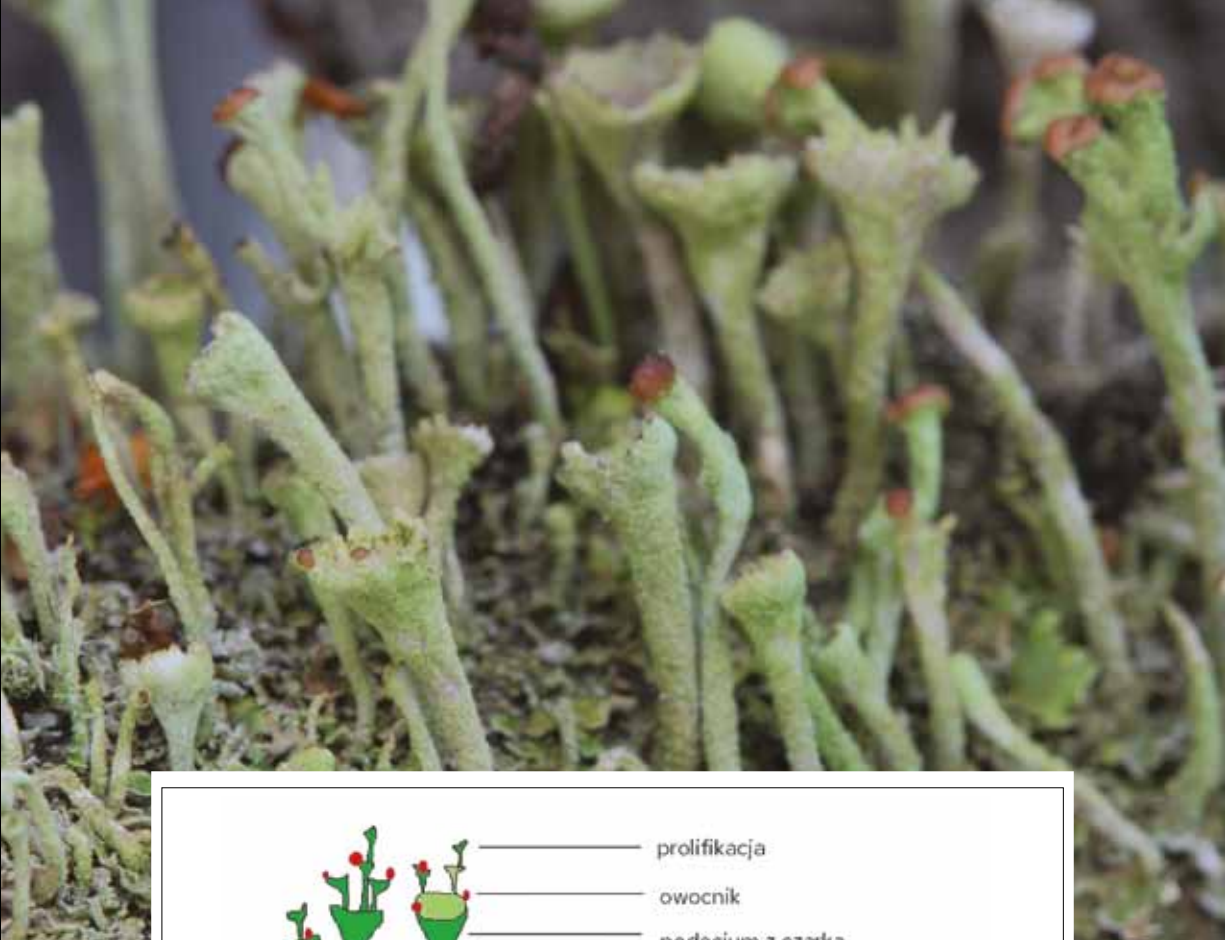


Plechy krzaczkowate, nitkowate, zwisające, często przypominają swoim pokrojem włosy lub brody (Ryc. 20, Fot. 9). Zbudowane są z włosowatych gałązek, silnie rozgałęzionych. Powierzchnia gałązek często pokryta jest brodawkami, soraliami lub izydiami. Do podłoża plechy przymocowane są zwężoną nasadą.



Ryc. 20. Plecha krzaczkowata, nitkowata (Źródło: Tolpysheva 2004, nieco zmienione)

Fot. 9. Plecha krzaczkowata, nitkowata (Fot. J. Kupryjanowicz)

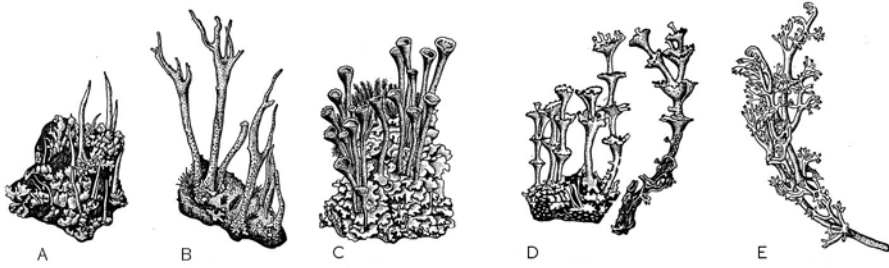


Ryc. 21. Plecha dwupostaciowa z proliferacjami (opracowanie własne)

Fot. 10. Plecha dwupostaciowa chrobotka *Cladonia* sp. (Fot. J. Kupryjanowicz)

Plechy dwupostaciowe u wielu gatunków chrobotków *Cladonia* zbudowane są z dwóch rodzajów plech: plechy pierwotnej – skorupiastej lub łuseczkowatej i plechy wtórnej – krzaczkowatej utworzonej z wzniesionych trzoneczków – podecjów (Ryc. 21, Fot. 10). Oprócz chrobotków ten typ budowy plechy występuje u grzybinki *Baeomyces*, grzybicyka *Dibaeis* i chróścika *Stereocaulon*.

Podecja chrobotków mogą być pojedyncze lub rozgałęzione oraz mogą mieć różne kształty: proste, sztyldaste, rożkowate, widełkowato lub nieregularnie rozgałęzione, zakończone kieliszkowatymi rozszerzeniami (Ryc. 22, Fot. 11).



Ryc. 22. Różne typy podedcju u chrobotków *Cladonia*, A i B – rożnkowate, C – kieliszkowate, D – kieliszkowate z proliferacjami, E – krzaczkowate (Źródło: Golubkova N.S. 1977. Zewnętrzna i wewnętrzna struktura porostów. <http://plantlife.ru/books/item/f00/s00/z0000025/pic/000368>).



A – podedcja rożnkowate



B – podedcja kieliszkowate



C – podedcja kieliszkowate z proliferacjami



D – podedcja krzaczkowate

Fot. 11. Różne typy podedcju u chrobotków *Cladonia* (Fot. J. Kupryjanowicz)

Niektóre podocja są pojedyncze, bardzo często zakończone na szczycie kubeczkowatym rozszerzeniem (mają postać trąbki, kieliszka), na brzegu którego mogą tworzyć się owocniki (Fot. 12) lub pyknidia (Fot. 13). Nieraz podocja tworzą kilka pięter (prolifikują). Inne podocja czasami silnie się rozgałęziają i przybierają wyraźną krzaczkową postać.



Fot. 12. Owocniki na szczycie podocjów chrobotków (Fot. J. Kupryjanowicz)



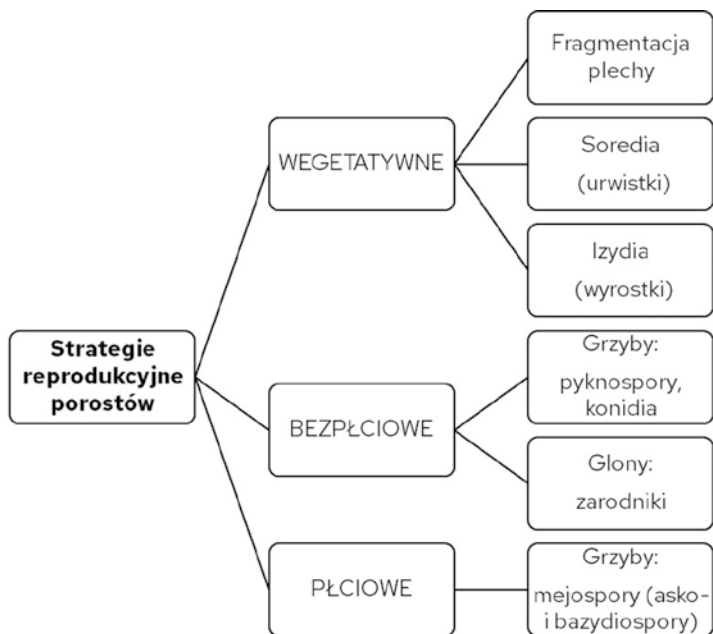
Fot. 13. Pyknidia na szczycie podocjów chrobotków (Fot. J. Kupryjanowicz)

Porosty osiągają różne rozmiary, i w przypadku wielu gatunków próba określenia wielkości ich plech jest bardzo trudna, ponieważ często mamy problem z określeniem jednego osobnika. Niekiedy pojedyncza plecha tworzy niewielkie brodawki, mniejsze niż 1 mm średnicy. Większość porostów osiąga rozmiary kilku centymetrów, a plechy zwisające niekiedy nawet kilkadziesiąt centymetrów. Najdłuższym porostem na świecie, żyjącym w borealnych lasach Europy, Ameryki Północnej i Azji, jest wymarła w Polsce brodacznka najdłuższa *Usnea longissima*, której plecha dorasta nawet do kilku metrów długości (do 10 m). Gatunek ten rósł w Polsce: w Karpatach, Puszczy Białowieskiej i Puszczy Boreckiej.

1.5. Strategie reprodukcyjne porostów

U porostów, które są organizmami symbiotycznymi, składającymi się ze strzępek grzyba i komórek glonu nie występuje rozmnażanie płciowe. Mogą one jedynie rozmnażać się wegetatywnie poprzez fragmentację plechy lub przez diaspory zlichenizowane (symbiotyczne) – urwistki (soredia) i wyrostki (izydia) (Ryc. 23). W stanie suchym porosty są bardzo kruche i łatwo ulegają fragmentacji na mniejsze fragmenty, które przenoszone są przez wiatr lub wodę w inne miejsca. Na rozległych terenach półpustynnych i stepowych zachodzi często zjawisko przenoszenia przez wiatr plech porostów lub ich fragmentów. Wyschnięte porosty pędzone przez wiatr zbijają się razem i przenoszone są na duże odległości. Porost misecznica jadalna *Lecanora (Aspicilia) esculenta* podobnie jak róża jerychońska, inaczej zwana zmartwychstanką zaliczane są do tzw. „biegaczy stepowych”. Misecznica jadalna występująca w północnej Afryce i na stepach południowo-zachodniej Azji służyła wędrowcom za pokarm. Przypuszcza się, że mogła być słynną manną biblijną, spadającą z nieba („porost manna”).

Zdolność rozmnażania płciowego w plechach porostów zachował tylko grzyb. Konsekwencją tego rozmnażania jest tworzenie owocników z zarodnikami – mejosporami (1n). Ponadto grzyb może tworzyć bezpłciowo zarodniki – pykno-spory (mitospory) w pykniadiach. Glony w plechach porostów rozmnażają się bezpłciowo, poprzez zarodniki – autospory (Ryc. 23).



Ryc. 23. Strategie reprodukcyjne porostów – reprodukcja razem czy osobno?

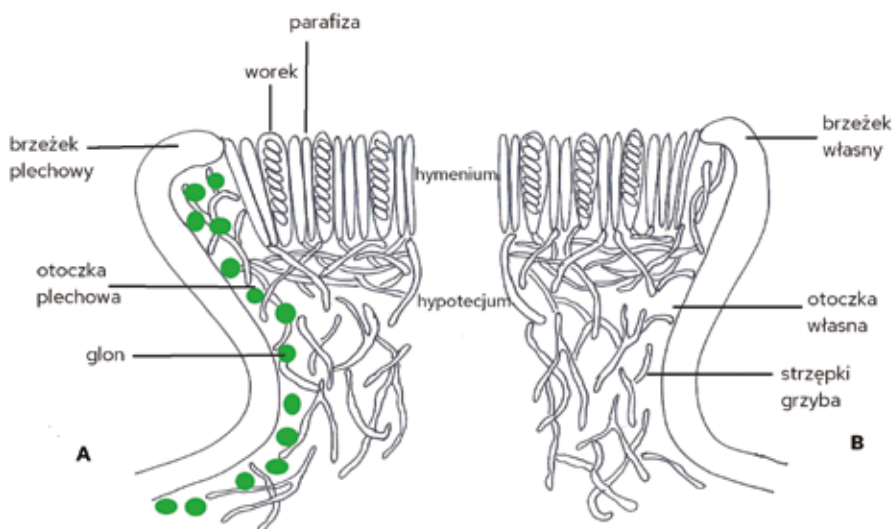
Rozmnażanie i rozprzestrzenianie się porostów to złożony proces, ponieważ obaj partnerzy muszą być obecni dla pomyślnego rozwoju nowej plechy. Powstałe w wyniku rozmnażania płciowego grzyba zarodniki po wykiełkowaniu muszą odnaleźć zgodnego partnera autotroficznego – zielenicę lub sinicę. Następnie w procesie zwanym lichenizacją, zostaje nawiązany związek pomiędzy mykobiontem a fotobiontem. Podczas rozmnażania wegetatywnego komórki glonów i strzępki grzyba są rozpraszane jednocześnie w wyspecjalizowanych diasporach zlichenizowanych lub poprzez fragmentację plechy. Osobniki potomne powstałe w wyniku wegetatywnego pomnażania są genetycznie identyczne jak plecha macierzysta. Zaś rozmnażanie płciowe sprzyja tworzeniu nowych genotypów grzybów i glonów, a w konsekwencji genetycznie różnych plech.

Owocniki porostów

Zróżnicowana budowa owocników u grzybów workowców, które stanowią najczęstszy mykobiont w plechach porostów, uwidacznia się również w budowie owocników u grzybów lichenizujących. Owocniki porostów są zróżnicowane pod względem wielkości, mogą osiągać rozmiary od kilku do kilkunastu milimetrów. Większość gatunków porostów ma owocniki położone w części centralnej plechy.

Porosty z mykobiontem workowym wytwarzają zarodniki w dwóch typach owocników: otocznjach (perytecjach) i miseczkach (apotecjach).

Wiele gatunków porostów tworzy owocniki apotecja, w kształcie miseczki (Ryc. 24). Owocniki te najczęściej są okrągłe (Fot. 14-16), ale w wielu przypadkach mają kształt mniej lub bardziej nieregularny (Fot. 17). Wspólną cechą tych owocników jest to, że warstwa zarodnikotwórcza (hymenium) styka się z atmosferą całą górną powierzchnią i tylko jest odsłonięta delikatną warstwą – epihymenium (epitecjum). Tarczka owocnika najczęściej jest kulista, może być wklęsła lub wypukła. U porostów skorupiastych czasami występują owocniki wydłużone, linijkowate, a nawet rozgałęzione. W apotecjach typu *Lecanora* obok otoczki własnej występuje również otoczka plechowa, której budowa jest identyczna jak struktura plechy, i zawiera obok strzępek grzyba, komórki fotobionta. Apotecja typu *Lecidea* posiadają tylko jedną otoczkę – własną, zbudowaną ze strzępek grzyba ułożonych równoległe, rzadziej promieniście (Ryc. 24). Apotecja mogą być siedzące lub wsparte na dłuższym lub krótszym trzonku.



Ryc. 24. Budowa owocnika apotecjum u porostów: A – z glonami w otoczce plechowej (apotecjum lekanorowe) i B – bez glonów (apotecjum lecideowe) (opracowanie własne)



Fot. 14. Apothecja lekanorowe (Fot. J. Kupryjanowicz)



Fot. 15. Apothecja lecideowe (Fot. J. Kupryjanowicz)



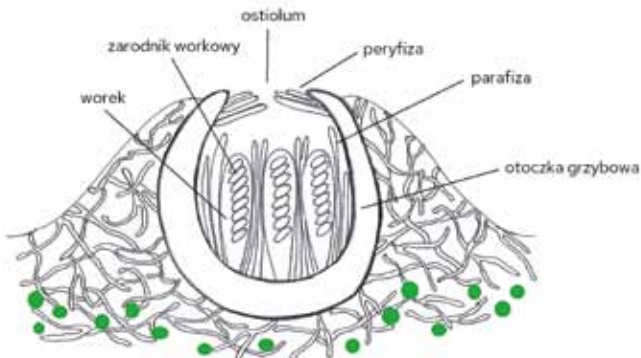


Fot. 16. Apotecja lekanorowe i lecideowe (Fot. J. Kupryjanowicz)



Fot. 17. Owocniki o nieregularnych kształtach (Fot. P. Sarżyński)

Nieliczne gatunki porostów tworzą owocniki zamknięte w grzybowej otoczce – perytecja (otocznie). Są one kształtu gruszkowatego, butelczkowatego lub kulistego z dłuższą lub krótszą szyjką. Warstwa zarodnikotwórcza (hymenium) nie styka tu się z atmosferą, a zarodniki workowe uwalniane są przez niewielki otworek na szczycie (ostiolum) (Ryc. 25). Ujście perytecjum wysłane jest krótkimi strzępkami (peryfizami). Perytecja umieszczone są na górnej powierzchni plechy i mogą w różnym stopniu być w niej zagłębione oraz często widoczne są jako drobne brodaweczki lub punkciki.



Ryc. 25. Budowa owocnika perytecjum u porostów (opracowanie własne)

Komponentami heterotroficznymi w plechach porostów są przede wszystkim workowce, jak i podstawczaki, więc porosty mają owocniki właściwe tym grzybom: miseczki, otocznie lub owocniki kapeluszowe. Często miseczki apotecja mają różnorodne kształty, mogą być okrągłe, szczelinowate, gwiazdkowate, siodłkowo wygięte. Niekiedy brzeg miseczki opatrzone jest licznymi gałązkami. Apotecja mazaediowe są złożone z główki i trzonka, gdzie warstwa zarodnikotwórcza ma postać pylistej masy powstałej z rozpadających się worków i strzępek płonnych parafiz. U porostów z mykobiontem podstawkowym owocniki mają charakter owocnika kapeluszowego, złożonego z trzonka i kapelusza, gdzie zarodniki powstają w warstwie hymenialnej na blaszkowatym hymenoforze umieszczonym pod kapeluszem (Ryc. 26).



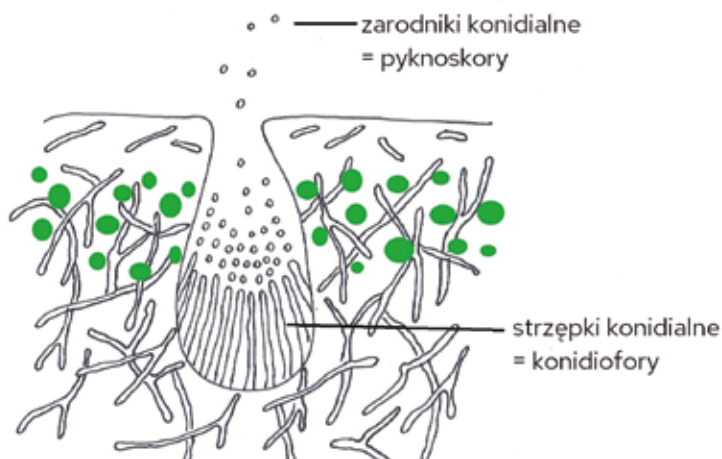
Ryc. 26. Różnorodność owocników u porostów: A – apotecjum (misecznica *Lecanora* sp.), B – apotecjum z brzeżkiem opatrzone licznymi gałązkami (brodacznica nadobna *Usnea florida*), C – apotecjum szczelinowate (literak właściwy *Graphis scripta*), D – apotecjum gwiazdkowate (pawężnica *Peltigera* sp.), E – apotecjum siodłkowo wygięte (pawężnica *Peltigera* sp.), F – apotecjum na szczycie podecjów (chrobotek *Cladonia* sp.), G – apotecjum lecideowe na szczycie trzoneczek (grzebinka *Baeomyces* sp.), H-I – apotecja mazaediowe (H – trzoncecznica *Chaenotheca* sp., I – pałecznik *Calicium* sp.), J – apotecja lecideowe (wzorec *Rhizocarpon* sp.), K – perytecja (otocznicznica *Pyrenula* sp.), L – owocnik kapeluszowy (pęporostek *Lichenomphalia* sp.) (opracowanie własne)

Rzadko wytwarzają owocniki te porosty, które pomnażają się wegetatywnie poprzez diaspory wegetatywne składające się z komórek obu symbiontów – fotobionta i mykobionta, w ten sposób zachowywany jest symbiotyczny charakter porostów. Całkowity zanik wytwarzania owocników lub ich rzadka obecność typowa jest dla gatunków sterylnych, które wykazują ograniczoną ilość struktur, niezbędnych przy ich identyfikacji.

Diaspory niezlichenizowane (aprosymbiotyczne) – zarodniki workowe i podstawkowe porostów

Diaspory niezlichenizowane stanowią wyłącznie wytwory grzybni mykobionta i powstają na drodze: płciowej (mejospory): askospory i bazydiospory oraz bezpłciowej (mitospory): zarodniki konidialne.

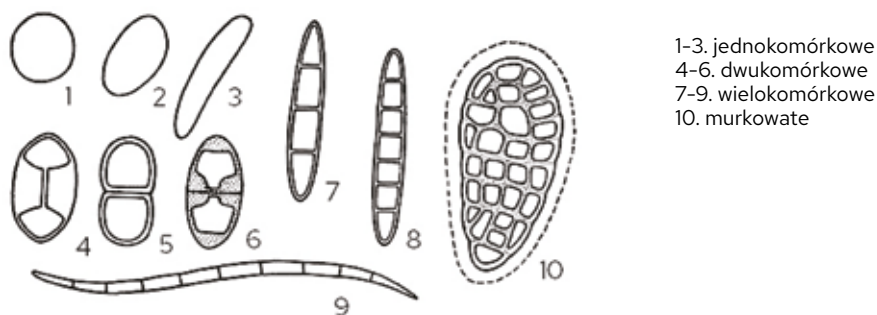
U wielu gatunków porostów występują pyknidia – zarodnie, w których bezpłciowo wytwarzane są przez mykobionta zarodniki konidialne – pyknospory (Ryc. 27). Konidia powstają poprzez odcinanie komórek na końcach specjalnych strzępek – konidioforów. Pyknidium widoczne są na powierzchni plech w postaci ciemnych kropek. Pyknidium ma kształt butelkowaty lub kulisty z okrągłym lub sztykowym ujściem.



Ryc. 27. Pyknidium w plesze porostu (opracowanie własne)

W owocnikach – apotecjach (miseczkach) i perytecjach (otoczniach), w zarodniach (workach) powstają zarodniki workowe (askospory). Spory bywają różnie zbudowane i zabarwione. Zarodniki grzybów porostowych mogą być jasne lub ciemne – brunatne lub prawie czarne. Charakteryzują się różnorodnymi

kształtami, od kulistych, eliptycznych po wydłużone wrzecionowato, zaostrome lub tępe na końcach, czasami spiralnie skręcone. Jednokomorowe zarodniki są najczęściej bezbarwne, elipsoidalne lub owalne, rzadziej kuliste, zwykle zawierają tylko jedno jądro komórkowe. Zarodniki wielokomorowe podzielone są przegrodami poprzecznymi lub także podłużnymi na różną ilość komór, od dwóch do ponad stu. Niekiedy przegrody nadają im murkowaty charakter. Zarodniki tego typu mogą być bezbarwne lub ciemno zabarwione (np. brunatne, czarne), mogą być owalne, wrzecionowate lub sztyłkowate. Niektóre zarodniki są biegunowe, ponieważ ściana poprzeczna w ich części równikowej jest pierścieniowato zgrubiała i dzieli komórkę na dwie części połączone ze sobą małym kanalikiem. W każdej części komórki występuje jedno jądro komórkowe. Askospory grzybów porostowych są jedнокomorowe (np. chrobotek *Cladonia*, misecznica *Lecanora*, tarczownica *Parmelia*, włostka *Bryoria*), dwu- lub kilku-komorowe (np. krużynka *Micarea*, obrostek *Physcia*, odnożyca *Ramalina*, złotorost *Xanthoria*, żółtaczek *Calogaya*), wielokrotnie podzielone tylko przegrodami poprzecznymi (np. literak *Graphis*, szadziec *Scoliciosporum*). Rzadziej zarodniki są złożone – murkowate (np. wzorzec *Rhizocarpon*, słojecznicznica *Diploschistes*) (Ryc. 28). Różna jest liczba zarodników w worku, najczęściej jednak osiem.



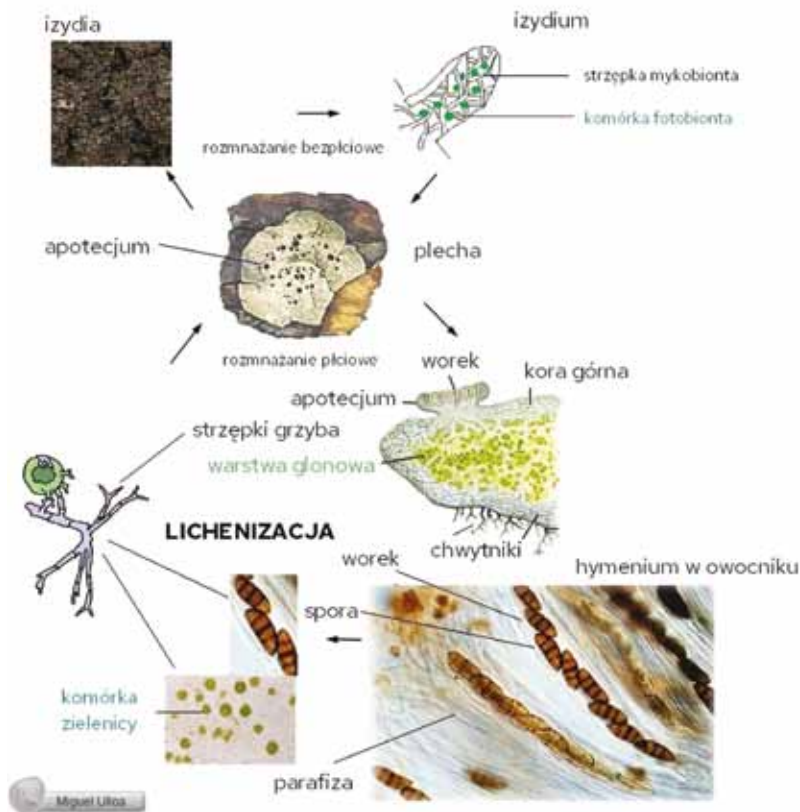
1-3. jedнокomorowe
4-6. dwukomorowe
7-9. wielokomorowe
10. murkowate

Ryc. 28. Zarodniki grzybów workowych u porostów (Źródło: Golubkova N.S. 1977. Struktury rozrodcze porostów. <http://plantlife.ru/books/item>, nieco zmienione)

Zarodniki podstawkowe (bazydiospory) u porostów z mykobiontem podstawczakiem tworzą się w owocnikach kapeluszowych, na dolnej stronie kapelusza, w warstwie hymenialnej, na podstawkach (bazydiach), na szczycie wyrostków zwanych sterygmami.

W plechach porostów, zdolność rozmnażania płciowego zachowały jedynie grzyby. Konsekwencją tego rozmnażania jest wytwarzanie przez mykobionta workowego zarodników workowych (askospor) w workach, a przez mykobionta podstawkowego zarodników podstawkowych (bazydiospor) na podstawkach. Utworzenie nowej plechy (lichenizacja) możliwe jest tylko w wyniku

bezpośredniego kontaktu rozwijających się z askospory lub bazydiospory strzępek grzyba z komórkami odpowiedniego glonu (Ryc. 29).



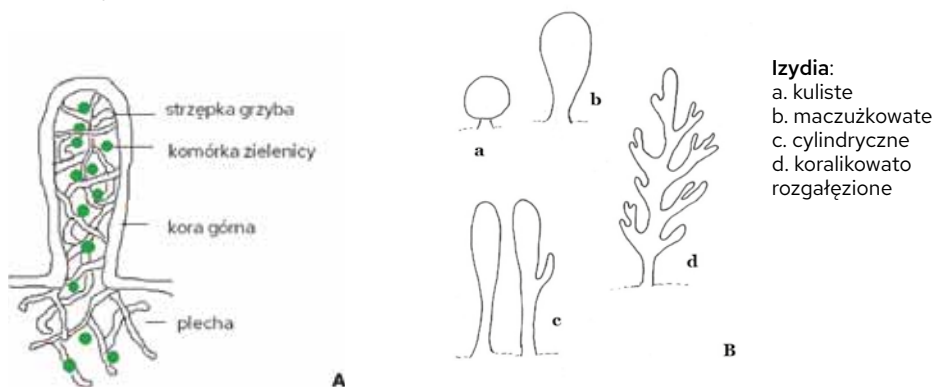
Ryc. 29. Cykl rozwojowy porostu (Źródło: Ulloa 2015, <http://unibio.unam.mx/irekani/bitstream/123456789/32022/1/11756.jpg>, nieco zmienione)

Izydia i soredia – diasporry zlichenizowane (symbiotyczne) porostów

Diasporry symbiotyczne złożone z obu komponentów porostowych powstają na drodze bezpłciowej. Porosty rozmnażają się wegetatywnie przez fragmentację plech lub przez diasporry zlichenizowane – wyrostki (izydia) i urwistki (soredia).

Izydia wyrastają pojedynczo lub grupkami na górnej powierzchni plechy, rzadziej na brzegach łatek lub soraliów. Są wyraźnie od plechy odgraniczone. Osiągają różną wielkość, najczęściej są drobne lub bardzo drobne. Typowe izydia mają budowę anatomiczną identyczną jak plecha, na której wyrastają

– budują je komórki glonów i strzępki grzyba, otoczone warstwą korową. Izydia mogą przybierać różne kształty, np. mogą być pałeczkowate, koralikowate, łuseczkowate (Ryc. 30, Fot. 18). Często bywają zwężone u nasady, mogą mieć taką samą barwę jak plecha. Ich główną rolą jest zwiększanie powierzchni asymilacyjnej plechy, ale jeśli zostaną odłamane, to z każdego izydium ma szansę wyrosnąć nowy osobnik.



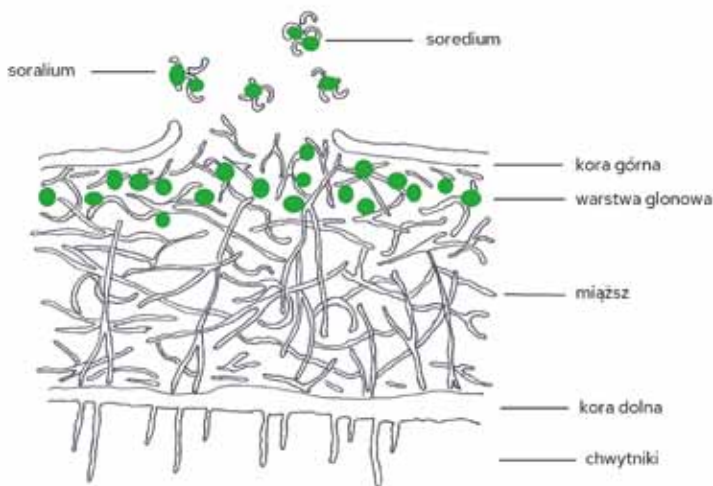
Izydria:
a. kuliste
b. maczużkowate
c. cylindryczne
d. koralikowato rozgałęzione

Ryc. 30. Izydria i ich typy (A – izydium, B – typy izydriów; opracowanie własne)



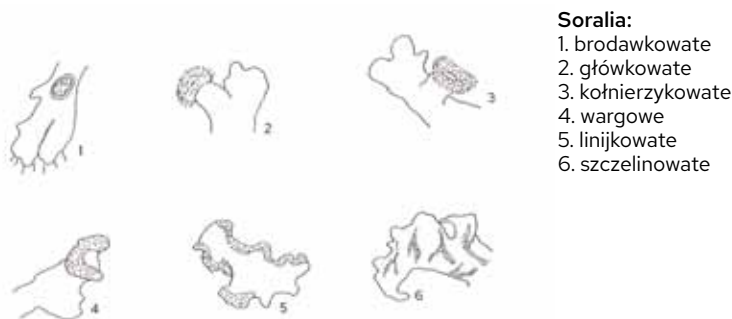
Fot. 18. Tarczownica skalna *Parmelia saxatilis* z licznymi, ciemno szarymi izydiami na powierzchni plechy (Fot. P. Sarżyński)

Soralia i soredia (urwistki) występują u bardzo licznych gatunków porostów. Soralia powstają na powierzchni plechy albo na jej brzegach, w miejscu pęknięcia kory (Ryc. 31). U niektórych gatunków pokrywają znaczną powierzchnię plechy. Są wypełnione mączystymi, ziarenkowatymi lub igiełkowatymi urwistkami (sorediami). Pojedyncze soredium składa się z jednej lub kilku komórek glonu oplecionych strzępkami grzyba. Soredia wyraźnie różnią się kolorem od powierzchni plechy i najczęściej są zabarwione jak miąższ.



Ryc. 31. Tworzenie się sorediów u porostów (opracowanie własne)

Soralia przybierają różne kształty, mogą być wargowe, brodawkowe, główkowate, płatowate, szczelinowate, linijkowate, igiełkowate (Ryc. 32, Fot. 19-20). Jedno soredium może zawierać kilka-kilkanaście komórek glonu oplecionych strzępkami grzyba.



- Soralia:**
1. brodawkowe
 2. główkowate
 3. kołnierzykowe
 4. wargowe
 5. linijkowate
 6. szczelinowate

Ryc. 32. Typy soralii porostów (opracowanie własne)



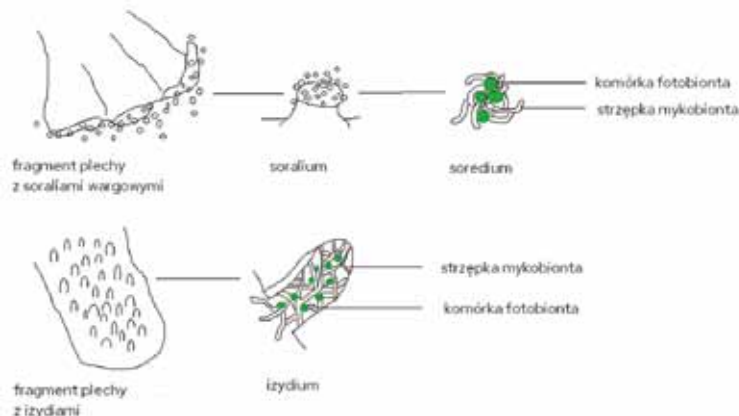
Fot. 19. Granicznik płucnik *Lobaria pulmonaria* z siecią siateczkowatych wyniesień, na grzbiecie których znajdują się białawo-szare soralia (Fot. A. Matwiejuk)





Fot. 20. Otwornica gorzka *Pertusaria amara* z licznymi brodawkowatymi soraliami (Fot. P. Sarżyński)

Zarówno izydia, jak i soredia złożone są ze strzępek grzyba i komórek glonów, i po oddzieleniu od plechy macierzystej mogą w sprzyjających warunkach odtworzyć nowy organizm o identycznych cechach genetycznych (Ryc. 33). Oderwanie się wyrostków od plechy nie odbywa się samorzutnie, a wymaga to zadziałania jakiegoś bodźca z zewnątrz. Pomnażanie przez urwistki i wyrostki to bardzo efektywny sposób zwiększania liczebności osobników. Nazwa izydia pochodzi z języka greckiego od bogini płodności *Isis*, czyli *Izydy*.



Ryc. 33. Urwistki i wyrostki porostów (opracowanie własne)

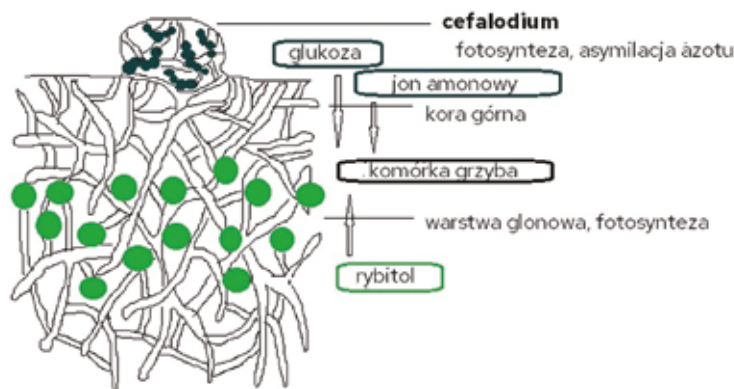
Diaspory zlichenizowane, zarówno urwistki, jak wyrostki roznoszone są przez wiatr, wodę, zwierzęta. Ptaki, np. albatrosy przenoszą je z Arktyki. Diaspory te, gdy znajdą się w sprzyjających warunkach kiełkują w plechę.

Wśród porostów istnieją również gatunki, które bardzo rzadko wytwarzają izydia i soredia, co jest prawdopodobnie wynikiem oddziaływania czynników środowiskowych.

1.6. Wtórne metabolity porostowe – „kwasy porostowe”

Osobliwością przeważającej większości gatunków porostów jest wytwarzanie znacznej liczby wtórnych metabolitów porostowych – kwasów porostowych. Występują one w plechach w postaci kryształów, granulek lub kropelek. Gromadzą się na powierzchni strzępek miąższu, w soraliach, otoczkach, epihymeniach owocników, rzadziej w warstwie korowej. Ich ilość waha się od 0,5 do 10% suchej masy porostu. Kwasy porostowe wytwarzane są przez mykobionta, za pomocą cukru produkowanego przez autotroficzny symbionta. Zielenice w procesie fotosyntezy produkują rybitol (*Coccomyxa*, *Myrmecia* i *Trebouxia*), erytrol

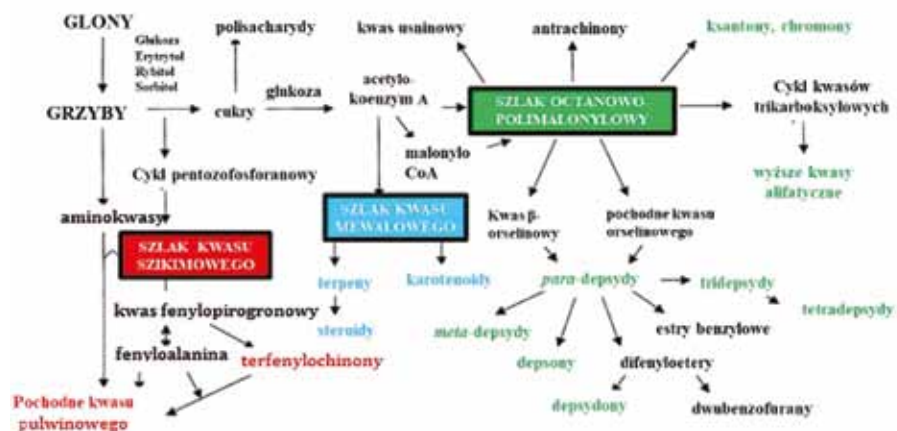
(*Trentepohlia*), sorbitol (*Hyalococcus*), zaś cyjanobakterie (*Nostoc*, *Scytonema*, *Chroococcus*) glukozę. Przy udziale odpowiednich transporterów są dostarczane komórkom mykobionta (Ryc. 34).



Ryc. 34. Interakcje między komórkami mykobionta a komórkami chlorobionta i cyjanobionta, podczas transportu produktów fotosyntezy do komórek grzyba (opracowanie własne)

Następnie grzyb w trzech szlakach metabolicznych produkuje odpowiednie kwasy porostowe (Ryc. 35).

Szlaki metabolitów porostowych



Ryc. 35. Szlaki metabolitów porostowych (Źródło: Nash 2008, nieco zmienione)

Kwasy porostowe to związki nierozpuszczalne w wodzie, głównie alifatyczne i acykliczne substancje bezbarwne pochodne fenoli, para- i trójterpeny, substancje aromatyczne i inne (Tab. 1). Ze względu na ich budowę chemiczną – niepoprawną, choć ogólnie przyjętą nazwą są kwasy porostowe.

Tab. 1. Podstawowe grupy wtórnych metabolitów porostowych

Grupa	Związki chemiczne	Wtórne metabolity porostowe
Octanowo-Polimalonianowa	Wyższe kwasy tłuszczowe, aromatyczne poliketidy, depsydy, depsydony, chromony, ksantony	Kwas lekanorowy, kwas usninowy, kwas rocellowy, kwas gyroforowy, kwas protolichesterynowy
Mewalonianowa	Monoterpeny, dwuterpeny, trójterpeny, steroidy	Karotenoidy
Szikimianowa	Pochodne kwasu fulwinowego, terpenylocholino	Kwas wulpinowy, kalicyna

Wtórne metabolity porostowe są związkami chemicznymi bez zapachu i najczęściej bez smaku. Tylko nieliczne z nich są gorzkie i piekące. Znaczna liczba kwasów porostowych posiada właściwości bakteriostatyczne, bakteriobójcze, przeciwgrzybicze, antywirusowe (Ryc. 36). Stwierdzono np., że kwas usninowy i protolichesterynowy wykazują aktywność wobec różnych typów doświadczalnych nowotworów zwierzęcych. Kwasy porostowe mają właściwości lecznicze, znane od dawna. Stosowane są w leczeniu chorób dróg oddechowych i przewodu pokarmowego.



Ryc. 36. Właściwości biologiczne wtórnych metabolitów porostowych (opracowanie własne)

Sporadycznie, kwasy porostowe są trujące, np. kwas wulpinowy. Przez wiele setek lat porostem jaskrotą wilczą (j. lisią) *Letharia vulpina*, który zawiera ten trujący kwas, mieszkańcy Europy i Ameryki Północnej truli wilki i lisy, dodając go do przynęt. Duże fragmenty mięsa wypychano plechami tego porostu,

często zmieszany z drobno rozdrobnionym szkłem i pozostawiano do zjedzenia zwierzętom. Okaleczenie narządów wewnętrznych i silnie paraliżujące działanie kwasu na układ oddechowy powodowały śmierć zwierzęcia.

Większość wtórnych metabolitów porostów to substancje bezbarwne, niektóre z nich są żółte lub cytrynowe, żółto-pomarańczowe (kwas rizokarponowy, wulpinowy, parietina), nieliczne są pomarańczowe (kwas solorinowy) lub krwistoczerwone (kwas rodokladoniowy) (Fot. 21). Intensywne zabarwienie plech porostów podnosi ich atrakcyjność, a jednocześnie odstrasza potencjalnych konsumentów.

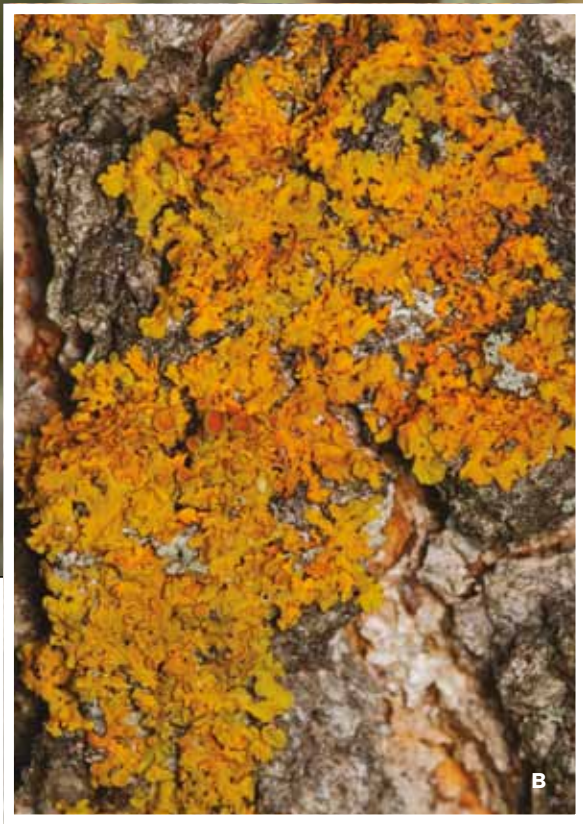
Znanych jest około 800-1000 rodzajów kwasów porostowych, z czego tylko 50 do 60 została odnaleziona również w grzybach niezlichenizowanych. Wiele gatunków porostów wytwarza kwasy porostowe, ale ich występowanie nie jest jednakowe we wszystkich grupach porostów. Porosty z cyjanobiontami są na ogół ubogie w kwasy porostowe.

Wtórne metabolity porostowe dla porostów pełnią rolę obronną (jako „*metabolity stresu*”), chronią ich plechy przed rozwojem mikroorganizmów. Ponadto chronią komórki fotobionta przed zbyt intensywnym promieniowaniem słonecznym poprzez absorpcję światła i promieniowania ultrafioletowego. Jest to istotne w przypadku gatunków porostów zasiedlających wysokie partie gór. Inne kwasy porostowe, np. atranoryna posiada właściwości fluorescencyjne i pełni rolę dodatkowego absorbentu, rekompensując porostom rosnącym w zacienionym środowisku zbyt niskie natężenie światła. Ponadto związki te zabezpieczają plechy porostów przed zgryzaniem przez zwierzęta, ponieważ niektóre z nich są bardzo gorzkie, piekące i trujące. Wykazano, że wtórne metabolity porostowe funkcjonują jak związki allelochemiczne, które kontrolują podziały komórki fotobionta w plechach. I w ten sposób mogą odgrywać kluczową rolę w utrzymaniu równowagi pomiędzy komponentami plech porostowych. Wykryto, również, że substancje te na powierzchni strzępek grzyba w warstwie miąższowej ułatwiają wymianę gazową, zwiększając przepuszczalność ścian komórkowych fotobiontów.

Ilość wtórnych metabolitów porostowych, obecnych w plechach porostów może ulegać zmianom na skutek wpływu różnorodnych czynników środowiskowych, w tym związanych z działalnością człowieka. Zmiany te mogą przejawiać się obniżeniem lub wzrostem zawartości kwasów porostowych. Wykazano dodatnie korelacje pomiędzy ilością wybranych substancji porostowych a bezpośrednim i rozproszonym promieniowaniem słonecznym. Wzrost zawartości niektórych kwasów porostowych, jak np. kwasu fyzodalowego można uznać za przejaw strategii obronnej u porostów względem kumulujących się zanieczyszczeń, np. metali ciężkich w ich plechach.

Wtórne metabolity porostów są specyficzne tylko dla porostów, a niektóre z nich tylko dla niektórych gatunków, dzięki temu wykorzystuje się je do identyfikacji poszczególnych gatunków. Są to tzw. reakcje barwne porostów





Fot. 21. Wybrane kwasy porostowe

- A – granicznik płucnik *Lobaria pulmonaria* – kwas stiktowy w plesze (Fot. P. Sarżyński)
- B – złotorost ścienny *Xanthoria parietina* – parietina w plesze (Fot. J. Kupryjanowicz)
- C – chrobotek cienki *Cladonia macilenta* – kwas rodokladoniowy w owocnikach (Fot. J. Kupryjanowicz)

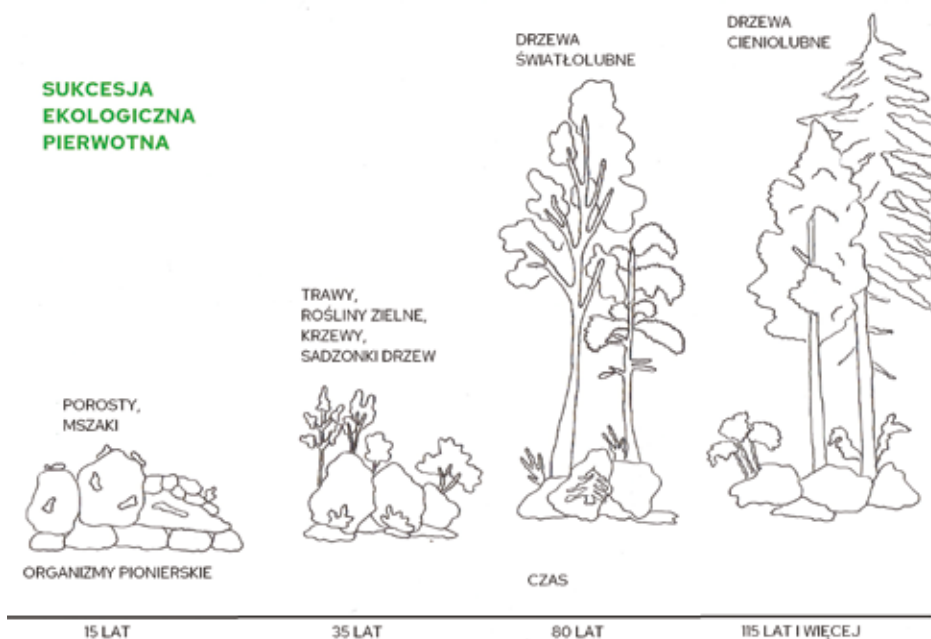
(testy punktowe). Najczęściej stosuje się do nich: wodny roztwór wodorotlenku potasu (KOH, oznaczenie: K), chlor (Cl, oznaczenie: C) lub rozpuszczoną w alkoholu para-fenyldwuaminę (PFDA, oznaczenie: Pd). Przykładowo, plechy gatunków żółtaczków *Calogaya*, złotorostu ściennego *Xanthoria parietina* czy rozsyпка srebrzystego *Phlyctis argena* zabarwiają się na intensywnie czerwony kolor pod wpływem KOH (K⁺ czerwona), a chrobotek reniferowy *Cladonia rangiferina* barwi się na czerwono pod wpływem PFDA (Pd⁺ czerwona). Do bardziej szczegółowej analizy wtórnych metabolitów porostowych stosuje się chromatografię cienkowarstwową (TLC) lub wysokosprawną chromatografię cieczową (HPLC). Do identyfikacji wtórnych metabolitów porostowych używane jest również promieniowanie ultrafioletowe UV, ponieważ pod jego wpływem niektóre związki wykazują fluorescencję.

1.7. Ekologia porostów – grupy siedliskowe

Porosty uważa się za organizmy pionierskie, ponieważ mogą występować w różnych, często bardzo ekstremalnych warunkach i jako pierwsze torować drogę innym organizmom. Porosty jako pierwsze rozpoczynają zasiedlanie terenu, np. nagich skał, terenów świeżo odsłoniętych spod pokrywy lodowej, lawy po erupcji wulkanu, nowej piaszczystej wydmy. Po kolonizacji, następnie modyfikują jeden lub więcej czynników środowiskowych. Ta modyfikacja środowiska może z kolei umożliwić osiedlenie się kolejnym organizmom. W taki sposób, np. jałowa skała zamienia się w las. A proces ten to sukcesja pierwotna, a porosty jako organizmy pionierskie odgrywają w niej kluczową rolę (Ryc. 37).

Porosty jako organizmy pionierskie zatrzymują w swoich plechach ziarna piasku, fragmenty skał, a ich obumarłe szczątki plech użyźniają powstającą w ten sposób glebę. Z czasem umożliwiają kolonizację kolejnym, bardziej wymagającym roślinom. Porosty wykazują szereg przystosowań pozwalającym im na szybką i efektywną kolonizację nowych terenów: mają małe wymagania pokarmowe, są odporne na suszę, silne nasłonecznienie, niskie i wysokie temperatury, mają zdolność zatrzymywania wody z opadów atmosferycznych i wiązania azotu atmosferycznego. Porosty są zdolne do zasiedlania skał, betonu, cegieł, dachówek, zaprawy murarskiej oraz nietypowych podłoży, jak szkło, plastik. Wydzielane przez porosty wtórne metabolity porostowe przyspieszają procesy erozji, wietrzenia i kruszenia skał, dzięki czemu zostaje zapoczątkowany proces tworzenia się gleby. W miarę powstawania gleby, porosty zastępowane są przez inne grupy roślin, jak mchy, paprocie, następnie trawy i turzyce, rośliny zielne a w kolejnych etapach przez krzewy i drzewa. Sukcesja pierwotna prowadząca do powstania ekosystemu leśnego jest procesem długotrwałym, trwającym nawet kilkaset lat (Ryc. 37).

SUKCESJA EKOLOGICZNA PIERWOTNA



Ryc. 37. Etapy sukcesji ekologicznej pierwotnej (opracowanie własne)

Porosty są organizmami, które świetnie radzą sobie z surowymi warunkami pustyń, klimatem obszarów polarnych czy terenów wysokogórskich. Tolerują niskie i wysokie temperatury, znikome ilości wody i związków pokarmowych, biogenów itp.

Niektóre gatunki porostów potrafią prowadzić aktywny proces fotosyntezy w temperaturach poniżej 0°C oraz poniżej temperatury zamarzania swoich płynów ustrojowych. Wiele gatunków porostów antarktycznych podejmuje strategię uniemożliwiającą powstanie lodu wewnątrzkomórkowego poprzez drastyczne odwodnienie organizmu (Harańczyk 2006). Inne gatunki potrafią pokonać niskie temperatury poprzez stymulowanie powstawania kryształków lodu w przestrzeniach pozakomórkowych. Strategia ta nie tylko nie grozi śmiercią, ale i przynosi korzyści. W ubogich środowiskach, gdzie trudno o wodę opadową, woda z topniejącego kryształka lodu wewnątrz plechy daje przewagę umięjącemu tak magazynować wodę porostowi, który w poprawiających się warunkach pogodowych może już rozpocząć aktywność życiową, w przeciwieństwie do konkurentów oczekujących dopiero na deszcz. Niektóre porosty wykorzystują naprzemiennie obie te strategie. Kiedy poziom uwodnienia plechy jest zbyt wysoki, stymulują powstanie lodu w przestrzeniach międzykomórkowych, dla niższych zaś uwodnień zwiększają udział wody niezamarzniętej. Chcąc przetrwać temperatury poniżej 0°C,

porosty podejmują również strategię polegającą na zwiększeniu udziału wody niezamarzniętej, intensywnie wydzielając związki chemiczne noszące nazwę krioprotektantów. Rolę tych związków w plechach porostów odgrywają wieloalkohole (rybitol, mannitol, arabitol) oraz cukry proste. Krioprotektanty łatwo mieszają się z wodą, co uniemożliwia wodzie formowanie kryształitów lodu (Harańczyk 2003).

W naturalne krioprotektanty wyposażone są również zmiennoociplne zwierzęta arktyczne i antarktyczne, by chronić swoje komórki i tkanki przed uszkodzeniami podczas hibernacji. Funkcję tę pełnią białka znajdujące się we krwi lub w chłonce.

Dzięki wyżej opisanym specjalnym adaptacjom porosty rosną najdalej na południu Ziemi, na Antarktydzie, spotkać je można w odległości 300 km od Bieguna Południowego. Porosty potrafią przetrwać ekstremalnie niskie temperatury i skrajną dehydratację. Niektóre gatunki są w stanie przeżyć oziębienie do temperatury ciekłego azotu, a nawet ekspozycję w przestrzeni kosmicznej. Jako nieliczne organizmy potrafią pobierać wodę ze śniegu aby rozpocząć proces fotosyntezy.

Porosty są najbardziej charakterystyczną grupą organizmów o poikilohydrowym (zmiennowodnym) typie stosunków wodnych, i zawartość wody w ich plechach silnie zależy od warunków środowiskowych. Nie mają one żadnych organów umożliwiających aktywne pobieranie, przewodzenie i magazynowanie wody. Silnie higroskopijne plechy (współczynnik pobierania wody porównywalny z żelazem krzemionkowym) chłoną wodę zawartą w atmosferze w postaci opadów atmosferycznych, rosy lub mgły; w miejscu nasłonecznionym plechy tracą całą zawartość wody w bardzo krótkim czasie (1-2 godziny). Wysuszone plechy porostów bardzo łatwo wchłaniają wodę ciekłą. Zawartość wody w wysuszonych plechach *in situ* wynosi około 15-30% i może wzrastać do 250-400% - w przypadku plech zawierających zielenice, lub nawet 600-2000% - w przypadku porostów z podstawowym składnikiem fotobiontycznym w postaci cyjanobakterii (Nash 1996). Liczne badania wskazywały, że porosty o odmiennej morfologii i odmiennych fotobiontach różnią się szybkością pobierania wody ciekłej (Lange i in. 1988). Badano zależność aktywacji fotosyntezy od stopnia uwodnienia plech. Wykazano, że większość porostów posiadających zielenice jako fotobionta może przeprowadzać proces fotosyntezy przy minimalnej zawartości wody wynoszącej ok. 20% ich suchej masy. Porosty zawierające cyjanobakterie potrzebują ciekłej wody do aktywacji procesu fotosyntezy. Zawartość wody w ich plechach, która jest niezbędną do rozpoczęcia fotosyntezy (85%-100% suchej masy) jest 3-6 razy większa niż u porostów zawierających zielenice (15%-30% suchej masy). Wykazano, że zarówno porosty zawierające zielenice i cyjanobakterie nawadniają swoje plechy do około 50% zawartości wody przez pochłanianie pary wodnej

z powietrza, ale tylko porosty z zielenicami wykazują pozytywną fotosyntezę netto (Lange i in. 1988).

Badania nad dobowym obiegiem wody w plechach porostów naziemnych wykazały wysoką korelację pomiędzy procesami absorpcji i ewaporacji wody z plech porostów z warunkami pogodowymi, a zwłaszcza 24-godzinnymi zmianami wilgotności względnej powietrza atmosferycznego i zmianami temperatury powietrza (Matwiejuk 2000). W ciągu doby, porosty są najbardziej aktywne fizjologicznie wieczorem, w nocy i nad ranem, a w ciągu roku jesienią. Badania wykazały wysoką korelację między procesami absorpcji i parowania a warunkami atmosferycznymi, a zwłaszcza 24-godzinnymi zmianami wilgotności powietrza i temperatury. Procesy te są skorelowane niezależnie od pory roku.

Specyficzna gospodarka wodna jest przyczyną znacznej wrażliwości plech porostowych na zanieczyszczenia atmosferyczne, plechy wysuszone są stosunkowo odporne na zanieczyszczenia, plechy aktywne fizjologicznie chłoną wraz z wodą toksyny, które kumulują się w plechach.

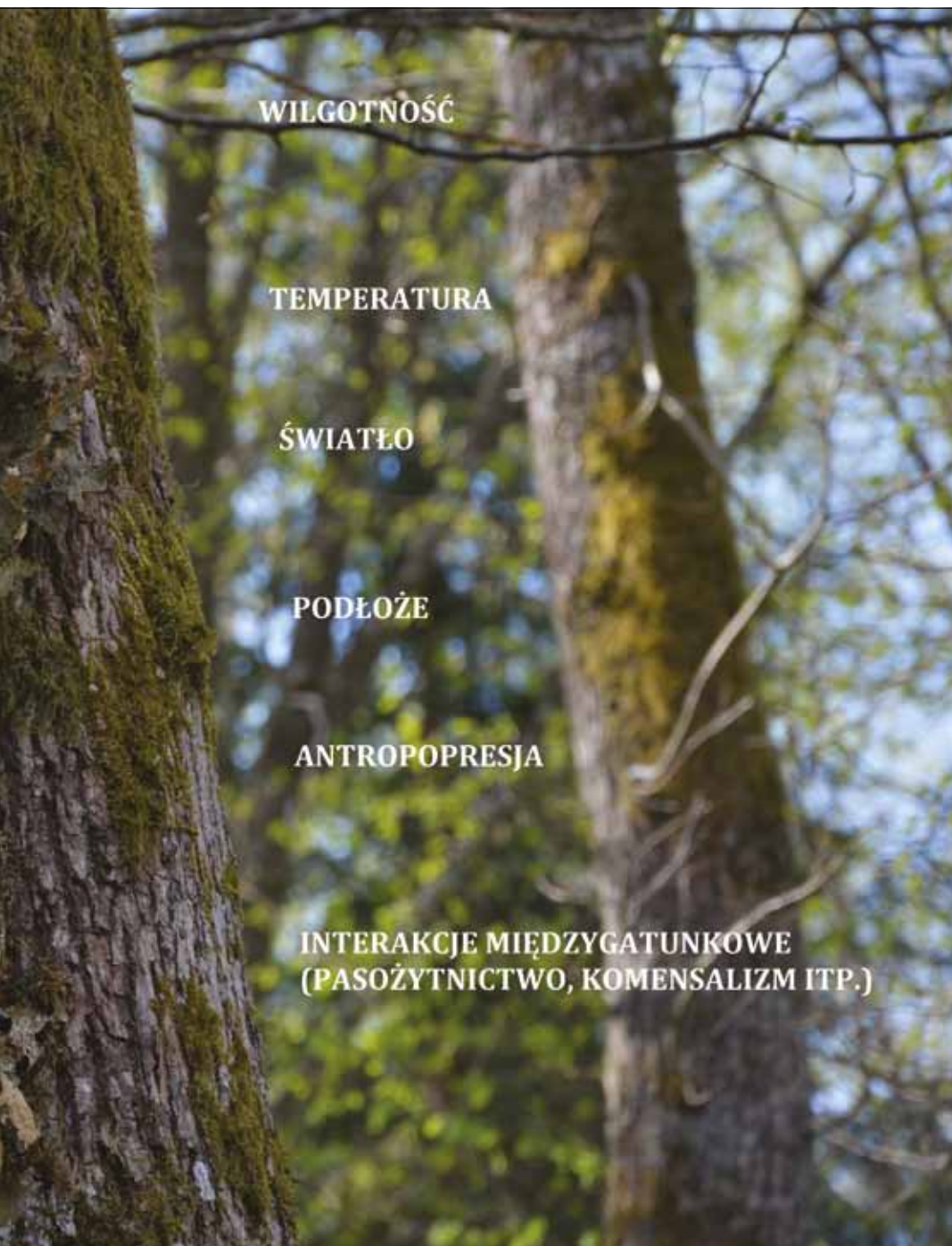
Występowanie porostów jest uwarunkowane wieloma czynnikami środowiskowymi, np. temperaturą, wilgotnością, światłem (Fot. 22).

Czynnikiem wywierającym duży wpływ na rozmieszczenie porostów ma wilgotność powietrza. Mimo, że porosty odznaczają się dużą wytrzymałością na suszę, potrafią żyć w miejscach silnie nasłonecznionych, to jednak większa wilgotność zawsze sprzyja ich rozwojowi. W klimacie tropikalnym czy oceanicznym, gdzie opady atmosferyczne są regularne, czy w miejscach gdzie mgły są częstym zjawiskiem (np. pustynie mgielne – afrykańska pustynia Namib, w Ameryce Południowej pustynia Atakama), porosty znajdują dobre warunki do rozwoju i występują tam w dużej liczbie gatunków, jako porosty naskalne – epility, czy porosty nadrzewne (np. na kaktusach) – epifity. Mgły w przybrzeżnych częściach pustyni dostarczają porostom wilgoci niezbędnej do życia. Na pustyni Namib rośnie ok. 120 gatunków porostów, większość z nich to gatunki rzadkie i endemiczne. Wśród nich są gatunki określane mianem „biegaczy pustynnych”, których plechy przemieszczają się po powierzchni ziemi pod wpływem działania wiatru.

Większość gatunków porostów unika bezpośredniego kontaktu z wodą opadową, korzystając z pary wodnej lub wody zawartej w podłożu. Wśród porostów nadrzewnych są gatunki, które kolonizują miejsca, gdzie dostęp do wody deszczowej jest utrudniony, np. głębokie spękania kory starych drzew (np. gatunki z rodziny pałecznikowatych Caliciaceae).

Optymalną temperaturą dla rozwoju wielu plech porostowych jest temperatura od 5 do 20 °C, ale zależy ona także od gatunku, pory roku, nasłonecznienia, stopnia uwodnienia itp. W tych samych warunkach różne porosty mają odmienne optima fotosyntetyczne, np. gatunki tropikalne – powyżej +18 °C,





Fot. 22. Czynniki środowiskowe determinujące występowanie porostów (Fot. A. Matwiejuk)

a gatunki arktyczne – poniżej +10 °C. Podobnie odmienne są najniższe temperatury przy których odbywać się może fotosynteza, np. chrobotek rosochaty *Cladonia foliacea* i chróścik alpejski *Stereocaulon alpinum* -24 °C (gatunki alpejskie), pustułka pęcherzykowata *Hypogymnia physodes* -6 °C (gatunek strefy umiarkowanej), turzynka *Heterodermia leucomeleos* -1°C (gatunek tropikalny) (Kubiak 2020).

Zdecydowana większość porostów to gatunki światłolubne (heliofity). Niektóre gatunki mogą regulować stopień przenikanie promieni słonecznych przez górną warstwę kory górnej do warstwy glonowej. Stopień nasłonecznienia może wpływać na intensywność zabarwienia plech, np. złotorost ścienny *Xanthoria parietina*, w miejscach silnie nasłonecznionych jest żywo żółto-pomarańczowy, a w miejscach zacienionych – zielonożółty (Kubiak 2020).

Grupy siedliskowe porostów

Uniezależnienie się od wody zawartej w podłożu (za wyjątkiem nielicznej grupy porostów przywiązanych do silnie uwodnionego podłoża) umożliwia porostom zasiedlanie bardzo zróżnicowanych siedlisk, często skrajnych, niedostępnych dla innych organizmów, zwłaszcza roślin naczyniowych.

Porosty rosną na bardzo różnych podłożach organicznych i nieorganicznych. Liczne gatunki zasiedlają podłoża, stworzone przez człowieka, jak beton, eternit, dachówki, metal, a nawet tworzywa sztuczne.

Ze względu na typ zasiedlanego przez nie substratu (podłoża) wyróżniamy porosty:

- nadrzewne (**EPIFITY**) – kora drzew, krzewów i krzewinek
- naziemne (**EPIGEITY**) – gleba
- naskalne (**EPIILITY**) – skały (podłoża kwarcytowe – epility acidofilne, podłoża zawierające węglan wapnia – epility kalcyfilne)
- martwego i murszejącego drewna (**EPIKSYLE**) – naturalne (martwe stojące lub powalone pnie drzew, pniaki, opadłe konary i gałęzie), antropogenicznie przekształcone (płoty, słupy, ściany drewnianych zabudowań, poręcze, krzyże)
- naliste (**EPIFILE**) – liście i igły roślin
- na mszakach (**EPIBRYOFITY**) – łodyżki i liście mszaków
- podłoża specyficznych (metal, szkło, tworzywa sztuczne itp.).

Porosty epifityczne spotykane są na korowinie różnych gatunków drzew i krzewów liściastych i iglastych, powszechnie w lasach i na terenach otwartych, nie występują jedynie w miejscach o szczególnie wysokim skażeniu powietrza atmosferycznego (Fot. 23).



Fot. 23. Porosty nadrzewne (epifity) (Fot. A. Matwiejuk)

Dla porostów naziemnych znakomitymi siedliskami dla ich rozwoju są suche, jałowe gleby w borach sosnowych i na murawach (Fot. 24).



Fot. 24. Porosty naziemne (epigeity) (Fot. J. Kupryjanowicz)





Fot. 25. Porosty naskalne (epilithy) (Fot. A. Matwiejuk)

Porosty naskalne pokrywając duże powierzchnie skał lub kamieni nadają im nieraz charakterystyczne zabarwienie – żółte, pomarańczowe, rudawe, zielonkawe, szare, brunatne lub czarne, przez co krajobraz nabiera swoistego



i oryginalnego charakteru i piękna (Fot. 25). Dzięki temu nadają się czasami odpowiednie nazwy, np. Żółta Turnia w Tatrach Wysokich zawdzięcza swą nazwę siarkowożółtemu porostowi – wielosporkowi jaskrawemu *Acarospora oxytona*.



Fot. 26. Porosty murszejącego drewna (epiksyle) (Fot. A. Matwiejuk)

W przypadku epiksyli ich udział jest większy, gdy drewno jest bardziej suche i oświetlone, zaś w miejscach wilgotnych i zacienionych porosty przegrywają walkę o podłoże z konkurencyjnymi wilgociolubnymi i cienioznośnymi mchami i wątrobowcami (Fot. 26).

W naszych warunkach klimatycznych częstymi porostami nalistnymi są gatunki porastające igły, głównie świerkowe, ze względu na to, że utrzymują się one na gałęziach świerka przez około 5-7 lat.

Porosty rosną także na podłożach specyficznych: metalu, plastiku, szkłe, tworzywach sztucznych, tkaninach, butach, gumie, kościach. Właściwie nie ma podłoża, którego by te organizmy nie potrafiły zasiedlić.

Ciekawostką lichenologiczną jest odnalezienie plech porostów na karapakach (skorupach) żywych żółwi z Wysp Galapagos.

Adaptacje porostów do ekstremalnych warunków

Porosty występują na świecie na każdym kontynencie i we wszystkich formacjach roślinnych. Pospolicie rosną zarówno na wystających spod śniegu skałach w obszarach polarnych, jak i wśród rozpalonych piasków pustyń, w lasach strefy międzyzwrotnikowej oraz w obszarach klimatu umiarkowanego. Zajmują ok. 8% powierzchni naszej planety. Porosty są powszechne od Arktyki po

Antarktydę, rosną na morskich klifach, gorących pustyniach i na szczytach Himalajów. Porosty stanowią dominujący element bioróżnorodności w tundrze. Porosty są organizmami odpornymi na stres, cechuje je powolne tempo wzrostu, znaczna długowieczność, niskie zapotrzebowanie na składniki odżywcze i zdolność przystosowania do przetrwania w najbardziej ekstremalnych środowiskach na Ziemi. Zdolności adaptacyjne porostów do ekstremalnych warunków, np. pustynnych czy polarnych polegają na specyficznych adaptacjach morfologicznych i fizjologicznych, jak i na zmianach w przystosowaniu się do tych warunków (Tab. 2). Molekularne mechanizmy przetrwania nie zostały jednak dotychczas poznane.

Tab. 2. Morfologiczne i fizjologiczne adaptacje porostów do ekosystemów ekstremalnych (Źródło: Armstrong 2017)

Środowisko	Rodzaj adaptacji	Adaptacje
Wilgotny las, np. las deszczowy (tropikalny)	Morfologiczna	Porosty są przystosowane do życia w cieniu, plechy mają cieńszą korę, mniej owocników i są mniej wybarwione. Mogą mieć tomentum – który zatrzymuje wodę w plechach, w celu zaprzestania dalszemu nasyceniu plechy. Górna lub dolna powierzchnia plechy jest nieprzepuszczalna dla wody.
	Fizjologiczna	W stanie wilgotnym plechy tolerują wysokie temperatury. Niektóre gatunki wykazują obniżenie intensywności fotosyntezy netto (nPS), przy wysokiej zawartości wody w plechach. Porosty mogą wykorzystywać substancje porostowe jako obronne allelochemikalia – ochrona przed konkurencyjnymi mszakami i roślinami wyższymi.
Pustynia	Morfologiczna	Dominują plechy skorupiaste, o jasnym zabarwieniu. Niektóre gatunki mają stosunkowo grubą warstwę korową i warstwę glonową rozmieszczoną nad korą dolną (położenie brzuszne). Plechy mogą zawierać pigmenty fotoprotekcyjne (gatunki o plechach żółto-pomarańczowych). Na pustyniach mglistych porosty mają większą powierzchnię plech, dominują porosty o plechach krzaczkowatych, zwisających, o strukturze kępkowej.
	Fizjologiczna	Intensywność fotosyntezy netto (nPS) może być optymalna w wysokich temperaturach i rejestrowana przy bardzo niskim stopniu uwodnienia plech.
Arktyka	Morfologiczna	Dominują plechy skorupiaste i krzaczkowate. Plechy z reguły ciemne (łatwiej pochłaniają ciepło), a plechy o jaśniejszym zabarwieniu występują w miejscach izolowanych. Gatunki krzaczkowate rosną w gęstych skupieniach.
	Fizjologiczna	Plechy mają zdolność wykorzystywania krótkich, sprzyjających okresów z optymalnymi warunkami.
		Wysoka tolerancja na zamarzanie: silny wzrost nPS i zdolność oddychania po okresach ekstremalnie niskich temperatur.
		Wzrost stężenia rozpuszczalnych węglowodanów, zwłaszcza dwucukru – trehalozy.

Regiony alpejskie	Morfologiczna	U gatunków rosnących na wyższych wysokościach, plechy mają szersze, czarne przedplesze (prothallus), czyli obwodową, pozbawioną fotobionta część plechy inicjującą jej wzrost – adaptacja do pochłaniania światła.
	Fizjologiczna	Plechy, wytwarzają ochronny kwas usninowy, który pochłania promieniowanie UV. Zawierają dużą pulę polioli (alkoholi cukrowych, wielowodorotlenowych, pochodnych monosacharydów). Wykorzystują krótkie optymalne okresy wegetacji. Wraz ze wzrostem wysokości zmienia się skład białek i kwasów tłuszczowych w plechach.
Antarktyda	Morfologiczna	Dominują porosty skorupiaste i listkowate, często plechy mają postać skarłałą w porównaniu do tych, które rosną w klimacie umiarkowanym. Plechy z wyraźnie grubszą korą. Plechy jaśniejsze, żółto-zielone obecne w spękaniach i szczelinach. W miejscach suchych obecne są endolity – porosty żyjące wewnątrz skał, w tym jako chasmoendolity (żyjące w szczelinach i pęknięciach), kryptoendolity (żyjące w wewnętrznych kanalikach skały) i euendolity (penetrujące aktywnie skały i wytwarzające szczeliny dostosowane do rozmiaru i kształtu strzępek).
	Fizjologiczna	Adaptacje podobne do adaptacji porostów rosnących w Arktyce. U niektórych gatunków obecny jest barwnik fotoprotekcyjny melanina.
Środowiska bogate chemicznie (np. silnie zeutrofizowane, zasolone, zanieczyszczone, w tym metalami ciężkimi)	Morfologiczna	Plechy posiadają hydrofobową powierzchnię plech (cecha porostów odpornych na SO ₂), oraz kanały gazowe umożliwiające fotosyntezę.
		Obecne w plechach związki hydrofobowe.
	Fizjologiczna	Plechy tolerują wysokie pH podłoża, na którym rosną. Mają fizjologiczną zdolność kontroli stężenia jonów wewnątrz komórek. W sytuacjach stresowych produkują etylen i wtórne metabolity porostowe (np. kwas fumaroprocetrariowy, który wpływa na tolerancję plech na kwaśne zanieczyszczenia powietrza). Wykazują zróżnicowaną ekspresję genów kodujących białka szoku cieplnego (HSP), S-transferazy glutationowej (GST) i transportera kaset wiążących ATP (ABC). Mają mechanizm obrony antyoksydacyjnej.

Liczne, często zbieżne adaptacje ekologiczne umożliwiają porostom życie w ekstremalnych warunkach.

Porosty w Kosmosie

Biorąc pod uwagę zdolność porostów do przetrwania i przystosowania się do szeregu ekstremalnych warunków, pojawiło się wiele spekulacji na temat tego, czy mogą przetrwać w środowiskach pozaziemskich, takich jak przestrzeń kosmiczna i powierzchnia Marsa (Armstrong 2017). Porosty w kosmosie są narażone zarówno na skutki promieniowania słonecznego, promieniowania UV, promieniowania kosmicznego, ekstremalnie niskich temperatur i próżni kosmicznej. Przeprowadzone eksperymenty, w tym misja kosmiczna z ekspozycją plech porostowych na warunki kosmiczne potwierdziły wysoką odporność porostów, i mimo pewnych zaburzeń (np. zmniejszenie aktywności chlorofilu a, obniżenie

intensywności fotosyntezy) to po powrocie do ziemskich warunków następowała reaktywacja plech, poprzez uruchomienie mechanizmów naprawczych powstałych uszkodzeń.

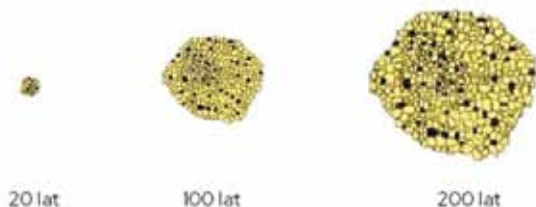
Endolityczne porosty pustyń i Antarktydy są często uważane za możliwe analogi porostów, które mogłyby przetrwać na Marsie. Eksperymenty, w których symulowano warunki marsjańskie wykazały, że endolityczne porosty na Czerwonej Planecie mogą tolerować niskie temperatury powierzchni skalnych, podobnie jak na Antarktydzie. Niemniej brak zapasów wody powierzchniowej byłby poważnym problemem dla ich wegetacji. Nie jest jasne także, w jaki sposób marsjańskie porosty endolityczne miałyby zaopatrywać się w azot, kiedy w atmosferze marsjańskiej występują śladowe ilości tego gazu. Mimo to, wyniki powyższych badań wskazują na to, że porosty mające zdolność adaptacji do ekstremalnych warunków mogłyby morfologicznie i fizjologicznie przystosować się do życia na Marsie. Ponadto mogą mieć one ogromne znaczenie dla trwających misji robotów poszukujących dowodów na istnienie życia na Marsie. Po pierwsze, potwierdzają, że takie misje powinny skupić się na poszukiwaniu życia na Marsie w środowiskach „mikroniszowych” pod ziemią lub w skałach chronionych przed promieniowaniem powierzchniowym. Po drugie, dają nadzieję, że życie na Marsie – „podobne do życia na Ziemi” – mogło rzeczywiście przetrwać do dziś (Armstrong 2017).

Wolny wzrost – długie życie porostów

W porównaniu z roślinami porosty mają bardzo powolne tempo wzrostu plech. Jest to spowodowane niewielką ilością komórek glonów w plechach, dzięki czemu wydajność fotosyntezy jest niska. Wzrost porostów jest najbardziej intensywny w początkowych fazach rozwoju, kiedy substancje organiczne syntetyzowane przez fotobionty zostają równomiernie rozprowadzone do wszystkich części plechy. Kiedy plecha osiąga większe rozmiary i staje się grubsza, jej wzrost spowalnia i u niektórych gatunków całkowicie się zatrzymuje lub plecha w środku ulega zniszczeniu i dalej rośnie tylko w częściach obwodowych. Na przykład naskalny porost tapetka pierścieniowata *Arctoparmelia centrifuga* rosnący w Arktyce tworzy plechy o średnicy do jednego metra, ale tylko ich zewnętrzna krawędź o szerokości 5-10 cm jest żywa, a cała jej wewnętrzna część umiera.

Najwolniej rosną porosty skorupiaste, ich średnie tempo wzrostu wynosi 0,5-2 mm rocznie (Ryc. 38). Porosty listkowate i krzaczkowate rosną średnio o parę milimetrów szybciej. Rekordzistką jest odnoźyca *Ramalina menziesii*, której plecha urosła w ciągu roku 9 cm. Wzrost listkowatych, naziemnych porostów z rodzaju pawężnica *Peltigera* wynosi 1-3 cm w ciągu roku, zaś krzaczkowatych chrobotków *Cladonia* 2-7 cm. Tempo wzrostu porostów zależy od warunków środowiskowych, wielkości plech porostów i wielu innych czynników. Na Antarktydzie

porosty rosną bardzo powoli, i ich tempo wzrostu wynosi około 0,01 mm rocznie (<https://www.loduseum.ee/>).



Ryc. 38. Wielkość plechy porostu rosnącej w tempie 0,5 mm rocznie, w wieku 20, 100 i 200 lat (Źródło: <https://www.loduseum.ee/>, zmienione)

Porosty należą do organizmów długowiecznych, wiele gatunków żyje setki lat, a inne nawet tysiące lat. Jednymi z najdłużej żyjących porostów są gatunki z rodzaju wzorec *Rhizocarpon*. Tempo przyrostu plech wzorca geograficznego *Rhizocarpon geographicum* wynosi 0,25–0,5 mm rocznie (na podstawie badań prowadzonych w Ameryce Północnej). Gatunek ten może dożywać iście matuzalemowego wieku. Od 4–4,5 tysięcy lat, tj. od okresu neolitu do dziś żyją plechy tego gatunku.

Inne gatunki osiągają, np. 1000 lat – dzbanusznik popielaty *Aspicilia cinerea*, 200 lat – kruszownica zwyczajna *Umbilicaria cylindrica*. U większości porostów o plechach listkowatych i krzaczkowatych średni wiek nie przekracza 50–100 lat. Porostami, które mają stosunkowo krótki okres życia, są gatunki rosnące na liściach drzew w regionach tropikalnych.

1.8. Znaczenie porostów w przyrodzie i ich wykorzystanie przez człowieka

Porosty to organizmy o licznych walorach przyrodniczych, które są ważnym elementem bioróżnorodności na Ziemi. Odgrywają szczególną rolę w utrzymaniu równowagi w wielu ekosystemach, np. w ekosystemach leśnych, lądowych ekosystemach polarnych, jednak ze względu na niewielkie rozmiary ich znaczenie jest często niedoceniane lub wręcz całkowicie pomijane. Porosty to grupa organizmów, będąca jednym z ogniw odpowiedzialnych za funkcjonowanie łańcucha obiegu materii w przyrodzie. W wielu ekosystemach są ogniwem podstawowym, ponieważ pełnią rolę organizmów pionierskich i na niektórych obszarach należą do dominantów. Są pionierami życia zwłaszcza na pionowych skałach, powierzchniach skalnych odsłoniętych spod lodu lodowcowego, niedostępnych dla roślin naczyniowych. Biorą udział w procesach glebotwórczych. Wytwarzane przez

porosty niektóre kwasy porostowe mają dodatni wpływ na rozwój mikroflory glebowej. Wpływają również na tworzenie się próchnicy i kiełkowanie nasion. Inne zaś przyczyniają się do zahamowania kiełkowania np. nasion sosny zwyczajnej, poprzez ograniczenie rozwoju grzybów mikoryzowych towarzyszących sośnie. Niektóre gatunki porostów przyspieszają proces erozji skał. Rosnąc na podłożu mineralnym wywołują zarówno procesy fizyczne, jak i chemiczne. Proces geofizyczny (biomechaniczny) polega na rozpadzie minerałów poprzez fizyczne działanie apikalnie rosnących strzępek grzybowych (tigmotropizm), powodujących zmiany struktury i wielkości powierzchni skał. Porosty uczestniczą również w procesach geochemicznych rozpuszczania minerałów poprzez wydzielanie kwasów porostowych. Dzięki wtórnym metabolitom porostowym, które są związkami silnie chelatującymi, posiadają zdolność do selektywnego usuwania z podłoża skalnego pewnych jonów metali, np. wapnia i magnezu. Chelator otacza dookoła pierwiastek i łączy się z nim. Powstaje wielopierścieniowa struktura, która stabilizuje całą drobinę. W wyniku chelatującego działania wtórnych metabolitów porostowych zostaje naruszona struktura skały, dzięki czemu plechy porostów mogą penetrować jej powierzchniowe warstwy (Opanowicz 2002).

Porosty kształtują leśny mikroklimat, ponieważ biorą udział w retencji wody, którą chłoną całą powierzchnią plechy i stopniowo uwalniają, utrzymując odpowiednią wilgotność w lesie. Ma to szczególne znaczenie w lasach rosnących na glebach, które łatwo przepuszczają wodę. Porosty rosnące w lasach, głównie epifity w koronach drzew, są odpowiedzialne za wilgotność, temperaturę i czystość powietrza w lesie. Porosty rosnące na korowinie sosen w borze świeżym gromadzą w plechach do 1 tony wody na hektar, mimo że ich sucha masa sięga tylko do 50 kg (w lasach zbliżonych do naturalnych wartości te są znacznie większe) (Fałtynowicz 2012).

Porosty odgrywają szczególną rolę w ochronie drzew – wytwarzane przez plechy wtórne metabolity hamują, m.in. rozwój bakterii, wirusów i zarodników pasożytniczych grzybów.

Niektóre porosty te z cyjanobiontem (tzw. cyjanoporosty) uczestniczą w biogeochemicznym cyklu wiązania azotu atmosferycznego (cząsteczkowego). Ma to szczególne znaczenie w przypadku funkcjonowania formacji roślinnej, jaką są borealne lasy półkuli północnej.

Porosty chętnie zjadane są przez różne zwierzęta, zarówno bezkręgowce, np. ślimaki, skoczogonki, termyty, korniki, koniki polne, motyle i ćmy, jak i kręgowce, jak świstaki, wiewiórki, lemingi, norniki, jelenie, sarny, wielbłądy, salamandry, a przede wszystkim przez renifery i karibu oraz piżmowoły (woły piżmowe). Zimą porosty stanowią 80–90% diety pokarmowej reniferów. Każde zwierzę może zjeść od trzech do pięciu kilogramów porostów dziennie, ale porosty mają niską zawartość białka i chociaż pozwalają zwierzętom przetrwać zimowe miesiące, zwierzęta często tracą na wadze. Renifery unikają porostów z gorzkim kwasem

fumaroprocetrariowym. Częściej zjadają plechy chrobotka reniferowego *Cladonia rangiferina* i alpejskiego *C. stellaris* niż chrobotka leśnego *Cladonia arbuscula*. Produkcja dużej ilości tego kwasu przez plechy porostów stanowi swoistą ochronę porostu przed zgryzaniem. Porosty odnawiają się na „pastwiskach porostowych” w tundrze dopiero po 15–30 latach, wskutek bardzo powolnego procesu regeneracji. Po wybuchu elektrowni atomowej w Czarnobylu w kwietniu 1986 roku, do dnia dzisiejszego obserwujemy, że porosty rosnące daleko na północy, mają wysoki poziom skumulowanych radioaktywnych pierwiastków, głównie cezu-137 (^{137}Cs) w swoich plechach. Renifery jedząc porosty same stają się radioaktywne, a ich mięso jedzone przez ludzi może nam zagrażać. Dlatego też Saamowie (Lapończycy) poddawani są cyklicznym badaniom na obecność pierwiastków promieniotwórczych. W ten sposób został uruchomiony niebezpieczny obieg pierwiastków w przyrodzie, poprzez łańcuch pokarmowy: porost – renifer – człowiek.

W menu rzadkich gatunków ssaków, naczelnych małą rokselany złociściej *Rhinopithecus roxellana* (Chiny, prowincja Syczuan, Gansu, Shaanx i Hubei) i r. czarnej *R. bieti* (Chiny, prowincja Yunnan) przez cały rok są plechy porostów.

Plechki porostów służą jako budulec gniazd ptasich, np. zięb zwyczajnych *Fringilla coelebs* (stanowią do 20% suchej masy ich gniazd), szpaków zwyczajnych *Sturnus vulgaris*, raniuszek zwyczajnych *Aegithalos caudatus*, mysikrólików zwyczajnych *Regulus regulus*, siwuszek ciemnobrewych *Polioptila caerulea*, kolibereków rubinobrodych *Archilochus colubris* i innych. Wykazano, że porosty w gniazdach budowanych przez samce szpaków zwyczajnych mają na celu zwabienia partnerki i są bodźcem do rozpoczęcia okresu godowego, a następnie lęgowego (Ibañez i in. 2018). Przypuszcza się, że ptaki wykorzystują porosty do konstrukcji swoich gniazd, z kilku powodów: zwiększenia atrakcyjności zalotów (hipoteza zalotów), właściwości ochronnych wtórnych metabolitów porostowych przed rozwojem patogenów i pasożytów (hipoteza ochrony gniazd), wpływu kwasów porostowych na rozwój i zdrowie piskląt, poprzez stymulację ich układu odpornościowego (hipoteza leku) oraz dostosowują i upodabniają swoje gniazda do otoczenia (hipoteza kamuflażu).

Plechki porostów są również schronieniem dla wielu gatunków bezkręgowców (np. owadów i pajęczaków). Biorąc pod uwagę dużą różnorodność kształtów i form wzrostu plech porostów występujących w wielu ekosystemach, zbiorowiska porostów i bezkręgowców mogą w istotny sposób przyczyniać się do ogólnej bioróżnorodności zbiorowisk w lasach borealnych, a morfologiczny typ plechy jest często ważnym wyznacznikiem społeczności bezkręgowców.

Na Papui-Nowej Gwinei żyje interesujący gatunek chrząszcza wołek porostowy *Gymnopholus lichenifer*, który wykazuje niezwykle ciekawy przykład kamuflażu, na jego grzbiecie rosną symbiotyczne plechy porostów, a wśród nich inne grupy bezkręgowców, jak nicienie, wrotki, roztocza. Inne owady

upodobniają się wyglądem, barwą do plech porostów, na które siadają i w ten sposób umykają uwadze polujących na nie zwierząt, np. ćma krępak nadbrzozak *Biston betularia* występująca powszechnie w Azji, Europie i Ameryce Północnej. W miejscach nieskażonych, gdzie porosty rosną na korze drzew ćma ta kamufluje się występowaniem w odmianie typowej, białej, gdzie owad na białych skrzydłach ma liczne czarne plamki tworzące charakterystyczny wzór (odmiana *typica*). W rejonach przemysłowych, gdzie porosty nadrzewne nie rosną, a kora drzew pokryta jest ciemną sadzą, krępak nadbrzozak jest czarny (odmiana melanistyczna, *carbonaria*). Zjawisko to określono mianem melanizmu przemysłowego (forma melanizmu wywołanego przez emisje gazowe, pyłowe, przemysłowe będąca przykładem działania doboru kierunkowego), kiedy do angielscy naturaliści obserwowali populacje krępaka w okolicy Manchesteru podczas rewolucji przemysłowej w XIX wieku. Interesujące jest to, że po poprawie jakości powietrza w połowie XX wieku zaczęto obserwować powrót białej formy krępaka. Przykład krępaka nadbrzozaka jest pierwszym opisanym przykładem doboru naturalnego. Dzięki badaniom genomu tej ćmy wiemy dzisiaj, że podstawową przyczyną, która może odpowiadać za zmianę jej koloru jest fragment kwasu deoksyrybonukleinowego DNA obecny w odmianie *carbonaria*, a nie w odmianie *typica* (mutacja genu, tzw insercja). Niezwykła jest larwa owada *Leucochrysa pavida* występująca w Ameryce Środkowej i Ameryce Północnej, która ozdabia swoje ciało drobnymi kawałkami plech porostów. Tunika porostowa sprawia, że larwa jest niewidoczna dla wroga i pomaga jej, będąc niewidzialną, tropić zdobycz.

Szacuje się, że około 300–400 gatunków zwierząt bezkręgowych w mniejszym lub większym stopniu zależnych jest od porostów.

Człowiek od dawna wykorzystywał porosty w różnych dziedzinach. Już w czasach starożytnych zauważył ich właściwości lecznicze. Pierwsze wzmianki na ten temat pochodzą z okresu wczesnej cywilizacji chińskiej i egipskiej. W Chinach stosowano, m. in. porosty z rodzaju brodaczk *Usnea* do sporządzania nalewek wykrztuśnych (Sun-Lo), a zasyпки z porostów jako środki przeciw owrzodzeniom skóry. Hipokrates z Kos (V–IV wiek p.n.e.), „ojciec medycyny” w dziele pt. „*Corpus Hipokratikum*” podał opis około 300 leków pochodzenia roślinnego, zwierzęcego i mineralnego, dzieląc je według działania. Hipokrates zalecał, m. in. wyciągi z brodaczek *Usnea* w chorobach kobiecych. W najstarszych przekazach starożytnej medycyny znalazły się wśród leków również inne porosty (mąklik otrębiasty *Pseudevernia furfuracea*, odnożyce *Ramalina*, płucnice *Cetraria*). W średniowieczu porosty miały szerokie zastosowanie w medycynie. Od V wieku panował pogląd, według którego opatrzność nadawała roślinom taki wygląd, by wskazywał na sposób wykorzystania dla potrzeb człowieka (Bystrek, Leonowicz 1987). W wielu przypadkach kojarzono choroby z morfologią plech porostów, np. brodaczk *Usnea* i włostki *Bryoria* o nitkowatych, brodatych plechach stosowano jako

lek na porost włosów, plechami granicznika płucnika *Lobaria pulmonaria* przypominającymi nieco pęcherzykową strukturę płuc leczono choroby płuc, pawężnica psia *Peltigera canina* była remedium przeciwko wścieklicznie, a złotorost ścienny *Xanthoria parietina* z powodu swego żółtego zabarwienia zalecany był przeciwko żółtaczce. Nierzadko te sposoby leczenia były nieskuteczne. W wielu przypadkach uzyskiwano jednak pozytywne efekty, bowiem ekstrakty z porostów były stymulatorami wzmacniającymi odporność organizmu, a zawarte w nich substancje bakteriobójcze, antywirusowe dawały pozytywne wyniki leczenia. Na wagę złota były porosty stosowane jako remedium na wiele schorzeń, które rosły na pancerzach żółwi. Kwas fumaroprotocetrariowy, w smaku bardzo gorzki, stosowany był jako namiastka chininy – pierwszego skutecznego leku przeciw malarii. Plechy porostowe od XV wieku były ważnym produktem wymiany handlowej. Były składnikami wielu mieszanek wykorzystywanych do leczenia malarii, epilepsji, wściekliczyny, gruźlicy, podagry, krwotoków (Matwiejuk 2008a). W Polsce, XVIII-wieczny florysta, ksiądz Krzysztof Kluk (1739–1796) w swoim 3-tomowym „Dykcyonarzy roślinnym” umieścił wśród roślin leczniczych porosty. W Ogrodzie Roślin Zdatnych do Zażywania Lekarskiego, założonym wg księdza Kluka przy Muzeum Rolnictwa jego imienia w Ciechanowcu, rosła płucnica islandzka *Cetraria islandica* zalecana przy chorobach miesięcznych i suchotach (Uszyński, Chochlew 1987). W XIX wieku płucnicę islandzką stosowano powszechnie jako lek przeciwgruźliczy, leczono nim, m. in. Fryderyka Chopina. Porosty w medycynie tradycyjnej najczęściej były stosowane w leczeniu ran, schorzeń skóry, dolegliwości oddechowych i trawiennych, położniczych i ginekologicznych (Matwiejuk 2008a).

Badania biochemiczne wtórnych metabolitów porostowych wykazały ich różnorodną aktywność biologiczną. Kwasy porostowe mają właściwości bakteriobójcze, grzybobójcze, antywirusowe, przeciwnowotworowe, hamujące aktywność enzymów. Antybiotyczną aktywność kwasów porostowych wykazano po raz pierwszy w 1944 roku. Związki te są najaktywniejsze w stosunku do bakterii Gram-dodatnich i grzybów. Szeroko przebadanym związkiem porostowym jest kwas usninowy. Stwierdzono jego aktywność wobec bakterii, głównie prątków (prątek gruźlicy *Mycobacterium tuberculosis*, *M. aurum*), paciorkowców (enterokoki *Enterococcus*), gronkowców (*Staphylococcus*) i bakterii beztlenowych (*Bacteroides* i *Clostridium*). Stwierdzono również, że kwasy: usninowy i protolichesterynowy wykazują aktywność wobec różnych typów doświadczalnych nowotworów zwierzęcych. Kwas protolichesterynowy może stymulować komórki raka prostaty do aktywacji szlaków apoptozy (śmierci komórek). Wyniki badań wskazują również na możliwość zastosowania niektórych substancji porostowych w leczeniu schorzeń dermatologicznych. Niektóre substancje porostowe (naftazaryna, kwas usninowy, kwas gyroforowy) są inhibitorami wzrostu keratynocytów (komórek naskórka) ludzkich, co może

okazać się przydatne w leczeniu łuszczycy (Studzińska i in. 2008). Wykazano, że zawarty w plechach płucnicy islandzkiej kwas protolichesterynowy ma właściwości hamujące wzrost kolonii Gram-ujemnej bakterii *Helicobacter pylori* (*in vitro*), i może być stosowany w stanach zapalnych żołądka, dwunastnicy, wspomagająco w leczeniu wrzodów.

Współcześnie, najczęściej wykorzystuje się ze względu na właściwości lecznicze plechy płucnicy islandzkiej *Cetraria islandica*. Porost ten jest wymieniany na pierwszym miejscu przy różnych dolegliwościach. Stosowany jest w schorzeniach górnych dróg oddechowych jako lek osłaniający, łagodzący stany zapalne błon śluzowych gardła, przełyku, jako lek przeciwkaszlowy, pobudzający również wydzielanie soku żołądkowego i innych soków trawiennych. Wyciąg z płucnicy islandzkiej obecnie wchodzi w skład, m. in. preparatu Pektosol, pastylek do ssania Angilorl, Angidin, Dolo-Angin, Isla, Fiorda, Islanic, Islandica, Nordisept oraz wybielającej pasty do zębów Blanx Classis, pasty Aloe Ice, dostępnych do kupienia w aptekach. Substancje czynne pozyskane z *Cetraria islandica* zawarte w pastach do zębów usuwają głębokie osady bakteryjne w przestrzeniach międzyzębowych, a przy kontakcie ze szkliwem uwalniają aktywne molekuly, które hamują działanie próchnicotwórczych Gram-dodatnich bakterii *Streptococcus mutans*. Wyciągi z płucnicy islandzkiej znajdują zastosowanie, m.in. w schorzeniach układu oddechowego, pokarmowego, chorobach skóry, a także w nowotworach. *Cetraria islandica* jest jedynym porostem zamieszczonym w Farmakopei Europejskiej V oraz Farmakopei Polskiej VIII. Zaakceptowana jest również przez Komisję Europejską (Studzińska i in. 2008).

Produkcja leków z porostów na skalę przemysłową wymaga znacznych ilości surowca. I jest to niezwykle trudne do realizacji, ponieważ:

- nie znana jest metoda hodowli porostów na skalę przemysłową w warunkach laboratoryjnych;
- porosty są organizmami bardzo wrażliwymi na antropogeniczne skażenie powietrza atmosferycznego, z powodu którego giną;
- na przeszkodzie stosowania porostów jako leków stoją także ich właściwości kumulatywne;
- wiele porostów jest objętych ochroną prawną i są gatunkami zagrożonymi (Bystrek, Leonowicz 1987).

W okresach głodu lub wojen porosty stanowiły źródło pożywienia dla ludzi. Wiadomo o ich lokalnym użyciu w Laponii, Ameryce Północnej przez kanadyjskich Indian, w Islandii (np. w postaci mąki porostowej wytwarzanej z płucnicy islandzkiej *Cetraria islandica*, zwanej „*mchem islandzkim*”, „*porostem islandzkim*”, a nawet „*mchem chlebowym*”). Wykorzystywano porosty głównie do pieczenia chleba, czy też do wytwarzania alkoholu. Chleb wypieczony z mąki z dodatkiem płucnicy islandzkiej był mniej kruchy i bardziej odporny na szkodniki. Do produkcji

piwa wykorzystywano plechy granicznika płucnika *Lobaria pulmonaria*. Z porostów produkowano również alkohol, głównie w Rosji, Szwecji, Islandii. W Polsce produkowana jest nalewka z płucnicy islandzkiej, jako tzw. „nalewka porostowa”, zwana też „płucnicówką” (*Tinctura Cetrariae Islandicae*), stosowana jako środek wspomagający trawienie. W kuchni japońskiej spożywana jest nadal kruszownica jadalna *Umbilicaria esculenta*, jako *iwatake* (zwana też grzybem skalnym), uznawana za cenny przysmak. Łowcy tego porostu są zdolni zaryzykować życie, wspinaczką po skałach (Ryc. 39). Sporządzane danie z kruszownicy jest drogie, ale ma zapewnić długowieczność.



Ryc. 39. Kruszownica jadalna *Umbilicaria esculenta* zbierana przez Japończyków na drzeworycie wielkiego mistrza Utagawa Hiroshige z 1860 roku, pt. Zbieranie grzybów iwatake w Kumano w Kishu (Źródło: https://szl.wikipedia.org/wiki/Umbilicaria_esculenta)

Porosty wykorzystywano także jako źródło substancji zapachowych i utrwalaczy perfum. Plechy mąklika otrębiastego *Pseudevernia furfuracea*, wchodziły w skład mazideł używanych do balsamowania zwłok w starożytnym Egipcie. W mumii Faraona Ramzesa IV (okres panowania 1152–1145 p.n.e.), w jego jamie brzusznej odnaleziono plechy mąklika. Dwa gatunki porostów, mąkła tarniowa

Evernia prunastri (zwana „mchem dębowym”) i *Pseudevernia furfuracea* (zwany „mchem drzewnym”), były wykorzystywane do produkcji perfum i mydeł od XVI wieku. W Europie porosty pozyskiwane są do celów kosmetycznych, głównie we Francji. Również w Chinach w przemyśle perfumeryjnym wykorzystywane są porosty, głównie plechy mąkli rozłożystej *Evernia mesomorpha* (zwana „chińskim mchem dębowym”). Wyciągi z plech porostów w przemyśle perfumeryjnym działają jak utrwalacze, a także dają tak zwane nuty bazowe (o zapachu drzewnym) w perfumach, przy czym esencje kwiatowe zapewniają nuty głowy. Jednak ich zużycie wyraźnie spadła w przemyśle perfumeryjnym, z powodu wystąpienia reakcji alergicznej i zastosowania syntetycznych składników.

Porosty były wykorzystywane w przemyśle barwiarskim, do produkcji różnych barwników w odcieniach, np. niebieskiego, czerwonego, purpurowego (z ochrostu *Ochrolechia* sp., orselki *Rocella* sp.), brązowego (z tarczownicy skalnej *Parmelia saxatilis*), pomarańczowego (z brodaczkii właściwej *Usnea barbata*) czy żółtego (z żyłeczniaka *Alectoria jubata*) (Studzińska i in. 2008). Barwiono nimi nici, tkaniny, świece i wosk. Barwniki uzyskiwane z porostów były trwałe i nie blakły, a ponadto tkaniny nimi zabarwione miały przyjemny zapach i były chronione przed molem włosienniczkim *Tineola bisselliella*, ponieważ substancje porostowe nadawały tkaninie gorzki i nieprzyjemny smak. Barwnik purpurowy był pozyskiwany przez starożytnych Egipcjan, Fenicjan, Greków i Rzymian z naskalnego porostu orselki barwierskiej *Rocella tinctoria*. W Starożytnym Rzymie pożądany był kolor purpurowy i fioletowy, uznawany za kolor królewski, ale jego pozyskiwanie z plech orselki barwierskiej było bardzo kosztowne. Proces wytwarzania tego barwnika był owiany tajemnicą i pilnie strzeżony, a jego produkcja przyczyniła się do zamożności tkaczy z rodziny Ruccellai z Florencji. Tradycję barwienia tkanin z wykorzystaniem porostów stosuje się do dziś w Szkocji, czy też w Nepalu.

Stosunkowo niedawno odkryto, że paginy purpurowego kodeksu uncjalnego *Codex purpureus*, używanego w Imperium Rzymskim i Bizantyjskim były nasączone nie purpurą tyryjską, uzyskiwaną ze ślimaków z rodzaju *Murex*, a mieszaniną moczu i wyciągu z orselki barwierskiej. Zwyczaj stosowania uryny został zaprzestany po upadku Cesarstwa Rzymskiego na skutek najazdu Arabów na Półwysep Iberyjski w VIII wieku, którzy uważali użycie moczu za nieczyste.

Współcześnie, z gatunków rodzaju *Rocella* pozyskuje się lakmus, będący mieszaniną barwników – pochodnych fenoli, który używa się jako wskaźnik pH do wykrywania kwasów (barwa czerwona) lub zasad (barwa niebieska). Lakmus oznaczony symbolem E121 wykorzystuje się do nasycania bibułkowych pasków, służących do określania pH poszczególnych substancji chemicznych. Z plech *Rocella tinctoria* uzyskuje się również orcelinę, barwnik wykorzystywany w procesie medycznej diagnostyki komórek ludzkich, np. w barwieniu chromatydy płciowej, barwieniu jądrowym.



Fot. 27. Chrobotek alpejski *Cladonia stellaris* – plechy barwione (Fot. A. Matwiejuk) i plecha niebarwiona (Fot. J. Kupryjanowicz)

W ostatnich latach istnieje moda na dekorację wnętrz w stylu skandynawskim plechami chrobotków *Cladonia* należących do podrodzaju *Cladina*, sprowadzanych ze Skandynawii czy z Grenlandii. W Polsce niektóre gatunki, jak np. chrobotek alpejski *Cladonia stellaris*, czy c. leśny *C. arbuscula* i c. reniferowy *C. rangiferina* są objęte ochroną gatunkową. Choć same porosty naturalnie są srebrzysto szare, to jednak producenci farbują je przy użyciu naturalnych



składników, dzięki czemu uzyskują kilkanaście wersji kolorystycznych. Ich barwione plechy, najczęściej na zielony kolor wykorzystywane są do produkcji zielonych ścian i różnego typu dekoracyjnych form płaskich lub przestrzennych (Fot. 27). Gatunki należące do tej grupy porostów często są błędnie określane jako „reindeer moss”, czyli mech reniferowy.

Porosty wykorzystuje się także w kompozycjach florystycznych, czy też wieńcach, np. bożonarodzeniowych i wielkanocnych (Fot. 28).



Fot. 28. Ozdobny wieniec z żółtlicy chropowatej *Flavoparmelia caperata* (Fot. A. Matwiejuk)

Plechy porostów mają zastosowanie w modelarstwie, np. kolejowym do przygotowywania miniaturowych drzew i krzewów oraz jako element w różnych pracach plastycznych (Fot. 29).

Od ponad 150 lat, kiedy to po raz pierwszy zauważono niebezpiecznie zjawisko wymierania porostów pod wpływem zanieczyszczeń pochodzących z kominów przemysłowych, zaczęto je wykorzystywać do oceny stanu zanieczyszczenia powietrza.



Fot. 29. Praca plastyczna wykonana z plech porostów przez Darię Kulchynskya z Grodna, Republika Białoruś (Fot. A. Matwiejuk)

1.9. Porosty jako organizmy bioindykacyjne

Porosty uznawane są za bardzo dobre bioindykatory (biologiczne wskaźniki) zmian w środowisku, a przede wszystkim na zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Są bardzo wrażliwe na obecność nawet niewielkich ilości toksycznych substancji, np. SO_2 , NO_x w powietrzu. Uważa się, że zanieczyszczenia powietrza są głównymi przyczynami zagrożeń środowiska. Rosnące zapotrzebowanie na energię sprawiło, że spalanie jest głównym źródłem zanieczyszczeń atmosferycznych pochodzenia antropogenicznego.

W plechach porostów, to fotobionty są najbardziej wrażliwe na zmiany siedliskowe. W wyniku oddziaływania zanieczyszczeń powietrza na plechy porostów, degradacji ulega w pierwszej kolejności zielony barwik - chlorofil w komórkach glonów, uniemożliwiając prowadzenie fotosyntezy. Poza gazami zawartymi w powietrzu i wodzie opadowej, trujące są pyły, które niszczą plechy w sposób mechaniczny; pokrywając plechę uniemożliwiają wymianę gazową i ograniczają glonom dostęp do światła. Reakcja porostów na zanieczyszczenie zależy od wielu czynników, w tym: od budowy morfologicznej plechy (najbardziej wrażliwe są porosty wielkoplechowe - krzaczkowate i listkowate), gatunku, stanu fizjologicznego plechy (stopnia uwodnienia plechy), rodzaju i właściwości podłoża, ukształtowania terenu, warunków pogodowych, rodzaju i stężenia toksycznego związku, rodzaju zabudowy, obecności terenów zielonych.

Do głównych przyczyn dużej wrażliwości porostów na zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego można zaliczyć: pobieranie wody całą powierzchnią plechy bezpośrednio z opadów atmosferycznych (organizmy zmiennowodne), brak tkanki okrywającej (stwarza to możliwość bezpośredniej infiltracji gazów, pyłów i roztworów do wnętrza plech), brak mechanizmów wydalania (zakumulowane zanieczyszczenia pozostają w plechach), małą zdolność przystosowania do zmieniających się warunków środowiska, niską tolerancję glonu na zanieczyszczenia, bardzo małą zawartość chlorofilu na jednostkę suchej masy a także utrzymywanie aktywnej przemiany materii również (zwłaszcza) w okresie zimy (dłuższy okres kumulowania zanieczyszczeń, wyższe wartości niektórych zanieczyszczeń, np. SO_2) (Fałtynowicz 1995, Zimny 2006).

W strefie umiarkowanej porosty są najbardziej wrażliwe jesienią, zimą i wczesną wiosną wtedy kiedy są najbardziej uwodnione, dzięki wzrostowi wilgotności powietrza, częstym opadom i mgłom. W suchych plechach porostów procesy metaboliczne są spowolnione lub prawie wstrzymane, a porosty są w stanie „*śpiączki posusznej*”. W tych porach roku porosty są najbardziej wrażliwe, i poddawane działaniu toksycznych związków, ponieważ w miastach przypada wówczas okres grzewczy.

Opracowano kilka metod wykorzystujących porosty do oceny zanieczyszczenia środowiska (metod lichenoindykacyjnych). Są wśród nich cztery podstawowe grupy:

1. metody polegające na badaniu różnorodności i liczebności porostów,
2. metody anatomiczno-morfologiczne,
3. metody fizjologiczne,
4. metody analityczno-chemiczne (Tab. 3).

Tab. 3. Metody lichenoindykacyjne

Grupa metod	Przykłady
Metody polegające na badaniu różnorodności i liczebności porostów	Skala porostowa Metoda analizy udziału form morfologicznych
Metody anatomiczno-morfologiczne	Metoda testu płytkowego Metoda kondycji plech na podstawie aktywności życiowej fotobionta (metoda mikroskopowa) Metoda oceny zmian barwy plech, występowania nekroz i przebarwień (metoda makroskopowa)
Metody fizjologiczne	Metody aktywności procesów fizjologicznych, fotosyntezy i oddychania (metoda bioreakcji)
Metody analityczno-chemiczne	Metoda analizy składu chemicznego porostów

Szkodliwe oddziaływanie zanieczyszczeń zawartych w powietrzu atmosferycznym na porosty zauważano już w XIX wieku. To wówczas fiński botanik William Nylander zaobserwował, że w Paryżu, w Ogrodzie Luksemburskim w latach 1866–1896 wyginęło dużo porostów. Fakt ten powiązał z emisją zanieczyszczeń z kominów przemysłowych oraz z wzrostem zanieczyszczenia powietrza spowodowanym zastępowaniem drewna jako opału węglem (bogatym w siarkę). Było to ważne odkrycie, które utorowało drogę do wykorzystywania porostów jako bioindykatorów zanieczyszczenia powietrza. Od tego czasu, na cele lichenomonitoringu (metody bioindykacji wykorzystującej porosty jako bioindykatory) przetestowano liczne gatunki porostów oraz wyznaczono granice ich wytrzymałości na skażenie powietrza, zwłaszcza dwutlenkiem siarki. Było to możliwe dzięki eksperymentalnym badaniom aktywności procesów metabolicznych, zwłaszcza fotosyntezy i oddychania oraz porównaniu ich wyników z danymi dotyczącymi zawartości SO_2 w powietrzu. Wyliczono roczne wartości SO_2 w atmosferze, powodujące zahamowanie fotosyntezy (Bystrek 1997). Na podstawie takich badań opracowano dla Wysp Brytyjskich skalę wrażliwości porostów (Hawksworth, Rose 1970) i podano procentowe zawartości SO_2 w powietrzu, odpowiadające rozmieszczeniu określonych grup gatunków. Na podstawie występowania poszczególnych gatunków porostów epifitycznych na drzewach o dwóch odmiennych rodzajach kory – zeutrofizowanej i niezeutrofizowanej – Hawksworth, Rose (1970) wyróżnili 10 stref, którym przyporządkowali odpowiednie średnie wartości stężeń SO_2 w miesiącach zimowych. Dzięki tej skali stało się możliwe porównywanie rozmieszczenia poszczególnych stref na różnych obszarach i analizowanie ich zmian w czasie. W Polsce skalę biologiczną Hawkswortha, Rose’a (1970) zmodyfikowano i przystosowano do warunków południowej Polski dla województwa krakowskiego i Przemysła (Kiszka 1990, 1999).

Na podstawie skali porostowej, opracowanej przez Fałtynowicza (2014) można wydzielić kilka stref o różnym stopniu zanieczyszczenia:

Strefa I – bezwzględna pustynia porostowa (o skrajnie zanieczyszczonym powietrzu), w której porosty nadrzewne nie występują;

Strefa II – względna pustynia porostowa (o bardzo silnie zanieczyszczonym powietrzu), w której rosną tylko najbardziej odporne na zanieczyszczenia porosty skorupiaste misecznica proszkowata *Lecanora conizaeoides* i gatunki z rodzaju liszajec *Lepraria*;

Strefa III – wewnętrzna strefa osłabionej vegetacji (o silnie zanieczyszczonym powietrzu), w której, poza gatunkami ze strefy II, rosną również inne porosty o plechach skorupiastych lub łuseczkowatych; gatunkami wskaźnikowymi są: brudziec kropkowany *Amandinea punctata*, paznokietnik ostrzygowy *Hypocenomyce scalaris*, obrost wzniesiony *Physcia adscendens* i złotorostka postrzępiona *Polycauliona candelaria*;

Strefa IV – środkowa strefa osłabionej vegetacji (o średnio zanieczyszczonym powietrzu), w której (poza gatunkami ze stref II-III) występują porosty o plechach listkowatych: pustułka pęcherzykowata *Hypogymnia physodes* i tarczownica bruzdkowana *Parmelia sulcata*;

Strefa V – zewnętrzna strefa osłabionej vegetacji (o względnie mało zanieczyszczonym powietrzu), w której występują niektóre bardziej odporne porosty krzaczkowate: mąkla tarniowa *Evernia prunastri*, mąklik otrębiasty *Pseudevernia furfuracea* i gatunki z rodzaju odnożyca *Ramalina*, ale rosną one nielicznie, a ich plechy są zwykle słabo wykształcone;


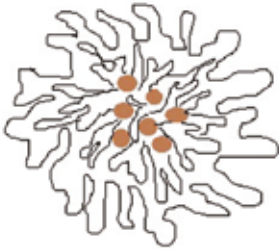

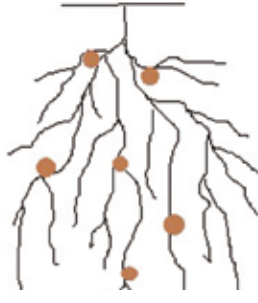
Strefa VI – wewnętrzna strefa normalnej vegetacji (o nieznacznie zanieczyszczonym powietrzu); w której gatunki wyróżniające strefę V są typowo wykształcone, a ponadto występują tu porosty listkowate, krzaczkowate i nitkowate bardziej wrażliwe na zanieczyszczenia, m.in. brodaczką kępkowa *Usnea hirta*, płucnik modry *Platismatia glauca* i włostka brązowa *Bryoria fuscescens*.

Strefa VII – typowa strefa normalnej vegetacji (o powietrzu czystym lub ze znikomą zawartością zanieczyszczeń), w której nie ma żadnych zaburzeń i mogą tu rosnąć wszystkie gatunki porostów.

We wcześniejszych skalach porostowych autorzy przypisywali poszczególne strefom określone stężenia najbardziej toksycznego dla porostów związku – ditlenku siarki, ale okazało się to błędne (Fałtynowicz 2014).

Inną metodą wykorzystującą porosty jako biowskaźniki jest metoda analizy udziału form morfologicznych (Tab. 4). Według tej metody najbardziej odporne na zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego są porosty skorupiaste, a najbardziej wrażliwe plechy krzaczkowate, nitkowate, silnie rozbudowane, o odstających plechach i dużej powierzchni. Metoda ta sprawdza się na terenach miejskich, nie

Tab. 4. Analiza udziału form morfologicznych

Wskaźnikowa forma morfologiczna	Pokrój plechy wskaźnikowej (opracowanie własne)	SO ₂ stężenie (poziom zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego)
Porosty skorupiaste		Wysokie
Porosty skorupiaste i listkowane		Średnie
Porosty skorupiaste, listkowane i nieliczne krzaczkowe		Niskie
Porosty skorupiaste, listkowane, krzaczkowe i nitkowane		Bardzo niskie / zerowe

polecana jest dla obszarów leśnych, ponieważ rosną tam, na korze drzew wrażliwe porosty epifityczne ze wszystkich grup morfologicznych. Jest to metoda bardzo prosta, dostępna nawet dla dzieci i młodzieży, tym bardziej, że nie jest potrzebna znajomość rozpoznawania poszczególnych taksonów porostów. Do stosowania tej metody wystarczy umiejętność odróżnienia podstawowych form morfologicznych plech: skorupiastych, listkowatych, krzaczkowatych i nitkowatych. Metoda polega na ocenie występowania i określeniu w przybliżeniu stopnia pokrywania pni drzew gatunków reprezentujących poszczególne formy morfologiczne na wybranych stanowiskach.

Współcześnie zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego SO_2 znacznie się zmniejszyło z powodu mniejszej emisji tego gazu. Oprócz dwutlenku siarki bardzo szkodliwy dla porostów jest fluorowodór HF, jednak jego emisja jest niezbyt duża, z wyjątkiem okolic zakładów wytwarzających nawozy sztuczne oraz hut (Biega i in. 2009). Trwałe uszkodzenia w komórkach glonów porostowych powoduje także ozon O_3 w stężeniu 500–800 ppb. W wielu miejscach na świecie uznaje się, że głównym zagrożeniem dla porostów jest właśnie zanieczyszczenie powietrza ozonem i tlenkami azotu NO_x (Larsen i in. 2007). Źródłami tlenków azotu są ruch komunikacyjny (spaliny samochodowe) oraz procesy przemysłowe oparte na spalaniu w wysokiej temperaturze. Wpływ NO_x na porosty ciągle pozostaje niejasny. Znane są obserwacje wycofywania się gatunków preferujących korę o niskim pH w wyniku działania NO_2 i pozytywnej korelacji między obecnością porostów azotolubnych a tlenkami azotu na obszarach miejskich. Obserwowane reakcje nadrzewnych porostów kwasolubnych wiążą się z ich wrażliwością na wzrost pH kory, zwiększenie dostępności azotu i intensywny rozwój innych epifitów konkurujących o wspólną niszę (van Herk i in. 2003). W badaniach laboratoryjnych wykazano, że pod wpływem wysokiego stężenia związków azotu zachodzą zmiany na poziomie biontów porostowych, takie jak uszkodzenie komórek fotobionta i strzępek mykobionta (jednak bardziej wrażliwszy jest grzyb) (Gaio–Oliveira i in. 2004), czy też zmniejszenie zawartości fotosyntetycznych barwników (chlorofilu a, b i karotenoidów) (Fрати i in. 2006).

Porosty są wykorzystywane także jako biowskaźniki innych toksycznych substancji, np. obecności i stężenia metali ciężkich, pierwiastków radioaktywnych oraz rakotwórczych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) (Fałtynowicz 2014). Dzięki zdolnościom akumulacyjnym plech porostów można monitorować zanieczyszczenia pierwiastkami radioaktywnymi, np. cezem-137 Cs, strontem-90 Sr nawet w odległych obszarach polarnych, jak Arktyka, czy Antarktyda. W testach przy pomiarach skażenia promieniotwórczego użyto porostów po katastrofie w Czarnobylu – katastrofie nuklearnej mającej miejsce 26 kwietnia 1986 roku, do której doszło w wyniku wybuchu wodoru z reaktora jądrowego elektrowni atomowej. W wyniku awarii w Czarnobylu, skażeniu promieniotwórczemu uległ obszar od 125 000 do 146 000 km^2 , położony na

pograniczu Białorusi, Ukrainy i Rosji, a wyemitowana z uszkodzonego reaktora chmura radioaktywna rozprzestrzeniła się po Europie. Eksplozja czarnobylskiej elektrowni dotknęła, Skandynawię, Europę Środkową, a także południe Europy – Grecję i Włochy. Jednak najbardziej ucierpiała Skandynawia, która według niektórych badań silnie odczuwała skutki katastrofy nawet po 20 latach.

Badania dotyczące oceny zanieczyszczenia środowiska na podstawie chemicznej analizy pierwiastków skumulowanych w porostach mają na celu: ocenę stopnia zanieczyszczenia badanych obszarów, ocenę pochodzenia zanieczyszczeń na podstawie składu chemicznego porostów, ocenę kierunków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń z jednostkowych emitorów. Powszechnie stosowaną metodą przy analizie składu chemicznego plech jest metoda transplantacji plech z obszarów o względnie małym zanieczyszczeniu powietrza, np. na tereny miejskie. Wykorzystanie tej metody ma szczególne uzasadnienie w obszarach, które są miejskimi pustyniami porostowymi, oraz wszędzie tam, gdzie rozwój populacji porostów jest ograniczony w wyniku antropopresji. Powszechnie wykorzystywanym w badaniach lichenindykacyjnych gatunkiem testowym w miastach jest pustułka pęcherzykowata *Hypogymnia physodes* (Parmeliaceae, Ascomycota). Transplantowane plechy pustułki pęcherzykowatej, w warunkach laboratoryjnych mogą zostać poddane: ocenie zmiany zabarwienia plechy, występowania nekroz i przebarwień (metoda makroskopowa), ocenie kondycji plech na podstawie aktywności życiowej fotobionta zielenicy *Trebouxia* sp. (metoda mikroskopowa), badaniu intensywności fotosyntezy i oddychania, a także zawartości chlorofilu do feofityny (metoda bioreakcji).

Wykorzystanie porostów jako biowskaźników w pierwszych badaniach biomonitoringowych dało teoretyczne i praktyczne podwaliny dla rozwoju biomonitoringu. Rozwój lichenindykacji spowodował szerokie zastosowanie porostów jako biowskaźników w różnych regionach świata, Europy, w tym również w Polsce.

Porosty wykorzystywane są również jako biowskaźniki niżowych lasów puszczańskich. Oryginalną skalę porostową stosowaną do oceny antropogenicznych zniekształceń zbiorowisk leśnych w północno-wschodniej Polsce opracował Cieśliński (2003). Wyróżnił pięć grup gatunków porostów:

1. porosty lasów pierwotnego pochodzenia,
2. porosty lasów naturalnych,
3. porosty regenerujących się lasów gospodarczych,
4. porosty w lasach gospodarczych,
5. porosty w zdegenerowanych lasach,

odpowiadających pięciu stopniom antropogenicznych zniekształceń zbiorowisk leśnych. Tak powstała swoista skala biologiczna określająca stopień naturalności zbiorowisk leśnych.



Fot. 30. Granicznik płucnik *Lobaria pulmonaria* – relikw puszczkański, wskaźnik niżowych lasów puszczkańskich. Gatunek objęty ścisłą ochroną gatunkową (wymaga ustalenia stref ochrony ostoi i stanowiska do 50 m), krytycznie zagrożony (Czerwona lista – CR) (Fot. A. Matwiejuk)



Porosty lasów pierwotnego pochodzenia spełniają kryteria przyjęte dla reliktywów puszczańskich (Fot. 30). Są one gatunkami rodzimymi; stenotopowymi (stenobiontami) – których występowanie jest uwarunkowane obecnością swoistych nisz, mają wąski zakres tolerancji w stosunku do czynników środowiskowych; są stałymi składnikami lasów naturalnych; nie rosną w lasach gospodarczych; są epifitami lub epiksylami.

1.10. Lichenometria – metoda datowania wieku skał

Lichenometria, rozumiana, jako badania nad tempem wzrostu plech porostów w różnych środowiskach przyrodniczych, pozbawionych zwartej szaty roślinnej, powstała na początku lat 50. XX wieku. Ojcem tej metody był austriacki botanik Roland Ernest Beschel. Obserwując kamienie nagrobkowe oraz głazy morenowe o znanym wieku stwierdził, że wielkość plech porostów jest miarą czasu, który upłynął od momentu wystawienia tych powierzchni na działanie czynników atmosferycznych (Kotarba 1988). Podstawową zasadą lichenometrii jest stwierdzenie, że plechy porostów o największej średnicy są wskaźnikiem wieku powierzchni, którą skolonizowały jako pierwsze i w optymalnych warunkach środowiska wzrastały najszybciej (Beschel 1950).

W tradycyjnej lichenometrii stosuje się najczęściej dwie metody:

1. Metodę pośrednią – w której bada się powierzchnie skalne o znanym wieku i dokonuje się pomiaru plech porostów, i na tej podstawie ustala się korelację między wielkością porostów a wiekiem powierzchni, na której rosną.
2. Metodę bezpośrednią – która wymaga pomiaru tempa wzrostu plechy porostu w rzeczywistym czasie i skonstruowania krzywej wzrostu.

Na początku XXI wieku, Bradwell (2009) ze Szkocji, klasyczne ujęcie lichenometrii rozszerzył i opracował pięć grup metod lichenometrycznych. Są to:

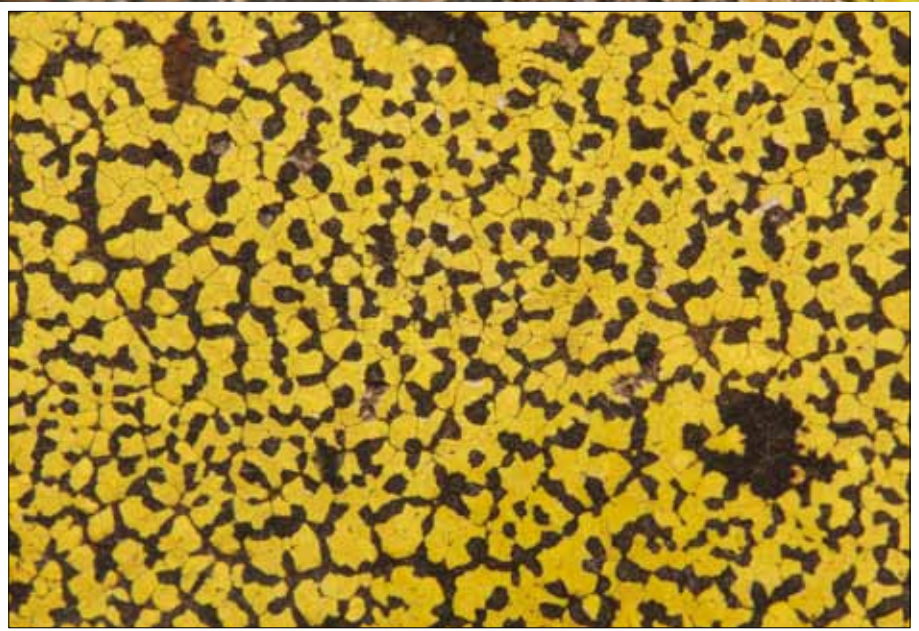
1. Metoda pomiaru największej plechy porostu – do datowania wieku odsłoniętej powierzchni skalnej stosuje się pojedynczą plechę najstarszego, największego porostu, zaletą tej metody jest jej prostota i to, że pozwala na uzyskanie wyników w terenie.
2. Metoda pomiaru pięciu, największych plech porostów – metoda opracowana w latach 70. XX wieku, oparta na badaniach nie jednej a pięciu plech (udowodniono, że analiza więcej niż pięciu plech nie wpływa znacząco na poprawność pomiarów).
3. Metoda pomiaru największej plechy porostu na stałym obszarze – metoda zaprojektowana do datowania wieku skał, zwykle głazów o powierzchni ok. 1 m², na których mierzona jest największa plecha.
4. Metoda analizy wielkości i częstości występowania plech – metoda oparta na analizie wielkości i częstości występowania porostów, które wcześniej już rosły na badanej powierzchni skalnej.
5. Metoda badania pokrycia plech porostów – metoda oparta na założeniu, że powierzchnia skalna pokryta przez jeden gatunek porostu, którego plechy z czasem będą się rozrastały będzie podstawą do pomiarów procentowego pokrycia plech tego gatunku, i z czego będzie można wnioskować wiek skały.

Lichenometria została uznana za użyteczną metodę datowania powierzchni skalnych odsłaniających się spod topniejących lodowców górskich i czasz lodowych obszarów polarnych Arktyki i Antarktyki. Geomorfologia użyła możliwość rekonstruowania faz deglacjacji wokół obszarów pokrytych lodem oraz przebiegu niektórych procesów rzeźbotwórczych. Metody lichenometryczne, oparte na znajomości tempa przyrostu plech porostowych pozwalają, także określić datę powstania słynnych budowli, np. olbrzymich megalitów, posągów Moai na Wyspach Wielkanocnych. Oceniono, że powstały około 450 lat temu, a więc są znacznie młodsze niż przypuszczano. Tufy wulkaniczne, z których zostały zrobione, nie mogły być datowane izotopowo.

Lichenometria jest alternatywną techniką datowania w stosunku do metody radiowęglowej (opartej na pomiarze proporcji między izotopem promieniotwórczym węgla ^{14}C a izotopami trwałymi ^{12}C i ^{13}C – datowanie izotopowe), termoluminescencji (opartej na zjawisku powszechnej wśród niektórych minerałów chwilowej luminescencji po ogrzaniu) lub dendrochronologii (opartej na analizie wzoru przyrostów rocznych (słojów) drzew). Lichenometria jest najbardziej użyteczna w datowaniu powierzchni skalnych odkrytych w ciągu ostatnich 500 lat (Innes 1990), gdyż wiele z innych metod datowania nie obejmuje tego okresu. W badaniach lichenometrycznych największe znaczenia dla datowania ma wzorec geograficzny *Rhizocarpon geographicum*, żyjący na powierzchniach granitowych we wszystkich szerokościach geograficznych (Fot. 31). Jest to gatunek charakteryzujący się długowiecznością i powolnym tempem wzrostu oraz powszechnością występowania w warunkach polarnych i wysokogórskich. Jego plechy mają zazwyczaj kształt kolisty i wraz ze wzrostem powiększają stopniowo swoją średnicę.

Z badań przeprowadzonych w Tatrach wynika, że dla każdego piętra klimatycznego istnieje inna krzywa wzrostu *Rhizocarpon geographicum* (Kotarba 1988, 1989). Współczynnik wzrostu plech tego gatunku dla piętra klimatycznego bardzo chłodnego (1550–1850 m n.p.m.) w Tatrach Wysokich wynosi 38,1 mm na 100 lat. W piętrze alpejskim, pokrywającym się z piętrzem klimatycznym umiarkowanie zimnym (1850–2200 m n.p.m.) współczynnik wzrostu jest niższy i wynosi 32,5 mm na 100 lat.

Lichenometria jest metodą stosowaną często do określania tempa odsłaniania skał, tempa topnienia lodowców, tempa sukcesji ekologicznej, czy też ustalania czasu powstania słynnych budowli. A u jej podstawy leży tempo rocznego przyrostu plech porostów.





Fot. 31. Wzorec geograficzny *Rhizocarpon geographicum* (Fot. J. Kupryjanowicz). Polska nazwa wzorca nawiązuje do podobieństwa jego plech do starych, pożółkłych starych map. W 2005 roku Europejska Agencja Kosmiczna (ESA), pobrane z gór Hiszpanii i Antarktydy plechy porostu wysłała za pomocą rosyjskiej rakiety Sojuz na orbitę Ziemi. Tam wzorec geograficzny był bezpośrednio narażony na warunki panujące w przestrzeni kosmicznej. Po dwóch tygodniach, po powrocie na Ziemię, okazało się, że plechy są zdrowe, a ich DNA nie wykazało żadnych uszkodzeń.

1.11. Zagrożenia porostów w skali lokalnej i globalnej

Porosty będące rodzimymi składnikami naszej bioty najszybciej ustępują pod wpływem antropopresji. Obecnie tempo przekształcania środowiska przyrodniczego jest tak wysokie, że wiele naturalnych habitatów lądowych, a zwłaszcza ekosystemy leśne i obszary chronione stają się swoistymi enklawami (wyspami, oazami) w otaczających je środowiskach silnie przekształconych przez człowieka. Nasilanie się procesu fragmentacji i izolacji powierzchni wielu środowisk prowadzi bezpośrednio i pośrednio do wzmożenia procesu wymierania wielu gatunków na skalę regionalną, krajową lub globalną. W przypadku grzybów lichenizujących największe negatywne znaczenia ma fragmentacja i izolacja lasów (Cieśliński i in. 2006).

Skutkiem oddziaływania człowieka na porosty są zmiany w ich składzie gatunkowym związane z ustępowaniem jednych taksonów (ulegają zanikowi i przekształcaniu struktury zbiorowisk naturalnych) i rozprzestrzenianiem innych (kształtują się i powstają nowe zbiorowiska synantropijne), co powoduje wzrost lub zmniejszanie się bioróżnorodności. Porosty bardzo szybko reagują na różnorodne czynniki wynikające z działalności człowieka. Niektóre ich reakcje na czynniki antropogeniczne są specyficzne i dlatego też, porosty wykorzystywane są jako wskaźniki stanu środowiska przyrodniczego. Zanikanie porostów w miastach po raz pierwszy zarejestrowano w drugiej połowie XIX wieku, i od tego czasu porosty wykorzystuje się jako organizmy wskaźnikowe zanieczyszczenia powietrza SO_2 . Obecnie coraz częściej sygnalizuje się o oddziaływaniu związków azotowych, głównie amoniaku na skład i stopień różnicowania lichenobioty, w tym przede wszystkim na zmniejszenie udziału porostów acydofilnych (kwasolubnych) oraz zwiększenie częstości notowań porostów nitrofilnych. Od wielu już lat porosty wykorzystuje się także jako biowskaźniki niżowych lasów puszczańskich.

Wśród porostów najbardziej zagrożoną grupą są gatunki epifityczne. Szczególnie narażone na wymieranie są gatunki wielkoplechowe z rodzaju brodaczk *Usnea*, granicznik *Lobaria*, pawężniczka *Nephroma*, włostka *Bryoria*. Zdecydowanie najsilniej zagrożone są porosty typowo leśne. Głównymi przyczynami ustępowania porostów nadrzewnych w lasach są zręby, prowadzące do fragmentacji lasów i niszczenia siedlisk, obniżenie wieku rębności drzew, zmniejszanie się liczby starszych drzew, zastępowanie różnowiekowych drzewostanów liściastych i mieszanych uprawami sosny i świerka, czy też zmiany mikroklimatu. Podstawowym zagrożeniem dla rzadkich, wyspecjalizowanych gatunków leśnych, w tym dla reliktywów puszczańskich są zmiany struktury i utrata ciągłości mikroklimatycznych zbiorowisk leśnych związanych z pozyskiwaniem drewna. Izolowane

populacje porostów narażone są na utratę zmienności genetycznej, i w konsekwencji na wymarcie.

Zagrożone są również drzewa przydrożne, na korowinie których rosną makroporosty o plechach krzaczkowatych i listkowatych, jak obrostnica rzęso-wata *Anaptychia ciliaris*, mąkła tarniowa *Evernia prunastri*, odnożyca jesionowa *Ramalina fraxinea*, o. mączysta *R. farinacea*, soreniec opylony *Physconia distorta* i inne, głównie z powodu modernizacji dróg i koncentracji zanieczyszczeń powietrza wzdłuż dróg.

Obserwujemy również zanik porostów związanych z murszejącym drewnem, np. z powalonymi pniami drzew. W lasach zdegenerowanych i gospodarczych biota porostów epiksylicznych reprezentowana jest często tylko przez plechy szeroko rozprzestrzenionych gatunków, głównie chrobotków *Cladonia*.

Giną, także porosty naziemne w wyniku bezpośredniego niszczenia stanowisk ich występowania poprzez: zalesianie muraw i ugorów, pozyskiwanie terenów pod zabudowę miejską na peryferiach miast, nadmierne pozyskiwanie plech płucnicy islandzkiej *Cetraria islandica* do celów farmakologicznych.

Niszczeniu epilitów sprzyja eksploatacja skał, głązów narzutowych do celów budowlanych i drogowych oraz zmiana warunków siedliskowych.

Wykaz czynników zagrażających porostom przedstawia poniższa tabela (Tab. 5).

Tab. 5. Wykaz czynników zagrażających porostom w skali lokalnej i regionalnej (Źródło: Cieśliński, Czyżewska 1992 i inni)

Czynnik	Grupa porostów szczególnie zagrożonych	Uwagi
Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego	Porosty ze wszystkich grup siedliskowych	Emisje przemysłowe lokalne i ponadlokalne, zanieczyszczenia transgraniczne
Gospodarka leśna	Epifity, epiksyle, epigeity	Zmiany struktury i składu gatunkowego drzewostanów, obniżenie wieku rębności drzew, zmniejszanie się liczby starszych drzew, zastępowanie różnowiekowych drzewostanów liściastych i mieszanych uprawami sosny i świerka, zmiany mikroklimatu, zmniejszenie ilości murszejącego drewna
Usuwanie starych drzew poza lasami	Epifity	Niszczenie pojedynczych starych drzew oraz alei przydrożnych, związane najczęściej z rozwojem motoryzacji, która również sama wywiera negatywny wpływ na środowiska przyległe do dróg
Gospodarka rolna	Głównie epifity, epility	Negatywny wpływ środków ochrony roślin i nawozów mineralnych, zapylenie

Zmiana stosunków wodnych (przesuszenie)	Głównie epifity	Zmiany warunków klimatycznych, zwłaszcza obniżenie wilgotności względnej powietrza w lasach i aglomeracjach miejskich, oddziaływanie lokalne
Urbanizacja	Porosty ze wszystkich grup siedliskowych	Niszczenie wszystkich siedlisk i podłoża, oddziaływanie lokalne
Motoryzacja	Głównie epifity	Zanieczyszczenie powietrza, rozbudowa infrastruktury związanej z drogami
Turystyka	Głównie epifity	Dewastacja powierzchni głązów narzutowych na niżu oraz skał w górach, oddziaływanie lokalne
Eksploatacja surowców naturalnych	Porosty ze wszystkich grup siedliskowych	Żwirownie, kamieniołomy, kopalnie odkrywkowe, pozyskiwanie kamieni i głązów narzutowych na niżu na potrzeby budownictwa, oddziaływanie lokalne
Zanieczyszczenie wód, cieków	Porosty epifityczne	Zanikanie porostów rosnących na głązach leżących w nurcie rzek oraz potoków i na ich brzegach, dotyczy Polski Północnej i obszarów górskich i podgórskich
Zbieractwo	Porosty ze wszystkich grup siedliskowych	Głównie zbiorów w celach naukowych, leczniczych i dekoracyjnych

Duża wrażliwość porostów na zmiany siedliskowe, na antropogeniczne zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego sprawia, że są one silnie zagrożone. Czerwona lista porostów w Polsce (Cieśliński i in. 2006) obejmuje 886 gatunków porostów (55,4% bioty Polski) (Tab. 6), w tym 141 gatunków uznanych zostało za gatunki regionalnie wymarłe (RE). Gatunek uznaje się za wymarły, gdy bezowocne okażą się jego poszukiwania prowadzone w jego całym, historycznym zasięgu, na wszystkich znanych stanowiskach. Jeżeli gatunek wymarł na określonym terytorium (państwa, regionu) wówczas, gatunek taki ma na danym obszarze status regionalnie wymarłego.

Tab. 6. Status zagrożenia porostów Polski według kategorii Czerwonej listy

Kategoria Czerwonej Listy	Liczba gatunków	Procent [%] bioty porostów Polski
Regionalnie wymarłe – RE	141	8,8
Na granicy wymarcia – CR	179	11,2
Wymierające – EN	201	12,6
Narażone – VU	165	10,3
Bliskie zagrożenia – NT	68	4,2
Słabo zagrożone – LC	22	1,4
Niedostateczne dane – DD	110	6,9
Razem:	886	55,4


W Polsce, najlepsze warunki dla wegetacji porostów zachowały się w północno-wschodniej części kraju, w województwie podlaskim i warmińsko-mazurskim, gdzie dużo gatunków wielkoplechowych nie jest zagrożona, podczas gdy w pozostałych częściach kraju są często na granicy wymarcia lub regionalnie wymarłe.

W Polsce, porosty chronione są na kilka sposobów. Po pierwsze, istnieje ochrona gatunkowa, która ma na celu zapewnienie przetrwania i właściwego stanu ochrony dziko występujących grzybów zlichenizowanych oraz ich siedlisk, a także zachowanie różnorodności gatunkowej i genetycznej (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 października 2014 roku w sprawie ochrony gatunkowej grzybów). Po drugie, ochrona rezerwatowa, dzięki której są chronione przepięknymi prawnymi i wyłączane z użytkowania obszary przeznaczone na cele ochrony przyrody oraz prowadzenia badań naukowych. Aktualnie w Polsce są dwa rezerwaty przyrody powołane do ochrony porostów: Rezerwat Bór Chrobotkowy im. Profesora Zygmunta Tobolewskiego w Borach Tucholskich (utworzony w 1993 roku, o powierzchni 41,50 ha) i Rezerwat Krwawe Doły na obszarze Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego (utworzony w 1996 roku, o powierzchni 13,02 ha). Po trzecie, porosty są chronione ustawowo, na terenach parków narodowych i rezerwatów oraz na pomnikach przyrody, np. na drzewach i głazach narzutowych (Fałtynowicz 2020).

Według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 października 2014 roku w sprawie ochrony gatunkowej grzybów, w Polsce objętych jest 205 gatunków porostów, w tym 178 ochroną ścisłą, 27 ochroną częściową, 1 ochroną częściową z możliwością pozyskiwania i 11 wymagających ustalenia stref ochrony ich ostoi i stanowisk, w promieniu do 50 m od stanowiska (Tab. 7).

Tab. 7. Porosty chronione w Polsce (Źródło: Rozporządzenie Ministra Środowiska z 2014 roku)

Forma ochrony	Liczba gatunków	Procent [%] bioty porostów Polski
Ochrona ścisła	178	11,1
Ochrona częściowa	27	1,7
Ochrona częściowa z możliwością pozyskiwania	1	0,06
Ochrona strefowa, wymagająca ustalenia stref ochrony ostoi i stanowisk	11	0,7
Łącznie:	205	12,8

A close-up photograph of a tree trunk covered in vibrant yellow lichen. The lichen has a textured, cup-like appearance. A large, semi-transparent number '12' is overlaid on the left side of the image. A white-bordered rectangular box is centered over the lichen, containing the title text.

**MIASTO JAKO
INTERESUJĄCY
OBIEKT BADAŃ
LICHENOLOGICZNYCH**

Miasto jest interesującym przedmiotem interdyscyplinarnych badań na całym świecie, w tym również badań przyrodniczych. Jako ekosystem antropogeniczny stanowi miejsce wegetacji dla wielu gatunków roślin, grzybów i porostów. W odniesieniu do grzybów lichenizujących, w wielu krajach, na terenie miast analizuje się aktualny stan ich bioty oraz zmiany w składzie gatunkowym i rozmieszczeniu poszczególnych taksonów porostów, jakie zaszły w trakcie upływu czasu oraz wykorzystuje się porosty jako bioindykatory do oceny stanu środowiska poprzez zastosowanie różnych metod bioindykacyjnych.

Wpływ człowieka na biotę porostów przejawia się dwoma procesami: wymieraniem i rozprzestrzenianiem gatunków.

W Polsce, szczegółowe badania nad zróżnicowaniem gatunkowym i rozmieszczeniem porostów na terenach zurbanizowanych prowadzono głównie na Pomorzu Zachodnim, w Małopolsce, w Polsce Północno-Wschodniej oraz na terenach górskich, podczas gdy pozostałe tereny są słabiej poznane (Matwiejuk, Korobkiewicz 2012a).

W literaturze lichenologicznej są często przytaczane przykłady kolonizowania przez porosty wielu siedlisk pochodzenia antropogenicznego. Są nimi, m.in. sady owocowe, ogrody działkowe zakładane na terenach zurbanizowanych, murawy antropogeniczne oraz drzewa sadzone wzdłuż dróg, na skwerach. Godnymi uwagi obiektami badań na terenach poddanych działalności człowieka są również cmentarze i parki, które wyraźnie zwiększają mozaikowość krajobrazu i przyczyniają się do zwiększenia bioróżnorodności. Czynniki warunkujące antropogeniczne rozprzestrzenianie się porostów w miastach są: tworzenie nowych podłoży (beton, tynk, zaprawa murarska), zwiększenie częstości występowania podłoży naturalnych, np. drewna.

Miasta są ważnymi obiektami badań, ponieważ to tu, można obserwować zjawiska wpływu działalności człowieka na stan bioty grzybów lichenizujących, głównie w aspekcie dwóch procesów: wymierania

i wycofywania się porostów. Wykazano wpływ wielu czynników na ustępowanie gatunków w obrębie poszczególnych grup ekologicznych porostów. Za główne czynniki odpowiedzialne za eliminację porostów uważa się, m.in. zanieczyszczenia powietrza, niszczenie siedlisk i likwidację podłoża, zmianę właściwości siedlisk już istniejących, zmiany ekoklimatu i stosunków wodnych.

Rydzak (1953), przyczyny wymierania porostów w miastach upatrywał w specyficznych warunkach mikroklimatycznych, zwłaszcza wilgotnościowych i termicznych (hipoteza suszy). Wysunął hipotezę, że na terenach miejskich większe znaczenie ma niższa wilgotność powietrza oraz wyższa temperatura w porównaniu do terenów wiejskich. Współcześnie sugeruje się, że dostępność wody modyfikuje tolerancję porostów na zanieczyszczenia i wskazuje się to, na jedną z przyczyn ubogiej bioty porostów w centrach miast. Bystrek (1997) sugerował, że dla porostów nie bez znaczenia jest zanieczyszczenie wody atmosferycznej, a także dobowy niedobór wody w plechach porostów skorelowany z dobowymi zmianami wilgotności względnej powietrza (hipoteza suszy fizjologicznej). Liczne badania potwierdziły, że podstawowym czynnikiem ograniczającym rozmieszczenie i przetrwanie porostów w środowisku miejskim jest stopień zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego ditlenkiem siarki SO_2 (hipoteza trucizn). Najnowsze badania donoszą zaś o wpływie zanieczyszczenia powietrza amoniakiem NH_3 i tlenkami azotu NO_x . Związki azotu powodują zmiany w składzie lichenobioty na terenach miejskich, przejawiające się spadkiem lub wzrostem udziału gatunków acydofilnych i nitrofilnych.

Następstwem postępującej antropopresji jest z jednej strony ustępowanie gatunków, a z drugiej rozprzestrzenianie się porostów o szerokiej skali ekologicznej, którym w kolonizowaniu nowych obszarów zachodzące zmiany są sprzyjające. Od lat 90. XX wieku zaobserwowano zwiększanie się udziału gatunków nitrofilnych. Jest to spowodowane tym, że emisja SO_2 systematycznie maleje, a poziom zanieczyszczenia tlenkami azotu utrzymuje się na wysokim poziomie i miejscami rośnie. Najważniejszą przyczyną obserwowanych przeobrażeń zachodzących wśród porostów nadrzewnych jest podwyższenie pH kory forofitu, spowodowane adsorpcją NH_3 .

Obecność porostów nitrofilnych i acydofilnych na danym terenie uzależniona jest od wielu czynników, m. in. od pH kory drzew i krzewów, zawartości substancji azotowych w powietrzu, w tym poziomu amoniaku NH_3 oraz zawartości jonów amonowych NH_4^+ i azotanowych NO_3^- w opadzie atmosferycznym. Za eutrofizację i podwyższenia pH kory odpowiada głównie amoniak (van Herk 2001). Gatunki azotolubne mają zdolność tolerowania podwyższonej ilości związków azotowych i podwyższonego pH (Zarabska 2011).

Obszary zurbanizowane stanowią znaczną część środowiska i przestrzeni w poszczególnych regionach i krajach. Ich rozwój charakteryzuje duża dynamika lokalnych biot porostowych, co powoduje, że wpływ miasta na kształtowanie

oblicza biocenoz jest wysoki. Badania lichenologiczne na obszarach miejskich są ważne i interesujące. Wynika to z następujących przesłanek i powodów:

1. biota porostów miast stanowi duży odsetek ogólnego składu bioty Polski;
 - porosty obszarów zurbanizowanych stanowią ok. 30% lichenobioty Polski;
2. bez aktualnej znajomości porostów miast, znajomość bioty porostów Polski byłaby niepełna;
3. biotę porostów miast cechuje wyraźna specyfika i szybka zmienność w czasie;
 - badania prowadzone w miastach powtórnie pokazują kierunki antropogenicznych przemian: pojawiania się i rozprzestrzeniania nowych gatunków oraz wymierania innych, w tym najbardziej wrażliwych;
 - na terenie miast, obok bogato udokumentowanych przykładów ustępowania taksonów, spowodowanych zanieczyszczeniem środowiska oraz niszczeniem siedlisk i podłoży, obserwować można także procesy rekolonizacji niektórych gatunków w przypadku poprawy warunków środowiskowych oraz pojawianie się taksonów nowych, towarzyszących człowiekowi (apoporostów);
 - w odpowiedzi na zmiany warunków siedliskowych, jakie ostatnio zachodzą na terenach zurbanizowanych, m.in. ograniczenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery (głównie SO_2), wzrost poziomu związków azotu zmienia się skład gatunkowy porostów;
 - obserwuje się wzrost stopnia eutrofizacji i pH kory drzew oraz jej zapylenia;
 - wiele gatunków acydofilnych wycofuje się z miast na rzecz taksonów nitrofilnych;
4. często miasta są źródłem rozprzestrzeniania się porostów synantropijnych na tereny rolnicze, leśne itp.

Mimo, że porosty często wyglądają niepozornie i są nie dostrzegane, warto zwracać na nie uwagę. Bowiem te same zanieczyszczenia powietrza, które niszczą porosty, szkodzą i nam ludziom. Np. tlenki azotu NO_x (pochodzące głównie z ruchu drogowego) mogą powodować dolegliwości ze strony układu oddechowego u ludzi (duszność, kaszel, zmniejszenie odpowiedzi immunologicznej organizmu na infekcje płuc, nasilenie ataków u osób chorych na astmę), zaś niektóre gatunki porostów pod ich wpływem zginą, zaś inne będą się dobrze rozwijać. Zanieczyszczenia SO_2 pochodzą głównie ze spalania węgla. W przeszłości

to zanieczyszczenie spowodowało, że wiele gatunków porostów wyginęło. Dzięki temu, że spalamy coraz mniej węgla, porosty zaczynają wracać. W wysokich stężeniach, SO_2 może podrażniać śluzówkę oczu, nosa, gardła, oskrzeli i płuc. Gaz ten może powodować kaszel i ataki astmy. Od wielu lat prowadzone są badania nad interakcjami między zanieczyszczeniem powietrza a występowaniem chorób ostrych i przewlekłych u ludzi. Na terenie Włoch wykazano wysoką korelację między wskaźnikiem bioróżnorodności porostów epifitycznych, zanieczyszczeniem powietrza a śmiertelnością z powodu raka płuc w populacji mężczyzn (<55 lat) (Cislaghi, Nimis 1997).



A close-up photograph of a tree trunk covered in various types of lichen and moss. The lichen appears as thin, leafy, and crusty structures in shades of green and grey. The moss is a soft, fuzzy green. The tree bark is rough and textured. The background is blurred, showing other tree trunks and a bright sky.

CHARAKTERYSTYKA POROSTÓW BIAŁEGOSTOKU

Białystok, miasto położone w północno-wschodniej Polsce, na Wysoczyźnie Białostockiej będącej częścią makroregionu Nizina Północnopodlaska, nad rzeką Białą, stolicę województwa podlaskiego objęto badaniami lichenologicznymi w jego granicach administracyjnych. Ogółem przebadano 708 stanowisk (Ryc. 40). Podczas prac terenowych przyjęto metodę punktową, opartą na spisach florystycznych na wybranych punktach (stanowiskach) badawczych. Stanowiska wybierano w taki sposób, aby uzyskać pełny obraz zróżnicowania gatunkowego i siedliskowego porostów na terenie miasta.

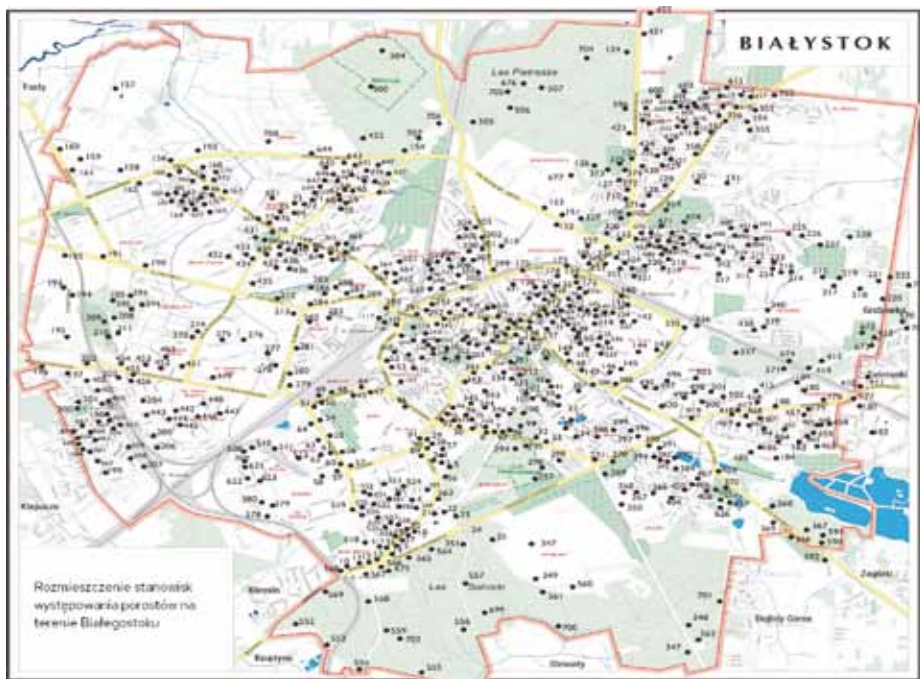
W trakcie wieloletnich badań terenowych badano wszystkie dostępne substraty dla porostów: korę drzew i krzewów liściastych i iglastych, murszejące drewno, glebę, podłoże skalne, mszaki i inne nietypowe podłoża (np. metal), w zróżnicowanych warunkach siedliskowych: na terenach zabudowanych – w centrum i na peryferiach miasta oraz na terenach zielonych – w lasach, parkach, na skwerach i cmentarzach.

W przypadku wybranych taksonów porostów identyfikację taksonomiczną przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych. Pobrane okazy plech oznaczono na podstawie ich cech morfologicznych i anatomicznych. W tym celu wykorzystano mikroskop stereoskopowy (binokular) i mikroskop świetlny. Niektóre gatunki oznaczano także na podstawie obecności związków porostowych (metabolitów wtórnych). U części okazów wystarczające było przeprowadzenie reakcji barwnych (na powierzchni lub przekrojach plech i owocników) lub chromatografii cienkowarstwowej TLC (np. dla gatunków rodzaju chrobotek *Cladonia*, liszajec *Lepraria*, wzorzec *Rhizocarpon*). Nazewnictwo porostów przyjęto za Fałtynowiczem, Kossowską (2016), z wyjątkiem gatunków rodzaju włostka *Bryoria* i brodaczka *Usnea* (Bystrek 1986, 1994). Opisy wybranych gatunków porostów podano za Fałtynowiczem (2020) i stronami <http://encyklopedia.warmia.mazury.pl/index.php>, <https://nagrzyby.pl/atlas>. Dokumentację

fotograficzną przygotowali dr Janusz Kupryjanowicz, mgr inż. Przemysław Sarzyński i dr Anna Matwiejuk.

Realizacji podjętych badań lichenologicznych miały posłużyć następujące cele:

1. ustalenie składu gatunkowego porostów Białegostoku,
2. wyróżnienie gatunków szczególnie związanych z obszarami miejskimi oraz cennych w północno-wschodniej Polsce w związku z rzadkością ich notowań na tym obszarze i/lub statusem ochronnym oraz stopniem zagrożenia w kraju,
3. określenie stopnia zróżnicowania gatunkowego porostów w różnych rejonach miastach, charakteryzujących się odmiennym poziomem antropogenicznego przekształcenia,
4. analiza bioty porostów pod względem stopnia jej synantropizacji,
5. ocena zanieczyszczenia powietrza przy uwzględnieniu bioindykacyjnej roli porostów.



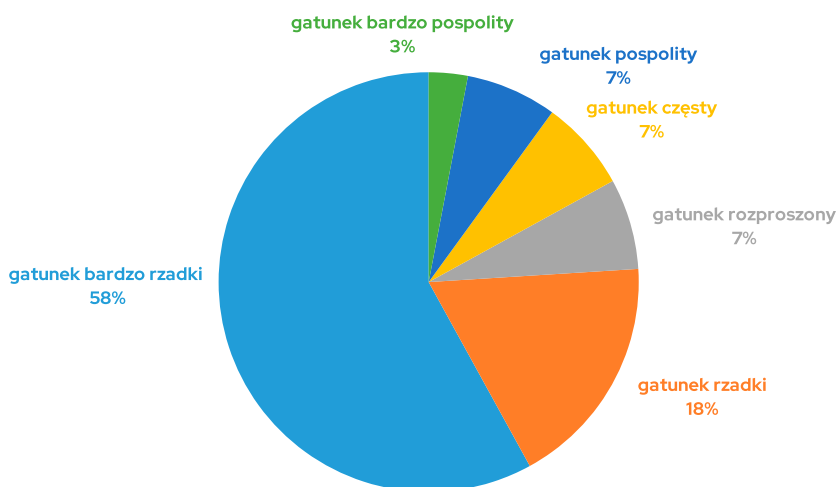
Ryc. 40. Rozmieszczenie stanowisk badawczych w Białymstoku (Źródło: Matwiejuk 2007a)

3.1. Lista gatunków porostów odnotowanych na terenie miasta

Na terenie Białegostoku stwierdzono występowanie 156 gatunków porostów. Lista gatunków obejmuje ich alfabetyczny wykaz. Dla każdego taksonu podano jego nazwę łacińską i polską, rodzaj substratu, na którym odnotowano jego występowanie oraz klasę częstości występowania na stanowiskach (klasę rozpowszechnienia).

Wyróżniono sześć klas częstości: gatunki bardzo rzadkie - <1% stanowisk, gatunki rzadkie - 1-4%, gatunki rozproszone - 4-10%, gatunki częste - 10-20%, gatunki pospolite - 20-38%, gatunki bardzo pospolite - >38%.

Wśród porostów Białegostoku dominują porosty bardzo rzadkie, notowane na pojedynczych stanowiskach, zaś najmniejszy udział mają porosty bardzo pospolite (Ryc. 41). Obszary miejskie charakteryzuje znaczący udział taksonów uznanych za bardzo rzadkie i rzadkie, w tym występujących na badanym terenie na jednostkowych stanowiskach. Wśród porostów bardzo rzadkich są gatunki ogólnie rzadkie, nie tylko na badanym terenie, ale także w Polsce, ale również taksony sporadyczne ze względu na brak siedlisk i podłoża. Większość porostów odnotowanych w mieście to gatunki pospolite i częste w północno-wschodniej Polsce.



Ryc. 41. Klasy częstości porostów Białegostoku

Lista gatunków porostów Białegostoku

1. *Acarospora fuscata* (Nyl.) Arnold – **wielosporek brunatny**
Kamienie, głązy, kamienne nagrobki w miejscach widnych i suchych, gatunek rzadki
2. *Amandinea punctata* (Hoffm.) Coppins & Scheid. – **brudziec kropkowany**
Kora drzew liściastych, głównie klonu, jesionu, topoli, lipy, brzozy, murszejące drewno i drobne kamienie nasypu kolejowego, gatunek częsty
3. *Anaptychia ciliaris* (L.) Körb. – **obrostrnica rzęsowata**
Kora klonu pospolitego, gatunek bardzo rzadki
4. *Arthonia radiata* (Pers.) Ach. – **plamica promienista**
Kora grabu pospolitego, rezerwat Las Zwierzyniecki, gatunek bardzo rzadki
5. *Aspicilia cinerea* (L.) Körb. – **dzbanusznik popielaty**
Kamienne nagrobki w miejscach suchych i widnych, gatunek bardzo rzadki
6. *Athalia holocarpa* (Hoffm.) Arup, Frödèn & Søchting – **bezpleszek obojętny**
Betonowe słupy, murki, gatunek częsty
7. *Athalia pyracea* (Ach.) Arup, Frödèn & Søchting – **bezpleszek gruszowy**
Kora topoli, klonu, wierzby, jesionu, brzozy, lipy i murszejące drewno, gatunek częsty
8. *Biatora tetramera* (De Not.) Coppins – **wyprószek czworaczek**
Mchy porastające betonowe nagrobki, gatunek bardzo rzadki
9. *Bryoria crispa* (Mot.) Bystr. – **włostka kędzierzawa**
Kora dębu szypułkowego, brzozy brodawkowej, sosny zwyczajnej, pojedyncze plechy, gatunek bardzo rzadki
10. *Bryoria fuscescens* (Gyeln.) Brodo & D. Hawksw. – **włostka brązowa**
Kora topoli osiki, Las Bacieczki, gatunek bardzo rzadki
11. *Bryoria vrangiana* (Gyeln.) Brodo & D. Hawksw. – **włostka Wranga**
Kora brzozy brodawkowej, Las Solnicki, gatunek bardzo rzadki

12. *Buellia griseovirens* (Turner & Borrer ex Sm.) Almb. – **brunatka szarozielona**
Kora klonu pospolitego, grabu pospolitego, dębu szypułkowego, topoli osiki, gatunek rzadki
13. *Caeruleum heppii* (Naeg.) K. Knudsen & L. Arcadia – **drobno-sporek Heppiego**
Drobne kamienie nasypu kolejowego, w miejscu nasłonecznionym, gatunek bardzo rzadki
14. *Calogaya decipiens* Arup, Frödén & Søchting – **żółtaczek zwodniczy**
Betonowe słupki, słupy, murki, podmurówki, zaprawa murarska, tynk, dachówki, gatunek częsty
15. *Calogaya pusilla* (A. Massal.) Arup, Frödén & Søchting – **żółtaczek drobny**
Betonowe słupy, murki, podmurówki, zaprawa murarska, tynk, dachówki, kamienie, gatunek częsty
16. *Caloplaca teicholyta* (Ach.) J. Steiner – **jaskrawiec siwy**
Betonowe murki, słupki, nagrobki, gatunek rzadki
17. *Candelaria concolor* (Dicks.) Stein – **światlinka pospolita**
Kora drzew liściastych, głównie topoli, jesionu, klonu, wiązu, rzadko sosny zwyczajnej, drewno ogrodzeń, gatunek rozproszony
18. *Candelariella aurella* (Hoffm.) Zahlbr. – **liszajecznik złocisty**
Betonowe murki, słupki, podmurówki, nagrobki, drewno ogrodzeń, dachówki, tynki, kamienie, metal, gatunek pospolity
19. *Candelariella coralliza* (Nyl.) H. Magn. – **liszajecznik koralkowaty**
Kamienne nagrobki, gatunek bardzo rzadki
20. *Candelariella vitellina* (Hoffm.) Müll. Arg. – **liszajecznik żółty**
Betonowe murki, słupki, nagrobki, tynk, dachówki, drewno ogrodzeń, gatunek pospolity
21. *Candelariella xanthostigma* (Ach.) Lettau – **liszajecznik ziarnisty**
Kora drzew liściastych, głównie wierzby, jesionu, klonu, lipy, wiązu, topoli, jabłoni, gruszy, rzadko drzew iglastych, sosny zwyczajnej i drewno ogrodzeń, gatunek pospolity
22. *Catillaria chalybeia* (Borrer) A. Massal. – **krużyk krążkowaty**
Kamienny pomnik, gatunek bardzo rzadki

23. *Cetraria aculeata* (Schreb.) Ach. – **płucnica kolczasta**
Gleba w miejscu widnym i nasłonecznionym, gatunek bardzo rzadki
24. *Cetraria islandica* (L.) Ach. – **płucnica islandzka**
Gleba w miejscu widnym, w Lesie Bacieczki i Lesie Pietrasze, gatunek bardzo rzadki
25. *Cetraria sepincola* (Ehrh.) Ach. – **płucnica płotowa**
Kora jałowca pospolitego, sosny czarnej w Lesie Bacieczki, gatunek bardzo rzadki
26. *Chaenotheca chrysocephala* (Ach.) Th. Fr. – **trzonecznica żółta**
Kora brzozy brodawkowatej, świerka pospolitego w Lesie Pietrasze i Lesie Solnickim, gatunek bardzo rzadki
27. *Chaenotheca ferruginea* (Turner ex Sm.) Mig. – **trzonecznica rdzawa**
Kora sosny zwyczajnej, świerka pospolitego w Lesie Pietrasze i Lesie Solnickim, gatunek bardzo rzadki
28. *Circinaria calcarea* (L.) A. Nordin, Savić & Tibell – **czajenka wapieniowa**
Pomniki, w miejscu widnym i suchym, gatunek bardzo rzadki
29. *Cladonia arbuscula* (Wallr.) Flot. em. Ruoss – **chrobotek leśny**
Gleba w Lesie Bacieczki i Lesie Solnickim, gatunek bardzo rzadki
30. *Cladonia chlorophaea* (Flörke ex Sommerf.) Spreng. – **chrobotek kieliszkowaty**
Gleba, murszejące drewno pni i kłód, nasady pni drzew brzozy, sosny, rzadko warstwa humusu pokrywająca nagrobki i mchy, gatunek rzadki
31. *Cladonia coniocraea* auct. – **chrobotek szydlasty**
Kora u nasady pni drzew, głównie brzozy, sosny, dębu, próchniejące pniaki, drewniane ogrodzenia, gleba, warstwa humusu pokrywająca kamienne nagrobki, gatunek rozproszony
32. *Cladonia deformis* (L.) Hoffm. – **chrobotek niekształtny**
Gleba w Lesie Pietrasze, rezerwat Antoniuk, gatunek bardzo rzadki
33. *Cladonia digitata* (L.) Hoffm. – **chrobotek palczasty**
Gleba, kora sosny zwyczajnej, świerka pospolitego, brzozy brodawkowatej u nasady pni, próchniejące pniaki w Lesie Solnickim, Lesie Pietrasze i Lesie Bagno, gatunek bardzo rzadki

34. *Cladonia fimbriata* (L.) Fr. – **chrobotek strzępiasty**
Kora drzew, głównie brzozy, sosny, dębu, próchniejące pniaki, gleba, rzadko betonowe i kamienne nagrobki, mchy, gatunek rozproszony
35. *Cladonia furcata* (Huds.) Schrad. – **chrobotek widlasty**
Gleba, w Lesie Bacieczki i Lesie Pietrasze, rezerwat Antoniuk, gatunek rzadki
36. *Cladonia glauca* Flörke – **chrobotek siwy**
Kora topoli, sosny, robinii akacjowej, brzozy, dębu, próchniejące pniaki, gatunek bardzo rzadki
37. *Cladonia grayi* Merrill ex Sandst. – **chrobotek Graya**
Gleba, w Lesie Pietrasze, gatunek bardzo rzadki
38. *Cladonia macilenta* Hoffm. – **chrobotek cienki**
Próchniejące pniaki, kora sosny zwyczajnej u podstawy pnia, w Lesie Pietrasze, rezerwat Antoniuk, gatunek bardzo rzadki
39. *Cladonia merochlorophaea* Asahina – **chrobotek pozorny**
Kora sosny zwyczajnej, u podstawy pnia, w Lesie Bacieczki, gatunek bardzo rzadki
40. *Cladonia phyllophora* Hoffm. – **chrobotek zwyrodniały**
Gleba, w Lesie Solnickim i w Lesie Pietrasze, rezerwat Antoniuk, gatunek bardzo rzadki
41. *Cladonia pyxidata* (L.) Hoffm. – **chrobotek kubkowaty**
Warstwa humusu na kamiennym pomniku, cmentarz żydowski, gatunek bardzo rzadki
42. *Cladonia rangiferina* (L.) Weber – **chrobotek reniferowy**
Gleba, w Lesie Bacieczki, gatunek bardzo rzadki
43. *Cladonia rei* Schaer. – **chrobotek borowy**
Warstwa humusu na kamiennym pomniku, cmentarz żydowski, gatunek bardzo rzadki
44. *Cladonia squamosa* (Scop.) Hoffm. – **chrobotek łuskowaty**
Warstwa humusu na kamienny pomniku, cmentarz żydowski, gatunek bardzo rzadki

45. *Cladonia subulata* (L.) Weber – **chrobotek rogokształtny**
Gleba, w Lesie Solnickim i Lesie Pietrasze, rezerwat Antoniuk, gatunek rzadki
46. *Cladonia uncialis* (L.) F.H. Wigg. – **chrobotek gwiazdkowaty**
Gleba, w Lesie Solnickim, gatunek bardzo rzadki
47. *Coenogonium pineti* (Schrad.) Lücking & Lumbsch – **cielistek dyskretny**
Kora grabu pospolitego, świerku pospolitego w Lesie Pietrasze, rezerwat Antoniuk i rezerwat Las Zwierzyniecki, gatunek bardzo rzadki
48. *Diploschistes muscorum* (Scop.) R. Sant. – **słojecznicza mchowa**
Mchy porastające kamienny nagrobek na cmentarzu żydowskim, gatunek bardzo rzadki
49. *Evernia prunastri* (L.) Ach. – **mąkla tarniowa**
Kora drzew liściastych, jesionu, wierzy, dębu, klonu, lipy, topoli, olszy, robinii akacjowej, murszejące drewno, gatunek rozproszony
50. *Flavoparmelia caperata* (L.) Hale – **żółtlica chropowata**
Kora dębu czerwonego, klonu pospolitego, gatunek bardzo rzadki
51. *Flavoplaca citrina* (Hoffm.) Arup, Frödèn & Søchting – **namurnik cytrynowy**
Betonowe słupki, mury, tynki, zaprawa murarska, gatunek częsty
52. *Goidanichia ambrosiana* (A. Massal.) Tomas. & Cif – **dziepanek okazały**
Betonowy mur w miejscu nasłonecznionym, gatunek bardzo rzadki
53. *Graphis scripta* (L.) Ach. – **literak właściwy**
Kora grabu pospolitego, rezerwat Las Zwierzyniecki, gatunek bardzo rzadki
54. *Hypocenomyce scalaris* (Ach.) Choisy – **paznokietnik ostrygowy**
Kora głównie sosny i brzozy, rzadziej jesionu, klonu, topoli, dębu, wiązu, lipy, drewniane ogrodzenia i krzyże, próchniejące pniaki, kamienne nagrobki, gatunek pospolity
55. *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. – **pustułka pęcherzykowata**
Kora drzew i krzewów liściastych i iglastych, powalone pnie i kłody drzew, drewniane ogrodzenia, krzyże, kamienie, metal, gatunek bardzo pospolity

56. *Hypogymnia tubulosa* (Schaer.) Hav. – **pustułka rurkowata**
Kora wierzby, dębu, topoli, sosny, brzozy, klonu, lipy, rzadko drewniane ogrodzenia, gatunek rzadki
57. *Imshaugia aleurites* (Ach.) S.L.F. Meyer – **popielak pylasty**
Kora sosny zwyczajnej, w Lesie Bacieczki i Lesie Pietrasze, rezerwat Antoniuk, gatunek bardzo rzadki
58. *Lecania cyrtella* (Ach.) Th. Fr. – **miseczniczka drobna**
Kora topoli osiki, gatunek bardzo rzadki
59. *Lecania erysibe* (Ach.) Mudd – **miseczniczka rdzawa**
Martwe mchy porastające betonowy pomnik, konstrukcje betonowe i drobne kamienie, gatunek bardzo rzadki
60. *Lecanora allophana* (Ach.) Nyl. – **misecznicza pogięta**
Głównie kora jesionu, rzadziej klonu, dębu, lipy, brzozy, wierzby, topoli, kasztanowca, jabłoni, gatunek rzadki
61. *Lecanora argentata* (Ach.) Malme – **misecznicza kasztanowata**
Kora klonu jesionolistnego, topoli czarnej, olszy czarnej, gatunek bardzo rzadki
62. *Lecanora carpineae* (L.) Vain. – **misecznicza grabowa**
Kora topoli, dębu, brzozy, klonu, lipy, wierzby, robinii akacyjowej, kasztanowca, grabu, jesionu, gatunek rozproszony
63. *Lecanora chlarotera* Nyl. – **misecznicza jaśniejsza**
Kora grabu pospolitego w Lesie Zwierzynieckim, rezerwat Las Zwierzyniecki, gatunek bardzo rzadki
64. *Lecanora conizaeoides* Nyl. – **misecznicza proszkowata**
Kora drzew liściastych i iglastych, drewniane ogrodzenia, próchniejące pniaki i powalone kłody, gatunek pospolity
65. *Lecanora expallens* Ach. – **misecznicza bledsza**
Kora kasztanowca, topoli, klonu, olszy czarnej, dębu, jabłoni, gatunek rzadki
66. *Lecanora polytropae* (Ehrh. ex Hoffm.) Rabenh. – **misecznicza zwyczajna**
Kamienne pomniki, drobne kamienie, gatunek bardzo rzadki

67. *Lecanora populicola* (DC.) Duby – **misecznicza topolowa**
Kora topoli osiki, gatunek bardzo rzadki
68. *Lecanora pulicaris* (Pers.) Ach. – **misecznicza brązowa**
Kora klonu, wierzy, jesionu, rzadziej dębu, topoli, grabu, robinii, brzozy, gruszy, olszy, lipy, gatunek rozproszony
69. *Lecanora rupicola* (L.) Zahlbr. – **misecznicza skalna**
Kamienny pomnik, cmentarz żydowski, gatunek bardzo rzadki
70. *Lecanora saligna* (Schrad.) Zahlbr. – **misecznicza wierzbowa**
Kora topoli, dębu, drewniane ogrodzenia, gatunek rzadki
71. *Lecanora symmicta* (Ach.) Ach. – **misecznicza niestała**
Kora topoli osiki, dębu, drewniane ogrodzenia, gatunek bardzo rzadki
72. *Lecanora umbrina* (Ach.) A. Massal. – **misecznicza ciemna**
Kora jesionu, kamienie, gatunek bardzo rzadki
73. *Lecanora varia* (Hoffm.) Ach. – **misecznicza zmienna**
Drewniane ogrodzenia, kora topoli, klonu, brzozy, dębu, sosny, gatunek rzadki
74. *Lecidea fuscoatra* (L.) Ach. – **krążniczka brunatnoczarna**
Kamienie, nagrobki, gatunek bardzo rzadki
75. *Lecidella elaeochroma* (Ach.) Choisy – **amylka oliwkowa**
Kora klonu, topoli, dębu, grabu, gatunek rzadki
76. *Lecidella stigmatea* (Ach.) Hertel & Leuckert – **amylka znaczona**
Betonowe konstrukcje, zaprawa murarska, kamienie, gatunek rzadki
77. *Leimonis erratica* (Körb.) R.C. Harris & Lendemmer – **eratyczek żwirowy**
Drobne kamienie, w miejscu nasłonecznionym, gatunek bardzo rzadki
78. *Lepraria elobata* Tønsberg – **liszajec bezpłatkowy**
Kora świerku pospolitego, w Lesie Pietrasze, rezerwat Antoniuk, w Lesie Zwierzynieckim, rezerwat Las Zwierzyniecki, gatunek bardzo rzadki
79. *Lepraria finkii* (B. de Lesd. ex Hue) R.C. Harris – **liszajec Finka**
Mchy, gatunek bardzo rzadki

80. *Lepraria incana* (L.) Ach. – **liszajec szary**
Kora sosny zwyczajnej, w Lesie Bacieczki, Lesie Bagno i Lesie Pietrasze, rezerwat Antoniuk, gatunek bardzo rzadki
81. *Lepraria jackii* Tønsberg – **liszajec Jacka**
Kora sosny zwyczajnej, w Lesie Solnickim i Lesie Pietrasze, gatunek bardzo rzadki
82. *Lepraria vouauxii* (Hue) R.C. Harris – **liszajec Vouauxa**
Mchy, gatunek bardzo rzadki
83. *Lepraria* sp. – **liszajec**
Kora wielu gatunków drzew liściastych i iglastych, powalone pnie i kłody drzew, drewniane ogrodzenia, betonowe konstrukcje, kamienne pomniki i mchy, gatunek częsty
84. *Melanelixia fuliginosa* (Fr. ex Duby) O. Blanco & al. – **przylepnik okopcony**
Kamienne nagrobki, gatunek rzadki
85. *Melanelixia glabratula* (Lamy) Sandler & Arup – **przylepnik łysawy**
Kora jesionu, wierzby, klonu, topoli, brzozy, lipy, olszy, grabu, gatunek częsty
86. *Melanelixia subargentifera* (Nyl.) O. Blanco & al. – **przylepnik brodawkowy**
Kora klonu zwyczajnego, gatunek bardzo rzadki
87. *Melanohalea elegantula* (Zahlbr.) O. Blanco & al. – **przylepniczka wytworna**
Kora topoli, dębu, gatunek bardzo rzadki
88. *Melanohalea exasperatula* (Nyl.) O. Blanco & al. – **przylepniczka łuseczkowata**
Kora jesionu, wierzby, klonu, topoli, dębu, brzozy, lipy, olszy, grabu, metalowe konstrukcje, gatunek częsty
89. *Myriolecis albescens* (Hoffm.) Śliwa, Zhao Xin & Lumbsch – **nocotnik biały**
Betonowe mury, słupy, podmurówki, barierki drogowe, pomniki, tynki, dachówki, drobne kamienie, gatunek pospolity
90. *Myriolecis dispersa* (Pers.) Śliwa, Zhao Xin & Lumbsch – **nocotnik pospolity**
Betonowe mury, murki, słupy, podmurówki, pomniki, dachówki, tynki, kamienie, gatunek pospolity

91. *Myriolecis hagenii* (Ach.) Śliwa, Zhao Xin & Lumbsch – **nocotnik Hagena**
Kora osiki, wierzby, klonu, dębu, brzozy, lipy, olszy, jabłoni, drewniane ogrodzenia, gatunek rzadki
92. *Opegrapha vermicellifera* (Kunze) J.R. Laundon – **pismaczek pęcherzykowy**
Kora grabu pospolitego, rezerwat Las Zwierzyniecki, gatunek bardzo rzadki
93. *Parmelia saxatilis* (L.) Ach. – **tarczownica skalna**
Kora dębu, w Lesie Solnickim, gatunek bardzo rzadki
94. *Parmelia sulcata* Taylor – **tarczownica bruzdkowana**
Kora drzew liściastych, głównie klonu, topoli, jesionu, lipy, drewniane i metalowe ogrodzenia, gatunek bardzo pospolity
95. *Parmelina tiliacea* (Hoffm.) Hale – **szarzynka skórzasta**
Kora klonu, jesionu, topoli, dębu, olszy, wierzby, gatunek rzadki
96. *Parmeliopsis ambigua* (Wulfen) Nyl. – **płaskotka rozlana**
Kora osiki, dębu, sosny zwyczajnej, gatunek bardzo rzadki
97. *Peltigera didactyla* (With.) J.R. Laundon – **pawężnica drobna**
Gleba, w Lesie Bacieczki, gatunek bardzo rzadki
98. *Peltigera rufescens* (Weiss) Humb. – **pawężnica rudawa**
Gleba, w Lesie Bacieczki i Lesie Pietrasze, rezerwat Antoniuk, gatunek bardzo rzadki
99. *Pertusaria albescens* (Huds.) Choisy & Werner – **otwornica zwyczajna**
Kora osiki, grabu pospolitego, klonu pospolitego, gatunek bardzo rzadki
100. *Pertusaria alpina* Hepp ex Arles – **otwornica alpejska**
Kora grabu pospolitego, rezerwat Las Zwierzyniecki, gatunek bardzo rzadki
101. *Pertusaria amara* (Ach.) Nyl. – **otwornica gorzka**
Kora dębu, grabu, klonu, rezerwat Las Zwierzyniecki, gatunek bardzo rzadki
102. *Pertusaria coccodes* (Ach.) Nyl. – **otwornica szkarłatna**
Kora jesionu, klonu, dębu, w Lesie Solnickim, gatunek bardzo rzadki

103. *Phaeophyscia nigricans* (Flörke) Moberg – **orzast czarniawy**
Betonowe mury, murki, słupy, tynki, rzadko kora jesionu, brzozy, wierzby, gatunek częsty
104. *Phaeophyscia orbicularis* (Neck.) Moberg – **orzast kolisty**
Kora wielu gatunków drzew, często betonowe mury, murki, słupy, podmurówki, pokrycia dachowe, tynki, nagrobki, kamienie, drewniane i metalowe konstrukcje, gatunek bardzo pospolity
105. *Phlyctis argena* (Ach.) Flot. – **rozsypek srebrzysty**
Kora klonu, topoli, jesionu, dębu, robinii, grabu, olszy, lipy, wierzby, brzozy, gatunek rozproszony
106. *Physcia adscendens* (Fr.) H. Oliwier – **obrost wzniesiony**
Kora topoli, jesionu, klonu, wierzby, lipy, dębu, wiązu, jabłoni, betonowe murki i słupy, dachówki, drewniane i metalowe ogrodzenia, gatunek pospolity
107. *Physcia aipolia* (Ehrh. ex Humb.) Fürnrohr subsp. *aipolia* – **obrost sinawy**
Kora topoli, klonu, jesionu, gatunek bardzo rzadki
108. *Physcia caesia* (Hoffm.) Fürnrohr – **obrost modry**
Betonowe mury, murki, słupy, tynki, dachówki, wyjątkowo kora topoli, klonu, jesionu, lipy, wierzby, robinii, kasztanowca, drewniane i metalowe konstrukcje i kamienie, gatunek rozproszony
109. *Physcia dubia* (Hoffm.) Lettau – **obrost zmienny**
Kora wielu gatunków drzew liściastych, drewniane i betonowe konstrukcje, pokrycia dachowe i metal, gatunek bardzo pospolity
110. *Physcia stellaris* (L.) Nyl. subsp. *stellaris* – **obrost gwiazdkowaty**
Kora wielu gatunków drzew liściastych, rzadko drewniane ogrodzenia, gatunek pospolity
111. *Physcia tenella* (Scop.) DC. – **obrost drobny**
Kora wielu gatunków drzew liściastych, drewniane, betonowe i metalowe konstrukcje, pokrycia dachowe, gatunek rozproszony
112. *Physconia distorta* (With.) J.R. Laundon – **soreniec opylony**
Kora topoli, wierzby, gatunek bardzo rzadki

113. *Physconia enteroxantha* (Nyl.) Poelt – **soreniec żółtawy**
Kora wielu gatunków drzew liściastych, gatunek rozproszony
114. *Physconia grisea* (Lam.) Poelt – **soreniec popielaty**
Kora topoli, klonu, wierzby, gatunek bardzo rzadki
115. *Physconia perisidiosa* (Erichsen) Boberg – **soreniec dachówkowaty**
Kora bzu czarnego, gatunek bardzo rzadki
116. *Placynthiella uliginosa* (Schrad.) Coppins & P. James – **ziarniak humusowy**
Gleba i drewniane ogrodzenia, pniaki, gatunek bardzo rzadki
117. *Platismatia glauca* (L.) W.L. Culb. & C.F. Culb. – **płucnik modry**
Kora grabu, dębu, brzozy, klonu, lipy, gatunek rzadki
118. *Pleurosticta acetabulum* (Neck.) Elix & Lumbsch – **wabnica kielichowata**
Kora dębu, topoli, klonu, wierzby, gatunek bardzo rzadki
119. *Polycauliona candelaria* (L.) Frödén, Arup & Søchting – **złotorostka postrzępiona**
Kora jesionu, wierzby, lipy, topoli, klonu, gatunek rzadki
120. *Polycauliona polycarpa* (Hoffm.) Frödén, Arup & Søchting – **złotorostka wieloowocnikowa**
Kora wielu gatunków drzew liściastych, rzadko betonowe i drewniane konstrukcje, gatunek pospolity
121. *Porpidia crustulata* (Ach.) Hertel & Knoph – **kamusznik właściwy**
Kamienie i kamienne nagrobki w miejscach widnych, gatunek rzadki
122. *Porpidia soledizodes* (Lamy ex Nyl.) J.R. Laundon – **kamusznik solediowy**
Drobne kamienie nasypu kolejowego, w miejscu nasłonecznionym, gatunek bardzo rzadki
123. *Protoparmeliopsis muralis* (Schreb.) Choisy – **rozetnik murowy**
Betonowe mury, murki, słupy, słupki, podmurówki, tynki, płyty chodnikowe, krawężniki, kamienie, drewniane ogrodzenia, metal, gatunek częsty
124. *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf – **mąklik otrębiasty**
Kora dębu, klonu, topoli, lipy, brzozy, jesionu, jabłoni, sosny, drewniane konstrukcje, gatunek rzadki

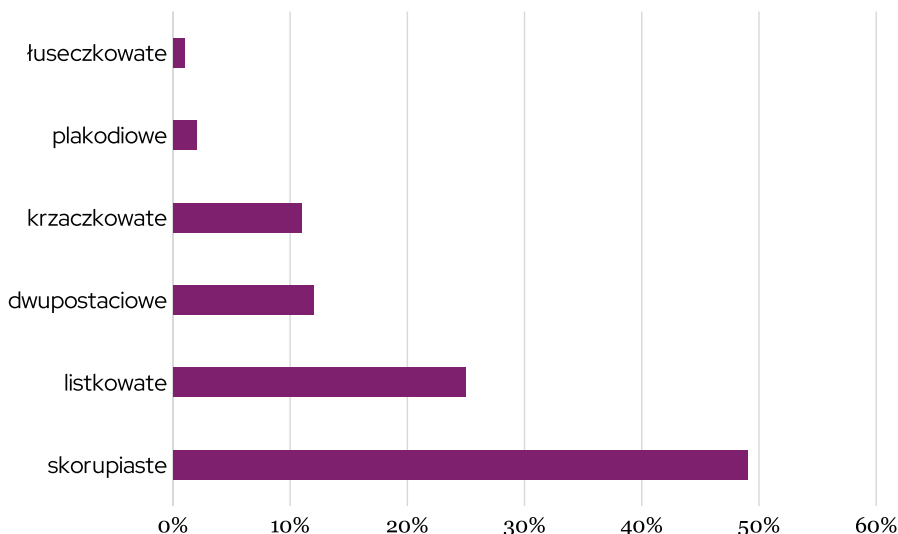
125. *Psilolechia lucida* (Ach.) Choisy – **sorenka jaskrawa**
Betonowe pomniki, cmentarz żydowski, gatunek bardzo rzadki
126. *Pyrenula nitida* (Weigel) Ach. – **otocznicza lśniąca**
Kora grabu pospolitego, dębu szypułkowego, murszające drewno, rezerwat Las Zwierzyniecki, gatunek bardzo rzadki
127. *Ramalina farinacea* (L.) Ach. – **odnożyca mączysta**
Kora topoli, klonu, dębu, wierzby, jesionu, pojedyncze plechy, gatunek rzadki
128. *Ramalina fastigiata* (Pers.) Ach. – **odnożyca kępkowa**
Kora topoli, pojedyncza plecha, gatunek bardzo rzadki
129. *Ramalina fraxinea* (L.) Ach. – **odnożyca jesionowa**
Kora klonu, jesionu, wierzby, dębu, topoli, pojedyncze plechy, gatunek rzadki
130. *Ramalina pollinaria* (Westr.) Ach. – **odnożyca opylona**
Kora klonu pospolitego, pojedyncze plechy, gatunek bardzo rzadki
131. *Rhizocarpon distinctum* Th. Fr. – **worzec pospolity**
Kamienie, kamienne pomniki, gatunek bardzo rzadki
132. *Rhizocarpon reductum* Th. Fr. – **worzec ograniczony**
Kamienne pomniki, cmentarz żydowski, gatunek bardzo rzadki
133. *Rinodina oleae* Bagl. – **bruniec oliwny**
Kamienne nagrobki, drobne kamienie nasypu kolejowego, gatunek bardzo rzadki
134. *Rinodina pyrina* (Ach.) Arnold – **bruniec gruszowy**
Kora topoli, wierzby, gatunek bardzo rzadki
135. *Rufoplaca arenaria* (Pers.) Arup, Søchting & Frödén – **szarutek polny**
Betonowe mury w miejscu nasłonecznionym i suchym, gatunek bardzo rzadki
136. *Rusavskia elegans* (Link) S.Y. Kondr. & Kärnefelt – **pysznorost wspaniały**
Betonowe mury, słupy, kamienne nagrobki, gatunek rzadki

137. *Sarcogyne regularis* Körb. – **setniczka zwyczajna**
Betonowe słupki, mury w miejscach nasłonecznionych, gatunek bardzo rzadki
138. *Scoliciosporum chlorococcum* (Graeve ex Stenh.) Vězda – **szadziec ciemnozielony**
Kora wielu gatunków drzew liściastych i iglastych, drewniane konstrukcje i kłody, gatunek częsty
139. *Scoliciosporum umbrinum* (Ach.) Arnold – **szadziec skręcony**
Kamienne nagrobki, gatunek bardzo rzadki
140. *Stereocaulon condensatum* Hoffm. – **chróścik karłowaty**
Betonowy pomnik, cmentarz żydowski, gatunek bardzo rzadki
141. *Stereocaulon tomentosum* Fr. – **chróścik orzęsiony**
Warstwa humusu na kamiennym pomniku, cmentarz żydowski, gatunek bardzo rzadki
142. *Trapeliopsis flexuosa* (Fr.) Coppins & P. James – **szarek pogięty**
Kora brzozy brodawkowatej, gatunek bardzo rzadki
143. *Trapeliopsis granulosa* (Hoffm.) Lumbsch – **szarek gruzełkowaty**
Gleba, rzadko kora u nasady pni sosny zwyczajnej, brzozy brodawkowatej i omszonej, próchniejące pniaki, murszejące drewno, gatunek rzadki
144. *Trapeliopsis viridescens* (Schrad.) Coppins & P. James – **szarek zieleniejący**
Próchniejący pniak świerkowy w miejscu cienistym i wilgotnym, w Lesie Pietrasze, rezerwat Antoniuk, gatunek bardzo rzadki
145. *Tuckermanopsis chlorophylla* (Willd.) Hale – **brązowniczką brzozowa**
Kora klonu, jesionu, topoli, dębu, sosny, brzozy, kasztanowca, wierzby, olszy, robinii akacyjowej, jałowca pospolitego, pojedyncze plechy, gatunek rzadki
146. *Usnea dasopoga* (Ach.) Röhl. – **brodaczką zwyczajną**
Kora brzozy brodawkowatej, w Lesie Solnickim, gatunek bardzo rzadki
147. *Usnea hirta* (L.) Weber ex F.H. Wigg. – **brodaczką kępkową**
Kora sosny zwyczajnej, jesionu wyniosłego, klonu pospolitego, dębu szypułkowego, dębu czerwonego, gatunek bardzo rzadki

148. *Usnea subfloridana* Stirt. – **brodaczka kędzierzawa**
Kora topoli osiki, brzozy brodawkowatej, w Lesie Solnickim i Lesie Bacieczki, gatunek bardzo rzadki
149. *Verrucaria muralis* Ach. – **brodawnica murowa**
Drobne kamienie w miejscu nasłonecznionym, gatunek bardzo rzadki
150. *Verrucaria nigrescens* Pers. – **brodawnica czarniawa**
Betonowe słupy, słupki, murki, kamienne nagrobki, gatunek rzadki
151. *Verrucaria* sp. – **brodawnica**
Betonowe słupy, słupki, murki, tynki, pomniki, gatunek rzadki
152. *Vulpicida pinastri* (Scop.) J.-E. Mattsson & M.J. Lai – **żłotlinka jaskrawa**
Kora dębu, jałowca pospolitego, brzozy brodawkowatej, topoli osiki, gatunek rzadki
153. *Xanthoparmelia conspersa* (Ach.) Hale – **żełuczka izydiowa**
Kamienne nagrobki, gatunek rzadki
154. *Xanthoparmelia delisei* (Duby) O. Blanco & al. – **żełuczka Delisa**
Kamienne pomniki, cmentarz żydowski, gatunek bardzo rzadki
155. *Xanthoparmelia loxodes* (Nyl.) O. Blanco & al. – **żełuczka brunka**
Kamienie i kamienne nagrobki, gatunek bardzo rzadki
156. *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. – **złotorost ścienny**
Kora wielu gatunków drzew liściastych, drewniane ogrodzenia, betonowe mury, murki, słupy, słupki, pomniki, metalowe konstrukcje, gatunek bardzo pospolity.

3.2. Charakterystyka zróżnicowania morfologicznego porostów

Wśród 156 gatunków porostów Białegostoku, najliczniej reprezentowane są porosty o plechach skorupiastych (77 gatunków, 49% ogółu gatunków) i listkowatych (40 gat., 25%). Najmniejszy udział mają porosty o plechach dwupostaciowych (18 gat., 12%), krzaczkowatych (17 gat., 11%), plakodiowych (3 gat., 2%) i łuseczkowatych (1 gat., 1%) (Ryc. 42).



Ryc. 42. Procentowy udział porostów z różnych grup morfologicznych

Wśród porostów o plechach skorupiastych duży udział mają gatunki pionierskie, które jako pierwsze kolonizują antropogeniczne podłoża skalne (słupy, murki, podmurówki, nagrobki itp.), gładką korę drzew i krzewów oraz świeżo odsłoniętą glebę. U wielu gatunków skorupiastych na powierzchni ich plech występują liczne soralia z sorediami, czy też owocniki, które ułatwiają im szybką kolonizację.

Porosty o plechach listkowatych wymagają znacznie większego dostępu światła niż porosty skorupiaste, dlatego też występują w miejscach odsłoniętych, dobrze oświetlonych. Często można je spotkać na korze drzew rosnących samotnie, przydrożnie lub na skraju lasów. Wśród nich dominują porosty nitrofilne, z rodzaju obrost *Physcia*, orzast *Phaeophyscia*, soreniec *Physconia* i złotorost *Xanthoria*, rosnące na korze drzew liściastych na terenach zabudowanych.

Porosty światłolubne, a jednocześnie wymagające wilgotnego powietrza, wykształcają najczęściej różnego rodzaju plechy krzaczkowate (np. listkowate, czy też o spłaszczonych odcinkach). Porosty epifityczne o plechach krzaczkowatych należą do szczególnie wrażliwych na zaburzenia środowiska wywołane czynnikami antropogenicznymi. Na terenie miasta odnotowano je w lasach, parkach, na cmentarzach i skwerach oraz peryferiach. Znaczący udział mają najpospolitsze gatunki, jak mąkła tarniowa *Evernia prunastri*, mąklik otrębiasty *Pseudevernia furfuracea*. Rzadkimi gatunkami są porosty z rodzaju brodacza *Usnea*, odnożyca *Ramalina* i włóstka *Bryoria*.

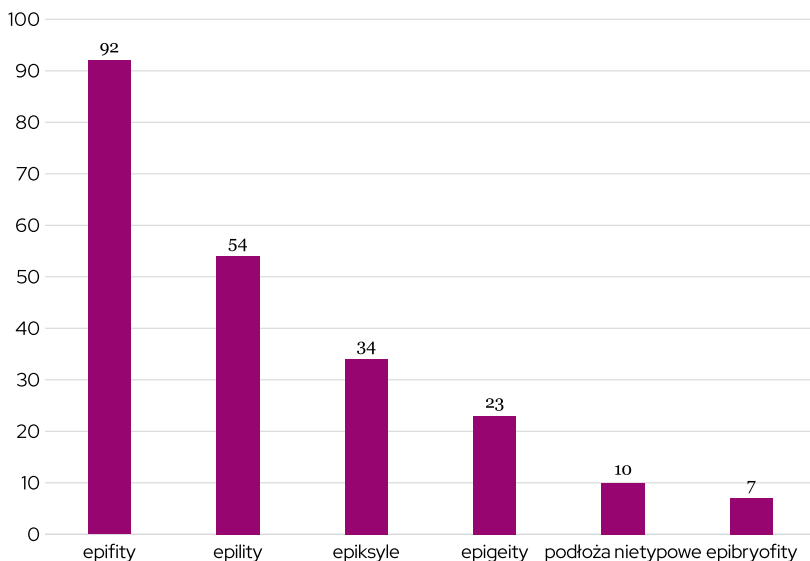
Porosty o plechach dwupostaciowych reprezentowane są przez liczne gatunki chrobotków *Cladonia* sp., kolonizujące podstawy pni drzew, murszejące drewno i jałową glebę.

Morfologiczna forma plechy porostu jest jednym z czynników, który warunkuje ich odporność na zmiany siedliskowe (głównie na zanieczyszczenia powietrza). Plechy krzaczkowate, o rozbudowanej formie, odstające od podłoża są najbardziej wrażliwe, zaś plechy skorupiaste są najbardziej wytrzymałe. Na terenie miasta, w różnych jego rejonach stwierdzono odmienny udział form morfologicznych plech. Największy udział porostów listkowatych, w tym szerokolistkowatych typu tarczownica *Parmelia* i krzaczkowatych jest w parkach i lasach, zaś porostów skorupiastych i wąskolistkowatych typu obrost *Physcia* na terenach zabudowanych zlokalizowanych w centrum i na peryferiach miasta.

3.3. Różnorodność porostów głównych grup siedliskowych

Na terenie Białegostoku wiele gatunków porostów ma optymalne warunki do wegetacji i wykazuje szerokie spektrum zasiedlanych podłoży. Niektóre z nich cechuje duża ekspansja i kolonizacja wielu podłoży utworzonych przez człowieka. Porosty często tworzą różnej wielkości populacje jednogatunkowe lub wielogatunkowe. W biocie porostów Białegostoku dominują pospolite gatunki, w tym taksony nitrofilne. Powszechne są porosty ubikwistyczne, wszędobylskie, które mają małe wymagania środowiskowe, są mało wyspecjalizowane i występują w wielu środowiskach, siedliskach i na rozmaitych podłożach.

Porosty zasiedlają różne typy substratów, w tym organiczne i nieorganiczne. Dostępność i różnorodność tych podłoży jest wskaźnikiem składu gatunkowego bioty. Na terenie stolicy Podlasia stwierdzono występowanie 156 gatunków porostów, w tym 92 gat. nadrzewne, 54 gat. naskalne, 34 gat. murszejącego drewna, 23 gat. naziemne, 10 gat. na metalu i 7 gat. na mszakach (Ryc. 43).



Ryc. 43. Liczba gatunków porostów z różnych grup siedliskowych w biocie Białegostoku

3.3.1. Charakterystyka porostów nadrzewnych

Na terenie miasta najliczniejsze są porosty epifityczne (59% wszystkich porostów Białegostoku). Dominacja porostów nadrzewnych, obok przewagi gatunków ubikwistycznych (gatunków o szerokich granicach tolerancji w stosunku do czynników środowiskowych, występujących w różnych środowiskach i na różnych podłożach) wpływa na charakter lichenobioty miasta. Wśród porostów epifitycznych dominują gatunki pospolite w kraju i regionie. Porosty rosną na korze wielu gatunków drzew i krzewów liściastych i iglastych. Kora drzew będąca martwą tkanką jest miejscem, na której plechy mogą się rozwijać. Różnorodność korowiny drzew determinuje zróżnicowanie gatunkowe bioty nadrzewnej porostów. Plechy porostów pojawiają się już na korze kilkunastoletnich drzew. Zazwyczaj inne gatunki rosną na młodych drzewach niż na drzewach starszych. Najpierw pojawiają się porosty o plechach skorupiastych, które następnie w miarę upływu czasu są wypierane przez gatunki wielkoplechowe: listkowate i krzaczkowate. Skład gatunkowy porostów zmienia się wraz ze wzrostem drzewa i zmianą jego struktury kory. Na starszych drzewach, gdy kora ulega spękaniu tworzą się spękania i bruzdy, które stanowią swoiste mikrosiedliska (nisze) dla wegetacji porostów. Ważnym czynnikiem dla rozwoju porostów jest odczyn (pH) kory (Tab. 8).

Tab. 8. Odczyn kory (pH) wybranych gatunków drzew (Źródło: Kubiak 2020 i inni)

Gatunek drzewa	Odczyn kory (pH)	
	Zakres	Średni
Klon jawor <i>Acer pseudoplatanus</i>	6,1-6,9 (5,1-7,7)	6,3
Olsza czarna <i>Alnus glutinosa</i>	4,2-5,0	4,8
Jesion wyniosły <i>Fraxinus excelsior</i>	5,2-5,8 (-6,8)	5,5
Sosna zwyczajna <i>Pinus sylvestris</i>	3,4-3,8(-4,3)	-
Topola czarna <i>Populus nigra</i>	5,0-7,3	-
Dąb szypułkowy <i>Quercus robur</i>	3,7-5,0 (2,9-6,4)	4,5
Wierzba <i>Salix</i> sp.	5,0-5,2 (-7,1)	-
Lipa <i>Tilia</i> sp.	4,8-6,2 (3,8-6,5)	5,6
Wiąz pospolity <i>Ulmus campestris</i>	4,5-6,8 (3,6-6,8)	5,4

Większość epifitycznych gatunków porostów preferuje podłoża o określonych właściwościach chemicznych i fizycznych kory i dlatego rośnie na wybranych gatunkach drzew. Jednym z głównych czynników wpływających na występowanie porostów jest pH kory, które różni się w zależności od gatunku drzewa. Forofity o kwaśnej (oligotroficznej) korze (niskie pH), np. drzewa iglaste (sosna, świerk, modrzew) mają z reguły uboższy skład gatunkowy lichenobioty. Ten ubogi zestaw gatunków porostów epifitycznych pogłębiają także inne czynniki, np. kora sosen ma również małą pojemność wodną i niewiele pierwiastków potrzebnych porostom, a ponadto kora łuszczy się intensywnie, co dodatkowo pogłębia niekorzystne warunki dla ich vegetacji. Z kolei drzewa liściaste, jak topola, jesion, wierzba mają korę eutroficzną, o wysokim odczynie, zasobną w związki odżywcze biogeny, m.in. w związki azotu. Ich zestaw gatunkowy jest bogaty, często na tych drzewach rosną gatunki nitrofilne, np. z rodzaju obrost *Physcia*, orzast *Phaeophyscia*, soreniec *Physconia* i złotorost *Xanthoria*. Dęby, graby, olsze mają korę umiarkowanie kwaśną i średnio żyzną i ich biota jest jedną z najbardziej liczną w gatunki porostów.

Porosty nadrzewne rosnące w lasach Białegostoku

W granicach administracyjnych miasta Białegostoku lasy zajmują areał stanowiący ok. 18,01% jego całkowitej powierzchni. Lasy porastają głównie obrzeża miasta. Największymi zwartymi kompleksami lasów są Las Solnicki leżący w sąsiedztwie lotniska na Krywlanach, na południu miasta oraz Las Pietrasze położony na północnych obrzeżach Białegostoku. Z pozostałych kompleksów leśnych miasta należy wymienić: Las Bagno, las o charakterze podmokłym, położony na wschodnim krańcu miasta, lasy zlokalizowane w okolicach Parku Konstytucji 3 Maja (Parku Zwierzynieckiego) wraz z rezerwatem przyrody Las Zwierzyniecki, lasy leżące w okolicach Stawów Dojlidzkich, Las Bacieczkowski (Las Bacieczki) leżący w zachodniej części miasta. Lasy miejskie to przede wszystkim bory świeże i bory mieszane świeże z dominacją sosny zwyczajnej. Wiek większości drzewostanów waha się w granicach 20-60 lat.

W lasach Białegostoku odnotowano 83 gatunki porostów na korze drzew i krzewów. Zróżnicowanie gatunkowe i wielkość populacji epifitów zależy, m.in. od gatunku i wieku drzewa, właściwości chemicznych i fizycznych kory. Wyłącznie w lasach stwierdzono 25 gatunków.

Na szczególną uwagę zasługuje Las Zwierzyniecki objęty ochroną rezerwatową, na terenie którego rośnie drzewostan o charakterze grądu wilgotnego. Na korze wielu drzew liściastych (m.in. grabu, olszy, dębu, jesionu, klonu) często rosną listkowate plechy szaropopielatej pustułki pęcherzykowatej *Hypogymnia physodes* i tarczownicy bruzdkowanej *Parmelia sulcata*, skorupiate plechy rozsypka srebrzystego *Phlyctis argena* (Fot. 32) i liszajca *Lepraria* sp. Z reliktywów leśnej bioty na korze grabu pospolitego *Carpinus betulus* w grądzie na terenie rezerwatu Las Zwierzyniecki pozostały rzadkie i zagrożone gatunki, jak plamica promienista *Arthonia radiata*, literak właściwy *Graphis scripta* (Fot. 33), pismaczek pęcherzykowaty *Opegrapha vermicellifera*, otwornica alpejska *Pertusaria alpina*, o. gorzka *P. amara* (Fot. 34) i otocznicza lśniąca *Pyrenula nitida* (Fot. 35).

Porosty grabu pospolitego w Lesie Zwierzynieckim



Fot. 32. Rozsypek srebrzysty *Phlyctis argena* tworzy wyraźne rozetkowane plechy, które w środkowej części mają białe, plamkowate soralia (Fot. A. Matwiejuk)

Porost o plesze proszkowatej, cienkiej, tworzącej rozległe łaty do kilkunastu lub więcej cm. Na brzegu plechy występuje białe przedplesze, złożone z promieniście ułożonych strzępek. Powierzchnia plechy jest biała lub szara, z licznymi, nieregularnymi, zlewającymi się soraliami. Rozsypek rośnie na korze drzew, głównie liściastych w świetlistych lasach, jak i na terenach otwartych.



Fot. 33. Literak właściwy *Graphis scripta* z charakterystycznymi owocnikami przypominającymi stare hieroglify – znaki najstarszego rodzaju pisma starożytnego Egiptu (Fot. P. Sarzyński)

Tworzy cienką, skorupiastą plechę endofloedyczną (wrastającą w martwe komórki korka) lub plechę częściowo zewnętrzną. Powierzchnia plechy jest gładka, czasami nieco nierówna lub ziarenkowata, matowa lub nieco lśniąca, w kolorze białawym, szarym lub szarozielonym. W plesze znajdują się glony z rodzaju *Trentepohlia*. W plesze znajdują się czarne, zagłębione apotecja o wydłużonym kształcie, podobne do kresek lub hieroglifów. Apotecja mają



długość 1-3(8) mm i szerokość 0,2-0,4 (1) mm. Są bardzo zmienne w kształcie, mogą być krótkie lub długie, pojedyncze lub rozgałęzione. Posiadają wąskie, nagie lub przyprószone tarczki, a ich brzeżek jest gładki i wyniesiony nad powierzchnię plechy. Zarodniki są wrzecionowate i proste, zbudowane z 6-16 komórek. Porost rośnie w lasach, na drzewach liściastych o gładkiej korze, głównie w najniższej części pnia.



Fot. 34. Otwornica gorzka *Pertusaria amara* wytwarza bardzo wyraźnie odgraniczone od plechy koliste soralia, czyli skupienia urwisków, które są białe, ziarenkowane i bardzo gorzkie w smaku, nie są jednak trujące. Z powodu tego gorzkiego smaku, dawniej jej plechy były używane jako namiastka chininy (Fot. P. Sarżyński)



Porost o plesze skorupiastej, zazwyczaj dość grubej, o powierzchni szorstkiej, pomarszczonej lub chropowatej, czasami podzielonej na poletka. Plecha ma barwę od jasnoszarej do ciemnoszarej i bardzo gorzki smak. Przedplesze jest jaśniejsze i czasami podzielone na pasemka. Na powierzchni plechy zawsze i licznie występują soralia, pojedynczo lub w grupach, często łączą się z sobą. Pojedyncze soralium ma średnicę 0,2-2 mm, kolisty lub półkolisty kształt i szeroko przylega do plechy. Reakcje barwne: Pd+ czerwony, K-, KC + fioletowo-czerwony. Apotecja pojawiają się bardzo rzadko. Rośnie na korze drzew liściastych w lasach w miejscach dobrze oświetlonych.



Fot. 35. Otocznica lśniąca *Pyrenula nitida* z licznymi owocnikami otoczniami widocznymi na powierzchni plechy w postaci półkolistych, ciemnobrunatnych brodawek (Fot. P. Sarżyński)

Tworzy plechę skorupiastą, cienką, częściowo wrastającą w komórki korka, a częściowo rozwijającą się na powierzchni kory. Plecha jest gładka, lub nieregularnie popękana, szara, brunatna lub oliwkowozielona. Liczne owocniki perytecja (otocznie) są rozproszone lub skupione w grupy po kilka, gdy są młode



są całkowicie zagłębione w plesze, starsze wyniesione, widoczne w postaci półkolistych, ciemnobrunatnych brodawek. Rośnie na gładkiej korze drzew i krzewów liściastych, np. grabu, w dobrze zachowanych lasach grądowych.

W lasach sosnowych (w borach świeżych i borach mieszanych świeżych) Białegostoku (np. w Lesie Pietrasze, Lesie Solnickim, Lesie Bacieczkowskim), na korze sosny zwyczajnej, brzozy brodawkowatej i korze innych drzew pospolite są szaropopielate plechy pustułki pęcherzykowatej *Hypogymnia physodes* (Fot. 36), proszkowate plechy liszajca *Lepraria* sp. Na rozproszonych stanowiskach na korwinie sosny między plechami pustułki pęcherzykowatej rosną plechy płucnicy płotowej *Cetraria sepincola* (Las Bacieczkowski), pustułki rurkowej *Hypogymnia tubulosa* (Las Solnicki, Las Pietrasze, Las Bacieczkowski), popielaka pylastego *Imshaugia aleurites* (Las Bacieczkowski, Las Pietrasze), mąklika otrębiastego *Pseudevernia furfuracea* (Las Bacieczkowski, Las Pietrasze) (Fot. 37), brodaczki kępkowej *Usnea hirta* (Las Bagno). Są to gatunki pospolite, szczególnie w północno-wschodniej Polsce. Na pojedynczych stanowiskach odnotowano trzonecznicę rdzawą *Chaenotheca ferruginea* (Las Pietrasze, Las Solnicki), której plecha jest ziarenkowata, a owocniki (apotecja mazedziowe) wyniesione na trzoneczkach, dorastających do 2 mm wysokości. Na wielu drzewach, w dolnych partiach pni występują plechy chrobotków *Cladonia* (Fot. 38), a w spękaniach kory osiedlają się łuseczkowate plechy paznokietnika ostrygowego *Hypoceno-myce scalaris* (Fot. 39), proszkowate plechy liszajca *Lepraria*. Na korze brzozy, u podstawy pni rosną listkowate plechy płucnika modrego *Platismatia glauca* (Las Solnicki, Las Bagno) (Fot. 40) i złotlinki jaskrawej *Vulpicida pinastri* (Las Bacieczkowski, Las Solnicki, Las Bagno). Złotlinka jest jednym z niewielu porostów rosnących w Polsce, które mają właściwości trujące. Silnie trujący kwas wulpinowy wytwarzany przez ten gatunek porostu był używany do przygotowywania trutek na lisy i wilki.

Porosty sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* i brzozy brodawkowatej *Betula pendula* w lasach Białegostoku



Fot. 36. Pustułka pęcherzykowata *Hypogymnia physodes* z charakterystycznymi soraliami wargowymi na końcach odcinków. Najbardziej rozpowszechniony porost listkowy w Polsce. Prowadzone badania *in vitro* wykazały, że związki z jej plech wykazują wielokierunkowe właściwości biologiczne. Porost ten jest często wykorzystywany, jako gatunek testowy w badaniach bioindykacyjnych do oceny stanu środowiska, w tym zanieczyszczenia powietrza, np. metalami ciężkimi (Fot. J. Kupryjanowicz)

Plecha duża, czasami powyżej 5 cm średnicy, zwykle w postaci regularnej rozetki, szara lub szarozielonkawa (barwa zależy od jej uwilgotnienia). Po przecięciu lub przerwaniu plechy widać w środku wyraźne puste wydrążenie. Soralia powstają na granicy kory górnej i dolnej na końcach odcinków plechy (tzw. soralia wargowe), gdzie widoczne są białawe, mączyste soredia. Dolna strona plechy jest w środku czarna, a na obwodzie brunatna. Owocniki apotecja lekanorowe powstają bardzo rzadko, dorastają do 2-8 mm średnicy. Wyrastają na krótkich, lejkowatych trzoneczkach lub półtrzoneczkach. Mają brązowe tarczki i trwałe, cienkie brzeżek plechowy. Jest gatunkiem kwasolubnym, występuje powszechnie na korze wszystkich gatunków drzew i na drewnie, głównie w lasach.



Fot. 37. Mąklik otrębiasty *Pseudevernia furfuracea* z licznymi, cylindrycznymi wyrostkami (izydiami) na powierzchni plechy. Podobnie jak pustułka pęcherzykowata jest wykorzystywany do biomonitoringu (analizy akumulacji metali ciężkich w plechach w ilościach proporcjonalnych do ich stężeń w powietrzu). Ekstrakty z plech mąklika stosowane są w przemyśle perfumeryjnym we Francji, Maroku (Fot. J. Kupryjanowicz)



Plecha krzaczkowata o odcinkach w kolorze popielatym lub szarym, podwiniętych na brzegach do dołu, z licznymi izydiami. Izydia są wałeczkowate, brodawkowate lub igiełkowate, pojedyncze lub rozgałęziają się koralikowato. Dolna strona plechy o zmiennym kolorze, zazwyczaj ma barwę szaroczną lub czarną, jest rynienkowata, żyłkowana lub pomarszczona. Występuje w lasach i na otwartych przestrzeniach, gdzie rośnie na korze drzew iglastych i liściastych i murszejącym drewnie.



Fot. 38. Chrobotek szydlasty *Cladonia coniocraea* o rożkowatych podecjach, można spotkać go w lasach, jak i na terenach otwartych, oraz na słomianych dachach i drewnianych płotach oraz pustułka pęcherzykowata *Hypogymnia physodes* (Fot. J. Kupryjanowicz)

Plecha dwupostaciowa, plecha pierwotna łuseczkowata, składa się z łuseczek od 3 do 9 mm długości i od 2 do 5 mm średnicy, które są głęboko wcinano-karbowane i często do góry podwinięte. Plecha wtórna to rożkowate lub szydłowate podecja od 8 do 45 mm wysokości, proste lub zagięte, zakończone pojedynczymi tępymi zakończeniami. Plecha ma kolor szarzielony lub zielony. Kora podecjów jest gładka lub brodawkowata tylko u podstawy, czasami pokryta jest łuskami i mączystymi solediami. Na szczycie podecjów występują brązowe pyknidia. Rośnie na próchniejącym drewnie, na pniakach, na korze drzew, głównie u podstawy pni, glebie, zarówno w lasach, jak i na terenach otwartych, czasami na drewnianych konstrukcjach.



Fot. 39. Paznokietnik ostrygowy *Hypocenomyce scalaris* o plesze łusczkowatej wyglądającej jak dachówka lub rybia łuska, porasta najczęściej korę sosen i brzoź, pokrywając ją brunatną warstwą (Fot. J. Kupryjanowicz)

Porost o drobnej, łusczkowatej plesze. Łuski szaro-zielonawe lub zielonkavo-brunatne, do 2 mm długości, zwykle mniejsze, muszelkowato wypukłe, koliste lub o nerkowatym kształcie i zwykle dachówkowato zachodzące na siebie, od spodu białawe, z ziarenkowatymi sorediami na brzegach i na dolnej stronie. Porost światłolubny, rosnący na kwaśnej korze drzew iglastych i liściastych (głównie sosny, świerku, brzozy), w miejscach dobrze nasłonecznionych. Jest odporny na zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego.



Fot. 40. Płucnik modry *Platismatia glauca* o listkowej pleśze zielonawoszarej po deszczu i niebieskawoszarej w czasie suszy, jest gatunkiem, który w skali porostowej pełni rolę wskaźnika wewnętrznej strefy normalnej wegetacji – obszaru o nieznacznie zanieczyszczonym powietrzu (Fot. J. Kupryjanowicz)



Tworzy plechy listkowate, o średnicy 3–10 cm, o nieregularnym kształcie, czasami rozetkowate. Do podłoża plechy przylegają luźno, większa ich część odstaje od podłoża. Plecha jest głęboko wcinana, jej odcinki mają szerokość 0,5–2(3) cm i długość 1–4 cm. Brzegi odcinków są wzniesione i pofałdowane. Górna powierzchnia plechy jest zazwyczaj niebieskawoszara lub zielonawoszara, rzadziej brunatnawo-szara. Na brzegach plechy znajdują się soralia, czasami także wyrastają one na pofałdowanych łatkach. Soralia mają półksiężycowaty kształt, a urwistki początkowo są białe i ziarniste, z czasem stają się brązowe. Dolna strona plechy jest delikatnie żyłkowana, z nielicznymi brązowymi lub czarnymi chwytnikami, w środkowej części plecha jest czarna lub czarnobrunatna, na obwodzie jaśniejsza. Apotecja pojawiają się bardzo rzadko. Rośnie głównie na korze drzew liściastych, w lasach.

Porosty nadrzewne rosnące w parkach i na cmentarzach Białegostoku

W białostockich parkach i na cmentarzach, w miejscach otwartych korę wielu drzew kolonizują gatunki synantropijne, o szerokiej amplitudzie ekologicznej, jak orzast kolisty *Phaeophyscia orbicularis*, obrosty *Physcia* (obrost zmienny i wzniesiony), liszajce *Lepraria*, a także liszajecznik ziarnisty *Candelariella xanthostigma*, brudziec kropkowaty *Amandinea punctata*, złotorost ścienny *Xanthoria parietina*, a także soreniec *Physconia* (s. żółtawy i popielaty), przylepnik łysawy *Melanelixia glabrata*. Pospolite są też pustułka pęcherzykowata *Hypogymnia physodes*, tarczownica brudzkowana *Parmelia sulcata*, rozsypek srebrzysty *Phlyctis argena*, chrobotek strzępiasty *Cladonia fimbriata* (Fot. 41) misecznica jaśniejsza *Lecanora chlorotera* (Fot. 42), m. kasztanowa *L. argentata*, m. grabowa *L. carpinea* (Fot. 43) i inne.



Fot. 41A. Chrobotek strzępiasty *Cladonia fimbriata* (Fot. A. Matwiejuk)



Fot. 41 B. Chrobotek strzępiasty *Cladonia fimbriata* z kieliszkowatymi zakończeniami podecjów przypominającymi czarki. Dość często na brzegach kieliszków wyrastają brązowe owocniki, pojedynczo lub w grupach, które są siedzące lub mają krótkie trzonki (Fot. J. Kupryjanowicz)

Tworzy plechę dwupostaciową, złożoną z plechy pierwotnej w postaci trwałych łuseczek o długości do 6 mm i szerokości do 4 mm. Łuseczki są nieregularnie karbowane, ząbkowane lub zatokowo wycięte. Z plechy pierwotnej wyrastają podecja o wysokości 6–30 mm i szerokości 1–2 mm. Zarówno plecha pierwotna, jak i podecja mają kolor od szarego do zielonkawego. Podecja są pojedyncze, nierozgałęziające się i mają postać „trąbki”, „czarki”, której rozszerzony koniec ma średnicę 2–6 mm. Obrzeża trąbki są postrzępione, a powierzchnia podecjów pokryta jest mącznymi sorediami. Na brzegach kieliszkowato zakończonych podecjów wyrastają owocniki apotecja w kolorze brązowym, pojedyncze lub w grupach po kilka. Powierzchnia podecjów często pozbawiona jest kory lub ma jej śladowe fragmenty w dolnej części. Reakcje barwne: Pd+ czerwone, K-. Rośnie na glebie, korze drzew i murszejącym drewnie, często korzystając z warstwy humusu wkracza na podłoża skalne.



Fot. 42. Misecznica jaśniejsza *Lecanora chlorotera* z licznymi, zwykle skupionymi w środku lub rozproszonymi owocnikami (Fot. J. Kupryjanowicz, A. Matwiejuk)



Tworzy plechy skorupiaste, jednolite lub spękane na areolki lub brodawkowato-areolkowate. Powierzchnia plechy jest żółtawo-biała do żółtawej, szara lub białawo-szara do szarej lub jasno-zielona do zielonkawo-białej, gładka lub szorstka, bez oprószenia, z niewyraźnym brzegiem, z sorediami. Owocniki apotecja lekanorowe są siedzące, zwykle liczne, od 0,4 do 2,5 mm średnicy. Apotecja mogą być skupione w środku, lub rozproszone. Tarczki czerwono-brązowe lub pomarańczowo-brązowe, płaskie, bez oprószenia. Brzeżek w kolorze plechy, cienki lub gruby, trwały, gładki, jednolity lub karbowany. Porost kolonizuje korę drzew liściastych rosnących pojedynczo (np. przy drogach) lub w parkach, cmentarzach, ogrodach.



Fot. 43. Misecznica grabowa *Lecanora carpinea* o charakterystycznych biało oprószonych tarczках owocników (Fot. J. Kupryjanowicz)

Plecha skorupiasta, jednolita lub spękana na areolki, białoszara do szarej lub jasnozielona, białoprószona, gładka, bez sorediów. Owocniki apotecja lekanorowe, siedzące, rozproszone lub skupione, o średnicy od 0,5 do 1,3 mm. Tarczki owocników pomarańczowo-brązowe lub jasnoróżowe do cielistych,



płaskie lub wypukłe, bardzo silnie biało oprószone. Brzeżek plechowy jest oprószone, cienki lub gruby, w kolorze plechy, lekko karbowany lub gładki. Rośnie na korze drzew, głównie liściastych, na drzewach przydrożnych i rosnących pojedynczo, w miejscach świetlistych.

Na cmentarzach i w parkach, na rozproszonych stanowiskach na korze drzew rosną rzadkie, w tym również chronione i zagrożone gatunki, jak mąklik otrębiasty *Pseudevernia furfuracea* (Park Branickich, cmentarz rzymskokatolicki w Dojlidach, cmentarz żołnierzy radzieckich), brodaczka kępkowa *Usnea hirta* (Park Branickich, cmentarz obu wyznań w Starosielcach, cmentarz rzymskokatolicki w Dojlidach), otwornica zwyczajna *Pertusaria albescens* (Park Lubomirskich, cmentarz wojskowy), odnożyca mączysta *Ramalina farinacea* (Park Branickich, cmentarz rzymskokatolicki Św. Rocha) (Fot. 44), brunatka szarozielona *Buellia griseovirens*, otwornica gorzka *Pertusaria amara*, o. szkarłatna *P. coccodes*, odnożyca jesionowa *Ramalina fraxinea* (Park Lubomirskich), wabnica kielichowata *Pleurosticta acetabulum* (cmentarz wojskowy), mąkła tarniowa *Evernia prunastri* (cmentarz wojskowy, cmentarz miejski) (Fot. 45), żółtlica chropowata *Flavoparmelia caperata* (cmentarz miejski, Park Branickich), złotlinka jaskrawa *Vulpicida pinastri* (cmentarz miejski). Wyłącznie w parkach, na korze drzew stwierdzono pojedyncze plechy obrotownicy rzęsowatej *Anaptychia ciliaris* i odnożycy opylonej *Ramalina pollinaria* (Park Lubomirskich) oraz soreńca dachówkowatego *Physconia perisidiosa* (Park im. Jadwigi Dziekońskiej).



Fot. 44. Odnożyca mączysta *Ramalina farinacea* o silnie rozgałęzionej plesze, składającej się ze spłaszczonych odcinków, rośnie na korze drzew liściastych w lasach, parkach oraz na drzewach rosnących pojedynczo, zwłaszcza przydrożnych (Fot. A. Matwiejuk, J. Kupryjanowicz)





Fot. 45. Mąkla tarniowa *Evernia prunastri*, spośród porostów krzaczkowatych jest gatunkiem najbardziej odpornym na zanieczyszczenia powietrza. Jej plechy, w perfumerii noszą tradycyjną nazwę „mech dębowy”. Olejek destylowany z plech mąkli jest stosowany do produkcji wód po goleniu, męskich dezodorantów, a także jako olejek do lamp zapachowych (Fot. J. Kupryjanowicz)



Plecha osiąga długość i szerokość od 3 do 10 cm, jest krzaczkowato – listkowata, zwisająca lub odstająca od podłoża, rozgałęziona nieregularnie, szaro-zielonawa lub żółto-zielonawa, w dotyku miękka. Dolna strona plechy zawsze jaśniejsza od górnej. Soralia zwykle wykształcone, pojedyncze lub zlewające się w większe grupy, białawe, obecne na brzegach odcinków. Rośnie najczęściej na samotnych drzewach lub w parkach, czasami także w świetlistych lasach, głównie na drzewach liściastych, rzadziej iglastych. Gatunek umieszczony na Czerwonej liście porostów w Polsce, w kategorii NT – bliski zagrożeniu (Cieśliński i in. 2006).

Porosty nadrzewne rosnące na drzewach przydrożnych i terenach otwartych Białegostoku

Korę drzew przydrożnych oraz rosnących na skwerach osiedlowych i na terenach otwartych w peryferyjnych obszarach miasta pospolicie zasiedlają: złotorost ścienny *Xanthoria parietina* (Fot. 46), gatunki z rodzaju złotorostka *Polycauliona*, orzast *Phaeophyscia*, obrost *Physcia* (Fot. 47-48), soreniec *Physconia* (Fot. 49), przylepnik *Melanelixia* (Fot. 50), przylepniczka *Melanohalea*, liszajecznik ziarnisty *Candelariella xanthostigma* (Fot. 51), amylka *Lecidella*. Miejscami całe pnie drzew porośnięte są różnobarwnymi mozaikami porostów, z dominacją żółci od plech złotorostu, złotorostki lub liszajecznika lub szarości od plech orzastów i obrostów.



Fot. 46. Złotorost ścienny *Xanthoria parietina* o żywej, żółtopomarańczowej pleśze jest gatunkiem azotolubnym, często spotykanym na obszarach zaludnionych i rolniczych. Gatunek pospolity w całym kraju, miejscami rośnie masowo (Fot. J. Kupryjanowicz, A. Matwiejuk)

Tworzy listkowatą, rozetkowatą lub nieregularną plechę, osięgającą szerokość 2-10 cm, wyjątkowo do 20 cm. Jej górna powierzchnia ma w miejscach dobrze oświetlonych intensywnie żółtą lub żółtopomarańczową barwę, w zacienionych jest żółtozieloną lub szarozieloną. Plecha jest głęboko wcinana, jej odcinki są gładkie lub pomarszczone i mają szerokość do 5 mm. Plecha ściśle przylega do podłoża, wznoszą się tylko jej brzegi. Dolna powierzchnia plechy jest



pomarszczona lub żyłkowana i biaława, żółtawe są tylko jej brzegi, bez chwytników. Nie tworzy sorediów i izydiów. Na powierzchni plechy występują liczne apotecja lekanorowe. Mają średnicę od 1 do 6 mm i ciemniejsze od plechy tarczki o barwie od żółto-pomarańczowej do brunatno-pomarańczowej. Brzeżek plechowy tarczki jest w kolorze plechy, jest gładki lub karbowany. Gatunek azotolubny, rośnie na korze drzew liściastych, rzadziej iglastych, na drewnie, betonie.



Fot. 47. Obrost gwiazdkowaty *Physcia stellaris* z licznymi owocnikami o czarniawych tarczkach niebieskawo oprószonych. Gatunek szeroko rozpowszechniony, w Polsce występuje na terenie całego kraju (Fot. J. Kupryjanowicz)



Plecha może tworzyć regularne rozetki nawet do 8 cm średnicy, o jasnoszarych odcinkach przylegających do podłoża. Owocniki apotecja są prawie zawsze wykształcone (do 5 mm średnicy), o tarczках czarniawych, najczęściej niebieskawo przyprószonych. Plecha bardzo podobna do plechy obrotu sinawego *Physcia aipolia*, ale bez białawych plamek na powierzchni. Porost światłolubny, często spotykany na korze drzew liściastych (wierzb, topól, jesionów) rosnących pojedynczo.



Fot. 48. Obrost wzniesiony *Physcia adscendens* z charakterystycznymi hełmiasto uwypuklonymi zakończeniami plechy. W Polsce gatunek pospolity. Czasami na jego plesze występuje pasożytniczy grzyb w postaci różowych grudek (Fot. J. Kupryjanowicz)

Plecha tworzy zwykle murawkowate skupienia. Składają się na nią drobne (do 1 cm dł.) odcinki, które na końcach są rozszerzone, wzniesione i charakterystycznie hełmikowato uwypuklone, z białawymi soraliami na dole uwypukleń, a na brzegach z licznymi długimi rzęskami. Dolna strona plechy jest jasna, z pojedynczymi chwytnikami. Owocniki apotecja są rzadko spotykane. Porost światłolubny, azotolubny i pyłolubny, pospolity, rośnie na korze samotnych i przydrożnych drzew liściastych, a także na martwym drewnie i betonie.



Fot. 49. Soreniec popielaty *Physconia grisea* ma na brzegach listkowej plechy białawe soralia o tasiemkowatym kształcie. Plecha gdy jest wilgotna ma kolor zielony, a gdy jest sucha szary (Fot. J. Kupryjanowicz)

Plecha jest listkowata, zwykle duża (do 8-10 cm średnicy), bardzo zmienna, rozetkowata lub nieregularna, szara (w różnych odcieniach), zawsze biało lub niebieskawo oprószona. Odcinki plechy są wąskie (do 3 mm średnicy), pokryte soraliami, bez izydiów. Na brzegach odcinków występują białawe, żółtawe lub szare soralia o tasiemkowatym kształcie, które w części środkowej czasami łączą się ze sobą. Soredia ziarenkowane, niekiedy tak liczne, że pokrywają większą część plechy. Dolna strona plechy biaława lub jasnobrunatna, z jasnymi, pojedynczymi lub widełkowato rozgałęzionymi chwytnikami. Owocniki są bardzo rzadko spotykane, mają średnicę do 2 mm i czarne tarczki oraz brzeżek plechowy karbowany i z sorediami. Zarodniki są dwukomórkowe, brunatne. Miąższ nie barwi się od K. Rośnie na korze drzew, głównie liściastych, rzadziej na drewnie. Preferuje głównie drzewa przydrożne lub rosnące pojedynczo. Można go pomylić z soreńcem żółtawym *Physconia enteroxantha*. Oba gatunki różnią się od siebie następującymi cechami: chwytnikami, zabarwieniem dolnej strony plechy, a także barwieniem miąższu od K-.



Fot. 50. Przylepnik łąsawy *Melanelixia glabrata* ma liczne, starte lub połamane izydia, a jego oliwkowobrunatna plecha przywiera do podłoża nieznacznie i ma podniesione końce na zakończeniach (Fot. J. Kupryjanowicz)



Plecha listkowata, o zielonkawej lub oliwkowobrunatnej barwie, często silnie błyszcząca, z licznymi izydiami, które często pokrywają większą część plechy, bez soraliów. Izydria często ulegają połamaniu i starciu. Dolna strona plechy jest czarna, z licznymi czarnymi chwytnikami. Apotecja są rzadko wykształcone, niewielkie (do 5 mm średnicy), o brunatnych tarczach i cienkim brzeżku barwy plechy. Porost spotykany w lasach i na terenach otwartych. Rośnie na korze drzew liściastych, wyjątkowo iglastych, zarówno w lasach, parkach, cmentarzach, jak i na drzewach przydrożnych.



Fot. 51. Liszajecznik ziarnisty *Candelariella xanthostigma* rośnie w postaci drobnych, żółtych ziarenek, zwykle rozproszonych na podłożu. Gatunek pospolity na terenie całego kraju (Fot. J. Kupryjanowicz)

Plecha skorupiasta, ziarenkowata, składa się z rozproszonych, cylindrycznych lub kulistych, drobnych ziarenek o średnicy 0,03-0,06 mm (wyjątkowo do 0,1 mm), co oznacza, że na 1 mm mieści się ich ok. 10-30 sztuk. Są one mniej lub bardziej rozproszone lub zbite. Mają barwę od żółtej do żółtozielonkawej. Reakcje barwne: K-, Pd-. Soredia nie występują, rzadko występują koliste apotecja lekanorowe o średnicy 0,2-0,4 mm. Rośnie głównie na korze drzew liściastych, rzadko iglastych i na murszejącym drewnie. Preferuje drzewa rosnące samotnie, np. w parkach, cmentarzach.

Na korowinie wielu drzew przydrożnych rosnących w centrum miasta identyfikowano głównie plechy brudźca kropkowatego *Amandinea punctata* (Fot. 52), misecznicy proszkowatej *Lecanora conizaeoides*, paznokietnika ostrygowego *Hypocenomyce scalaris*, liszajca *Lepraria* sp., orzastu kolistego *Phaeophyscia orbicularis*, obrostu gwiazdkowatego *Physcia stellaris*, o. wznie-sionego *P. adscendens*, szadźca ciemnozielonego *Scoliciosporum chlorococ-cum*, złotorostu ściennego *Xanthoria parietina* oraz pojedyncze plechy pustułki pęcherzykowatej *Hypogymnia physodes* i tarczownicy bruzdkowanej *Parmelia sulcata* (Fot. 53). Są to gatunki odporne na niekorzystne warunki, jakie panują w centrum miasta.



Fot. 52. Brudziec kropkowaty *Amandinea punctata* jest jedynym w Polsce porostem z tego rodzaju, o skorupiastej, szarej plesze z licznymi, czarnymi apotecjami (Fot. J. Kupryjanowicz)

Porost o skorupiastej lub proszkowatej, szarej plesze, gładkiej albo grzełkowej, cienkiej. Apotecja lecideowe zawsze obecne, liczne, rozproszone lub w skupieniach, czarne, do 0,6 mm średnicy, kolisty, płaskie lub lekko wypukłe. Brzeżek własny czarny, cienki, rzadko trwałe, częściej wcześniej zanikający. Tarczki czarne, oprószone, płaskie, szybko stają się wypukłe. Zarodniki dwukomórkowe, lekko brązowe. Porost azotolubny, światłolubny i pyłolubny, odporny na zanieczyszczenia. Występuje głównie na korze drzew, przede wszystkim liściastych, rzadziej iglastych i na drewnie.



Fot. 53. Tarczownica bruzdkowana *Parmelia sulcata* z charakterystyczną siateczką, wydłużonych, białych pseudocyfelli na powierzchni plechy i pustułka pęcherzykowata *Hypogymnia physodes*. Gatunek miał zastosowanie w medycynie ludowej, przy leczeniu chorób układu oddechowego. Jest pospolity w całym kraju (Fot. J. Kupryjanowicz)



Plecha listkowata, rozetkowata lub nieregularna, zwykle do kilku centymetrów średnicy, ale może być znacznie większa (do 20 cm), jasnoszara do szarozielonej, czasami białawo przyprószone, często z niebieskawym odcieniem, z owalnymi lub wydłużonymi, siateczkowatymi pseudocyfellami. Barwa plechy wyraźnie zależy od pogody i jej stanu uwilgotnienia. Soralia są wydłużone, rozmieszczone na brzegach odcinków lub na siateczkowatych wzniesieniach pseudocyfelli. Dolna strona plechy jest czarna, z licznymi czarnymi, szczoteczkowatymi chwytnikami. Porost rośnie głównie na korze drzew liściastych, rzadziej iglastych, w lasach i na terenach otwartych.

Różnorodność forofiów, na korze których odnotowano porosty w Białymstoku

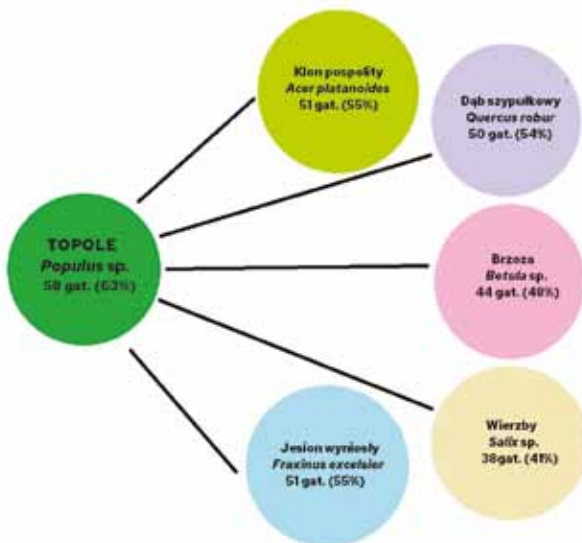
Białystok jest miastem, gdzie na jego terenach zabudowanych najczęściej drzew rośnie w centrum. Wiele drzew występuje tu na skwerach, w parkach oraz przy ulicach. Najmniej drzew stwierdzono w peryferyjnych dzielnicach mieszkaniowych.

W dendroflorze Białegostoku obecne są zarówno drzewa rodzime, jak i obcego pochodzenia. Szata porostów drzew iglastych, np. świerka *Picea*, miejscami także sosny *Pinus* i modrzewia *Larix* jest stosunkowo uboga. Natomiast na korze drzew i krzewów liściastych nie obserwuje się wyraźnej preferencji do zasiedlanego gatunku forofitu. Większe zróżnicowanie gatunkowe wykazują drzewa rodzime na terenie Białegostoku, np. topole *Populus* (t. osika *P. tremula*, t. biała *P. alba*, t. czarna *P. nigra*) – 58 gatunków porostów, jesion wyniosły *Fraxinus excelsior* i klon pospolity *Acer platanoides* – po 51, dąb szypułkowy *Quercus robur* – 50, lipa drobnolistna *Tilia cordata* – 31, grab pospolity *Carpinus betulus* – 27, sosna zwyczajna *Pinus sylvestris* – 26 niż drzewa obcego pochodzenia (Tab. 9, 10, Ryc. 44, 46). Drzewa rodzime są szeroko rozpowszechnione w mieście i rosną w zróżnicowanych warunkach siedliskowych.

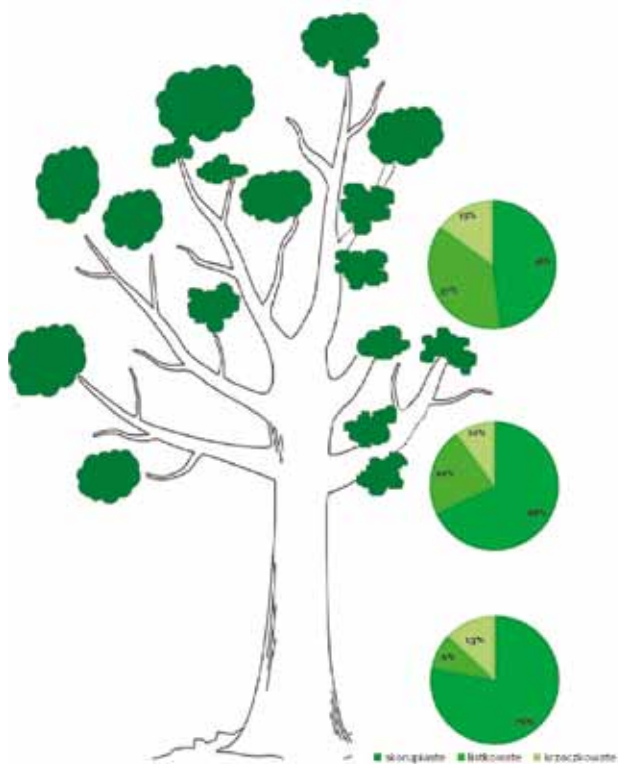
Tab. 9. Najważniejsze gatunki drzew rodzimych jako forofity Białegostoku i liczba gatunków porostów je zasiedlająca

Gatunek drzewa	Liczba gatunków porostów
Topole <i>Populus</i> spp.	58
Klon pospolity <i>Acer platanoides</i>	51
Jesion wyniosły <i>Fraxinus excelsior</i>	51
Dąb szypułkowy <i>Quercus robur</i>	50
Brzozy <i>Betula</i> spp.	44
Wierzby <i>Salix</i> spp.	38
Lipy <i>Tilia</i> spp.	31
Grab pospolity <i>Carpinus betulus</i>	27
Sosna zwyczajna <i>Pinus sylvestris</i>	26
Olsza czarna <i>Alnus glutinosa</i>	25
Wiąz szypułkowy <i>Ulmus laevis</i>	15
Świerk pospolity <i>Picea abies</i>	10

Analizując biotę porostów poszczególnych drzew, np. jesionu wyniosłego zaobserwowano, że na pniu, wraz z jego wysokością zmieniał się udział form morfologicznych plech porostów (Ryc. 45). U nasady pnia dominowały porosty o plechach skorupiastych. Wraz z wysokością, ich udział zmniejszył się na rzecz porostów listkowatych i krzaczkowatych. W koronie drzew wyraźnie jest większy udział porostów światłolubnych o plechach listkowatych i krzaczkowatych. Panują tu swoiste warunki mikroklimatyczne, większa wilgotność powietrza oraz większe naświetlenie w postaci docierającego światła rozproszonego.



Ryc. 44. Porównanie liczby gatunków porostów zasiedlających sześć najważniejszych forofitów rodzimych w krajobrazie miasta i zestawienie procentowe udziału lichenobioty nadrzewnej danego drzewa w odniesieniu do udziału wszystkich gatunków porostów epifytycznych Białegostoku



Ryc. 45. Udział form morfologicznych porostów w różnych partiach pnia jesionu wyniosłego *Fraxinus excelsior*

Na terenie miast często wprowadza się gatunki drzew obcego pochodzenia. U podstaw tej introdukcji leżą głównie względy estetyczne (parki, ogrody, skwery, szpalery drzew przydrożnych). Jednym z podstawowych wyznaczników wprowadzenia takich gatunków jest przeżywalność osobników w czasie mroźnych zim. W szacie roślinnej miast udział gatunków obcego pochodzenia jest znaczny i ciągle rośnie. Są tam gatunki od dawna u nas zadomowione, jak kasztanowce, robinie i inne. Szczególniej uwagi wymagają gatunki inwazyjne, które mogą wypierać gatunki rodzime. Nie poznane są jeszcze długofalowe skutki zdominowania zieleni miejskiej przez gatunki obce.

Na terenie Białegostoku obok drzew rodzimych, rośnie wiele gatunków drzew obcego pochodzenia (ponad 40). Wśród nich dominują przedstawiciele rodziny sosnowate Pinaceae – 10 gatunków, cyprysowate Cupressaceae – 4, klonowate Aceraceae i oliwkowate Oleaceae – 3. Większość drzew rośnie na terenie parków (np. choina kanadyjska *Tsuga canadensis*, dąb czerwony *Quercus rubra*, jesion szerokolistny *Fraxinus latifolia*, j. pensylwański *F. pennsylvanica*, jodła kalifornijska *Abies concolor*, kasztanowiec czerwony *Aesculus × carnea*, k. zwyczajny *A. hippocastanum*, korkowiec amurski *Phellodendron amurense*, meta-sekwoja chińska *Metasequoia glyptostroboides*, parczelina trójlistkowa *Ptelea trifoliata*, sosna czarna *Pinus nigra*, świerk kłujący *Picea pungens*, żywotnik zachodni *Thuja occidentalis*), na cmentarzach (np. kasztanowiec zwyczajny, cyprysik Lawsona *Chamaecyparis lawsoniana*, c. groszkowy *C. pisifera*, jałowiec skalny *Juniperus scopulorum*, robinia akacjowa, żywotnik zachodni), na skwerach (np. jodła koreańska *Abies koreana*, lilak pospolity *Syringa vulgaris*, oliwnik wąskolistny *Elaeagnus angustifolia*, orzech włoski *Juglans regia*, sumak octowiec *Rhus typhina*, surmia bigoniowa *Catalpa bignonioides*), przy drogach (np. kasztanowiec zwyczajny, daglezia zielona *Pseudotsuga menziesii*, klon jesionolistny *Acer negundo*, k. srebrzysty *A. saccharinum*, lipa srebrzysta *Tilia tomentosa*, robinia akacjowa), jako drzewa użytkowe (np. orzech włoski *Juglans regia*, jabłoń purpurowa *Malus × purpurea*) i w lasach (czeremcha amerykańska *Padus serotina*, sosna czarna, robinia akacjowa).

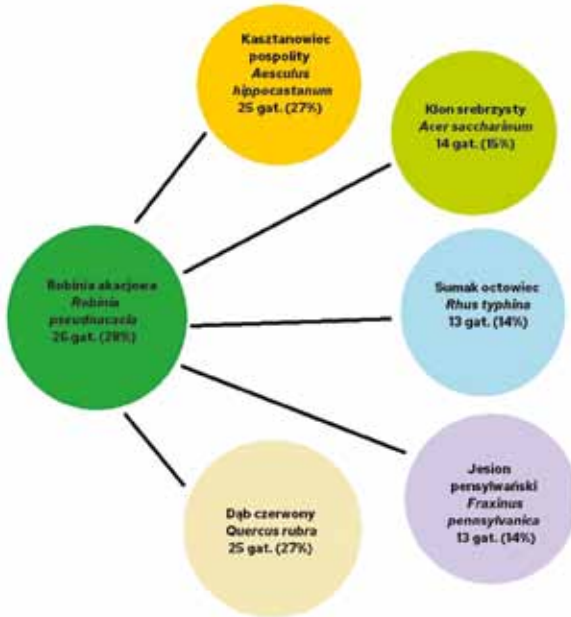
Na terenie Białegostoku, tylko nieliczne drzewa obcego pochodzenia występują często i masowo. Są to przede wszystkim: kasztanowiec zwyczajny, robinia akacjowa, klon jesionolistny, jesion pensylwański, żywotnik zachodni. Inne notowane są tylko na pojedynczych stanowiskach (gledicja trójcierniowa, meta-sekwoja chińska, korkowiec amurski, parczelina trójlistkowa, choina kanadyjska i inne). Pochodzenie drzew rosnących na terenie stolicy Podlasia jest bardzo zróżnicowane, oprócz okazów krajowych można odszukać drzewa z Ameryki Północnej, Azji, Europy Południowej i Zachodniej. Większość drzew to gatunki północnoamerykańskie (22 gatunki), wywodzące się z obszaru o wyraźnie zbliżonych warunkach klimatycznych. Przeprowadzone badania lichenologiczne wykazały obeność 41 gatunków porostów na korze drzew obcego pochodzenia.

Wśród porostów odnotowanych na ich korze, połowa taksonów to porosty listkowate. Najczęściej reprezentowanymi rodzajami porostów są misecznica (6 gatunków) i obrost (5), a także chrobotek (3) i pustułka (2). Największe zróżnicowanie gatunkowe odnotowano na korze robinii akacjowej (26 gatunków), kasztanowca zwyczajnego i dębu czerwonego (po 25), klonu srebrzystego (14), sumaka octowca i jesionu pensylwańskiego (po 13), korkowca amurskiego (12) i żywotnika zachodniego (11) (Tab. 10, Ryc. 46). Na największej liczbie gatunków forofitów wykazano następujące gatunki porostów: obrost zmienny (33 gatunki), orzast kolisty i złotorost ścienny (po 21), tarczownica bruzdkowana (18), obrost wzniesiony (17), liszajecznik ziarnisty (16). Gatunkami przywiązanymi do jednego gatunku forofitu są: chrobotek siwy i amyłka oliwkowa (robinia akacjowa), misecznica kasztanowata (klon jesionolistny), misecznica bledsza i obrost modry (kasztanowiec zwyczajny), nocotnik Hagena (korkowiec amurski), płucnica płotowa (sosna czarna), płucnik modry i brodaczka kępkowa, żółtlca chropowata (dąb czerwony). Obecność drzew obcego pochodzenia na terenie miasta zwiększa bioróżnorodność porostów. Jednak większe zróżnicowanie gatunkowe wykazują drzewa rodzime na terenie Białegostoku. Wobec tego gatunki rodzime „górują” jako forofity nad drzewami obcymi.

Tab. 10. Najważniejsze gatunki drzew obcego pochodzenia jako forofity i liczba gatunków porostów je zasiedlająca

Gatunek drzewa	Liczba gatunków porostów
Robinia akacjowa <i>Robinia pseudoacacia</i>	26
Kasztanowiec pospolity <i>Aesculus hippocastanum</i>	25
Dąb czerwony <i>Quercus rubra</i>	25
Klon srebrzysty <i>Acer saccharinum</i>	14
Sumak octowiec <i>Rhus typhina</i>	13
Jesion pensylwański <i>Fraxinus pennsylvanica</i>	13
Korkowiec amurski <i>Phellodendron amurense</i>	12
Żywotnik zachodni <i>Thuja occidentalis</i>	11

Drzewa rodzime, jak i obcego pochodzenia rosnące w parkach, na skwerach, cmentarzach, przy drogach, aleje drzew to tradycyjne elementy krajobrazu miejskiego. Drzewa te stanowią ważne siedliska dla porostów, i wspierają bioróżnorodność na terenach miejskich. Bogactwo gatunkowe epifitów zależy od gatunku forofitu. Kora poszczególnych gatunków drzew ma odmienne właściwości chemiczne i fizyczne, różny relief (rzeźbę). Warunki ekologiczne na korze



Ryc. 46. Porównanie liczby gatunków porostów zasiedlających sześć najważniejszych forofitów obcego pochodzenia w krajobrazie miasta i zestawienie procentowe udziału lichenobioty nadrzewnej danego drzewa w odniesieniu do udziału wszystkich gatunków porostów epifitycznych Białegostoku

drzew zmieniają się od podstawy pni do koron drzew. Nasada pnia, szczeliny w korze wypełnione są humusem, na którym chętnie rosną naziemne chrobotki *Cladonia*. Skład gatunkowy porostów nadrzewnych zależy również od warunków siedliskowych, czy drzewa rosną w cienistych, czy w świetlistych lasach, czy na terenach otwartych, przy drogach, czy na terenach przemysłowych czy rolniczych? itd. Drzewa rosnące przy drogach często poddawane są działaniu wielu czynników antropogenicznych, takich jak zapylenie, zasolenie, mechaniczne uszkodzenia itp. W związku z tym na ich korze często rosną gatunki światłolubne, pyłolubne i azotolubne. Plechy porostów zasiedlają już drzewa kilkuletnie. Zwykle jako pierwsze pojawiają się porosty o plechach skorupiastych, a w ciągu kolejnych kilku do kilkunastu lat pnie i gałęzie drzew kolonizowane są przez inne formy morfologiczne – listkowate i krzaczkowate. Plechy porostów nie szkodzą drzewom, traktują je jako podłoże do vegetacji. Nie pobierają składników pokarmowych, ani wody. Strzępki mykobionta wrastają w martwą tkankę korkową (korek) drzewa. Wtórne metabolity porostowe chronią korwinę drzewa przed rozwojem wielu patogenów. Porosty epifityczne są bardzo wrażliwe na wszelkie zmiany w środowisku, w tym na zanieczyszczenia powietrza, eutrofizację, zmiany klimatyczne, zmiany w składzie gatunkowym drzewostanów w zbiorowiskach leśnych, zmiany warunków siedliskowych. Podczas spaceru warto zwrócić uwagę na porosty rosnące na korze drzew, ponieważ to one świadczą o dobrej kondycji środowiska, a także o naszym zdrowiu.

3.3.2. Charakterystyka porostów naskalnych

Naturalnie zasiedlanym podłożem przez porosty są skały. Dzięki wtórnym metabolitom porostowym, które mają silne działanie chelatujące, plechy epilitorów rozpuszczają skałę. Porosty mogą penetrować skałę nawet na głębokość centymetra. Porosty naskalne dzielą się na dwie odrębne grupy ekologiczne: 1. porosty zasiedlające skały bezwapienne oraz 2. gatunki wapieniolubne. Mało jest gatunków, które rosną na obu typach skał. W warunkach naturalnych epility występują na skałach, gołoborzach, rumowiskach skalnych w górach, na wychodniach skalnych na wyżynach oraz na głazach narzutowych, kamieniach i kamykach na niżu i itp. Do rozpowszechnienia niektórych gatunków porostów epilitycznych przyczynił się człowiek, tworząc sztuczne (antropogeniczne) podłoża skalne: beton, tynki, dachówki, cegły, eternit, itp.

Powszechność siedlisk skalnych na terenie miasta powoduje, że epility są porostami szeroko rozpowszechnionymi. Spośród 54 gatunków epilitycznych – 38 to gatunki wyłączne dla tego typu podłoży. Na terenie Białegostoku, wśród porostów naskalnych najliczniej reprezentowaną grupą siedliskową są gatunki zasiedlające podłoże antropogeniczne. Zajmowane przez epility skalne substraty antropogeniczne stają się głównymi podłożami umożliwiającymi rozwój tej grupie porostów na terenach pozbawionych naturalnych podłoży skalnych. Charakteryzują się one szeroką amplitudą ekologiczną i wykazują dobrą żywotność. Są to porosty, które dzięki człowiekowi powiększają swoje zasięgi, zasiedlając antropogeniczne podłoża pionierskie. Często pokrywają duże powierzchnie, zwłaszcza na tynkach starych domów, zaprawie murarskiej, murach, podmurówkach i słupach. Wiele z nich to gatunki pospolite w skali kraju. Należą do nich: liszajecznik złocisty *Candelariella aurella*, namurnik cytrynowy *Flavoplaca citrina*, nocotnik białawy *Myriolecis albescens*, n. pospolity *M. dispersa*, orzast kolisty *Phaeophyscia orbicularis* (Fot. 54), obrost modry *Physcia caesia*, rozetnik murowy *Protoparmeliopsis muralis* (Fot. 55), pysznorost wspaniały *Rusavskia elegans*, setniczka zwyczajna *Sarcogyne regularis*, brodawnica *Verrucaria* sp. (Fot. 56), złotorost ścienny *Xanthoria parietina*, żółtaczek zwodniczy *Calogaya decipiens*, ż. drobny *C. pusilla*. Niektóre z nich są bardzo ekspansywne i charakteryzują się szybkim tempem wzrostu. Już po kilku latach od wprowadzenia do środowiska betonowej konstrukcji kolonizują ją plechy wielu gatunków porostów. Wśród taksonów pionierskich zdecydowanie przeważają porosty o plechach skorupiastych, np. z rodzaju *Myriolecis*, *Candelariella*. Dużą część porostów epilitycznych charakteryzuje światłolubność, wapieniolubność, azotolubność i pyłolubność.



Fot. 54. Orzast kolisty *Phaeophyscia orbicularis* to pospolity gatunek o szerokim spektrum zasiedlanych podłoży, spotykany zarówno na betonie, kamieniach, jak i na korze drzew, na murszejącym drewnie (plecha ciemnoszara) oraz obrast wzniesiony *Physcia adscendens* (plecha jasnoszara) (Fot. J. Kupryjanowicz)

Tworzy plechy listkowate, rozetkowate (plechy młode), szare, szarozielone do prawie czarnych, często brązowaciejące, bez izydiów, z soraliami. Soralia są okrągłe lub płatowate i mają barwę białozieloną, żółtą, szarą, czarnozieloną lub czarnobrunatną, czasami (rzadko) zdarzają się również o barwie pomarańczowej. Plecha składa się z wielu odcinków o szerokości 0,2–2 mm, które są pierzasto lub nieregularnie wcinane, płaskie, lub nieco wypukłe. Odcinki stykają



się brzegami, zachodzą na siebie, lub są oddalone od siebie. Dolna strona plechy jest czarna i przymocowana jest do podłoża licznymi chwytnikami. Apotecja często występują, mają brunatne lub czarne tarczki. Porost azotolubny, pyłolubny i światłolubny, często spotykany na korze drzew liściastych, bardzo często na drzewach przydrożnych, ale także na drewnie i betonie.



Fot. 55. Rozetnik murowy *Protoparmeliopsis muralis* charakteryzuje się dużą zmiennością, kolonizuje podłoża betonowe, jak i skały. Jest pospolitym porostem występującym na całym świecie. Tworzy wiele odmian chemicznych (Fot. J. Kupryjanowicz)

Tworzy plechy rozetkowane lub nieregularne, dorastające do 10 cm średnicy, o powierzchni aerolkowatej, skorupiastej lub łusczkowatej. Plecha jest złożona z promieniście ułożonych odcinków pojedynczych lub kilkakrotnie podzielonych, o długości 2-4 mm, szczególnie dobrze widocznych na obwodzie rozetki. Powierzchnia górna plechy jest nieco błyszcząca lub woskowata,



jednolita lub spękana, szaro-żółto-zielona do jasno-zielonkawo-żółtej lub szarożółtej. Powierzchnia dolna plechy ma barwę od białawej przez żółtawą do brązowej, czasami na niektórych odcinkach jest niebiesko-zielona do czarnej. W środkowej części plechy występują liczne owocniki apotecja lekanorowe. Gatunek preferujący podłoża betonowe, rzadko drewniane.



Fot. 56. Brodawnica *Verrucaria* sp. o ciemnej, czarnej plesze popękanej na areolki, z zagłębionymi w nich całkowicie lub częściowo owocnikami (Fot. J. Kupryjanowicz)

Tworzy plechy skorupiate, gładkie lub popękane na areolki, czarne, brązowe, brązowo-czarne, ciemno-oliwkowe. Licznie występują owocniki – perytecja, prawie całkowicie lub przynajmniej częściowo zagłębione w plesze. Rośnie na skałach, betonie.

Betonowe konstrukcje stwarzają dogodne warunki dla wegetacji wielu gatunków porostów na terenach zabudowanych. Doskonałym podłożem są betonowe słupy, słupki, murki, tynki, dachówki, nagrobki, pomniki i itp. Często ich powierzchnie pokryte są kolorowymi mozaikami porostów, wśród których dominują skorupiate, plakodiowe i listkowate plechy żółtych złotorostów, żółtaczek, namurników, czy też szarych obrostów, orzastów i rozetników. Porosty zasiedlają również ceramiczne dachówki na dachach i ogrodzeniach.

Na terenie miasta, znacznie mniej gatunków porostów epilitycznych odnotowano z podłoży granitowych, dostępnych jako kamienne słupki, murki i nagrobki oraz jako wolno leżące głazy i kamienie. Typowe dla obszarów miejskich jest występowanie większej liczby pospolitych gatunków azotolubnych i pyłolubnych na eratykach. Do nich zaliczają się obserwowane również w Białymstoku: wielosporek brunatny *Acarospora fuscata*, o brunatnej, areolkowano-łuseczkowatej plesze, liszajecznik żółty *Candelariella vittelina* o żółtej, ziarenkowej plesze (Fot. 57), amyłka znaczone *Lecidella stigmataea*, której plecha jest szara, gładka z licznymi czarnymi apotecjami, orzast kolisty *Phaeophyscia orbicularis* o listkowatej, rozetkowej plesze, obrost wzniesiony *Physcia adscendens* z licznymi hełmiasto wygiętymi soraliami na brzegach odcinków, o. modry *P. caesia* o niebieskawoszarej plesze, przylepnik okopcony *Melanelixia fuliginosa* o ciemno-brązowej plesze. Rzadkimi gatunkami w mieście, wyłącznie występującymi na kamieniach i kamiennych konstrukcjach są misecznicza skalna *Lecanora rupicola*, żeluczka izydiowa *Xanthoparmelia conspersa* (Fot. 58), ż. Delisa *X. delisei*, ż. brunka *X. loxodes*, wzorzec ograniczony *Rhizocarpon reductum*, w. pospolity *R. distinctum*.



Fot. 57. Liszajecznik żółty *Candelariella vitellina* często rośnie na podłożu skalnym, w miejscach zapylnych i bogatych w azot (Fot. J. Kupryjanowicz)

Plecha skorupiasta, areolkowata, zmienna, zielono-żółta do pomarańczowo-żółtej. Złożona jest z poduszczkowatych areolek, o średnicy do 5 mm, pojedynczych lub skupionych lub ziarenek o średnicy do 0,3 mm, występujących pojedynczo lub w grupach do 2 mm średnicy. Owocniki apotecja lekanorowe



zazwyczaj są liczne. Tarczki owocników są ciemniejsze niż plecha, okrągłe, płaskie, z wiekiem stają się nieco wypukłe. Rośnie na skałach wapiennych i krzemianowych, drewnie oraz rzadko na korze drzew u podstawy pnia.



Fot. 58. Żółuczka izydiowa *Xanthoparmelia conspersa*, młoda plecha, porośnięta w części centralnej zielonym nalotem glonów. Ekstrakty z jej plech wykazują działanie przeciwnowotworowe (Fot. J. Kupryjanowicz)

Plecha listkowata, rozetkowata lub nieregularna, duża, osiągająca średnicę do 20 (-40) cm. Jest nieregularnie lub wielokrotnie pierzasto wcinana. Poszczególne odcinki plechy mają szerokość do 1 cm, stykają się lub zachodzą na siebie. Górna powierzchnia plechy ma barwę żółtawą, żółto zielonkawą lub szarozieloną i jest nieco błyszcząca. Pokryta jest licznymi izydami brodawkowatymi lub wałeczkowatymi, szczególnie w części środkowej. Plecha bez pseudocyfelli i soraliów. Dolna powierzchnia plechy w środkowej części jest czarna, na obrzeżach jasnobrunatna lub brunatna. Do podłoża przytwierdza się licznymi, czarnymi chwytnikami. Na powierzchni plechy występują często liczne apotecja lekanorowe o średnicy do 8 mm, o brunatnych taczkach i brzeżku w kolorze plechy. Rośnie głównie na dobrze oświetlonych skałach krzemianowych.

Najbogatszą biotę epilityczną w Białymstoku posiadają kamienne i betonowe nagrobki cmentarzy. Szczególnie bogata w gatunki jest biota porostów na kamiennych macewach i betonowych sarkofagach pochodzących z XIX wieku cmentarza żydowskiego, położonego przy ulicy Wschodniej. Cmentarz został oficjalnie założony w 1892 roku. W 1906 roku pochowano na nim ofiary pogromu żydowskiego dokonanego przez Polaków i Rosjan. Ostatni pochówek miał miejsce w 1969 roku. Na cmentarzu o powierzchni 12,5 ha zachowało się około 5 000 nagrobków, z których najstarszy pochodzi z 1876 roku.

Nagrobki cmentarza żydowskiego są dobrym siedliskiem dla rozwoju porostów (33 gatunków). Tworzą one ugrupowania zdominowane przez jeden lub kilka gatunków i zajmują znaczne powierzchnie macew. Pospolicie rosną wielokopelchowe żółuczki *Xanthoparmelia*: żółuczka izydiowa, ż. brunka i ż. Delisa. Ponadto rosną tu liczne porosty skorupiaste, jak wielosporek brunatny *Acarospora fuscata*, którego areolkowana plecha często tworzy wyraźne brązowe łatki, liszajecznik żółty *Candelariella vitellina* z żółtawymi plamkami znacząca powierzchnie kamieni, misecznica zwyczajna *Lecanora polytropa*, której jasne, szarawe, drobne miseczki wyrastają z niepozornej, trudno dostrzegalnej plechy, krążniczka brunatnoczarna *Lecidea fuscoatra* z licznymi areolkami skupionymi lub oddzielonymi od siebie i z czarnymi owocnikami, kamusznik pospolity *Porpidia crustulata* o zanikającej plesze z koncentrycznie ułożonymi czarnymi owocnikami, wzorec ograniczony *Rhizocarpon reductum* wyróżniający się plechą złożoną z wyraźnie skupionych brunatno-czarnych areolek i zagłębionych w nich czarnych owocnikami. Bezpośrednio na betonowych sarkofagach rosną chrobotek strzępiasty *Cladonia fimbriata* i chróścik karłowaty *Stereocaulon condensatum*. Na mchach pospolicie rosnących na macewach odszukano skorupiaste, brodawkowato-areolkowate plechy stojecznicy mchowej *Diploschistes muscorum* z apotecjami o zagłębionych tarczках.

3.3.3. Charakterystyka porostów murszejącego drewna

Murszejące drewno jest zasiedlane przez porosty, zwane epiksylami. Porosty te kolonizują, np. drewno pniaków, powalonych pni i kłód drzew, gałęzie, tylko w określonych warunkach ekologicznych – gdy jest suche i stosunkowo dobrze naświetlone. W razie większej wilgotności podłoża i powietrza porosty na drewnie przegrywają z silniejszymi konkurencyjnie mchami i wątrobowcami.

Człowiek stwarza dogodne podłoża dla roślinności wielu gatunków epiksyli wykorzystując drewno do konstrukcji ogrodzeń, domów, ławek, krzyży itp. Na drewnie konstrukcyjnym bogactwo porostów jest często większe, podobnie jak większa jest również liczba gatunków.

Na terenie Białegostoku występuje murszejące drewno, zarówno w siedliskach naturalnych, jak i pochodzenia antropogenicznego, będące podłożem dla epiksyli. Dominują gatunki epiksyliczne na drewnie konstrukcyjnym, które są fakultatywnymi epiksylami rosnącymi również często na korze drzew. Ekspansji wielu gatunków epiksyli sprzyjają różnego rodzaju konstrukcje i budowle drewniane (płoty, mostki, zabudowania, krzyże, ławki). W większości są to pospolite gatunki. Na drewnie konstrukcyjnym licznie występują porosty skorupiate z rodzaju misecznica *Lecanora* oraz listkowate, m.in. pustułka rurkowata (Fot. 59), tarczownica bruzdkowana, orzast kolisty, złotorost ścienny i krzaczkowate, m. in. mąklik otrębiasty, mąkla tarniowa (Fot. 59). Wśród porostów epiksylicznych stwierdzono również gatunki preferujące podłoże skalne: liszajecznik żółty, obrost modry, rozetnik murowy.

Usuwanie drewnianych konstrukcji na terenie zabudowanym powoduje, że porosty murszejącego drewna tracą swoje podłoże, i ich biota staje się coraz uboższa.



Fot. 59. Mąkla tarniowa *Evernia prunastri*, w przeszłości, w okresach głodu jej plechy były ważnym składnikiem pożywienia ludzi, a w Laponii do dzisiaj po zmieleniu dodawana jest jako dodatek do mąki, z której piecze się chleb oraz pustułka rurkowata *Hypogymnia tubulosa* (Fot. J. Kupryjanowicz)

Zmienność pokoleń drzew w lasach sprzyja powstawaniu odpowiednich nisz do wegetacji porostom. Obecność wiekowych drzew, osiagających kres życia i naturalnie obumierających, powalone kłody drzew, wykroty, złamane pnie, suche gałęzie sprzyjają rozwojowi wielu epiksyli.

W lasach obecność porostów zasiedlających murszejące drewno zależy głównie od stopnia jego zmurszenia i wilgotności. Na suchych pniakach i kłodach powalonych drzew o niskim stopniu zmurszenia, zwłaszcza w miejscach nasłonecznionych porosty często zajmują całą dostępną powierzchnię oraz tworzą różnorodną mozaikę kształtów i barw (Fot. 60).



Fot. 60. Mozaika porostów (żółta plecha złotorostu ściennego *Xanthoria parietina*, szara plecha obrostu wzniesionego *Physcia adscendens*) i mszaków na murszejącym drewnie (Fot. J. Kupryjanowicz)

Na suchych pniakach dominują chrobotki – chrobotek szydlasty *Cladonia coniocraea*, c. strzępiasty *C. fimbriata*, c. kieliszkowaty *C. chlorophaea* i c. cienki *C. macilenta*. Boczne powierzchnie pniaków zajmują głównie: paznokietnik ostrygowy, pustułka pęcherzykowata, tarczownica bruzdkowana, liszajec, szarek gruzełkowaty. Na siedliskach bardziej wilgotnych i ocienionych, porosty rosną z mszakami w kilkugatunkowych ugrupowaniach z wyraźną dominacją mszaków. Występują tu plechy, m.in. liszajca, chrobotka szydlastego, kieliszkowatego i strzępiastego oraz szarka zieleniejącego.

3.3.4. Charakterystyka porostów naziemnych

Epigeity w obrębie granic administracyjnych miasta występują poza zwartą zabudową miejską, we fragmentach borów sosnowych i mieszanych (Las Pietrasze, Las Solnicki, Las Bacieczki), w młodnikach sosnowych, na piaszczystych skarpach, poboczach dróg. Porosty naziemne licznie występują na siedliskach ubogich i suchych, na podłożu kwaśnym, na piaszczystej, jałowej glebie. Epigeity znajdują właściwe im siedliska także na glebie zebranej na starych, powalonych nagrobkach, na humusie zgromadzonym w szczelinach kamiennych pomników. Głównym ograniczeniem występowania porostów terestrycznych jest konkurencja ze strony roślin naczyniowych oraz działalność człowieka. Dlatego też nie spotykamy ich na polach uprawnych, a ich udział w żyznych lasach liściastych (grądach, dąbrowach, olsach, łęgach) jest bardzo znikomy.

Na terenie Białegostoku, wśród porostów naziemnych najczęściej spotyka się gatunki z rodzaju chrobotek *Cladonia* (Fot. 61-63), miejscami też rosną przedstawiciele rodzaju płucnica *Cetraria*, głównie płucnica islandzka *Cetraria islandica* (Fot. 64), rzadziej płucnica kolczasta *Cetraria aculeata* (Fot. 65). Na poboczach leśnych dróg miejscami rosną porosty z rodzaju pawężnica *Peltigera*. Na nagiej, piaszczystej glebie rośnie ziarniak humusowy *Placynthiella uliginosa* (Fot. 66).



Fot. 61. Chrobotek reniferowy *Cladonia rangiferina* ma podceja rozgałęziające się widełkowato lub 3-4- dzielnie, a ich brunatne zakończenia są zagięte w jedną stronę (Fot. J. Kupryjanowicz)



Fot. 62. Chrobotek zwyrodniały *Cladonia phyllophora*, jego podedcja często tworzą proliferację, pięterka wyższe wyrastają z brzegu niższych (Fot. J. Kupryjanowicz)

Tworzy plechę dwupostaciową, plecha pierwotna jest łuseczkowata, trwała lub czasami zanikająca. Łuseczki osiągają długość do 4 mm, są postrzępione lub podzielone, od spodu szarawe. Podedcja plechy wtórnej są często zróżnicowane i zdeformowane, osiągają wysokość do 3 cm i średnicę do 4 mm, szaro-zielone do oliwkowo-brązowych, u nasady są czarniawe, proste lub słabo rozgałęzione, zakończone kieliszkowato lub tępo. Podedcja często tworzą proliferację, pięterka wyrastają z brzegu niższych. Kieliszkowate brzegi podedcików mają nieregularne wyrostki. Na zakończeniach podedcików występują brązowe apotecja i pyknidy. Rośnie na glebie, rzadko na humusie i mszakach, w miejscach suchych.



Fot. 63. Chrobotek widlasty *Cladonia furcata* z widocznymi brązowymi pyknidami w kształcie urny na szczycie widlasto rozgałęzionych podecjów (Fot. J. Kupryjanowicz)

Plecha dwupostaciowa, jednak plecha pierwotna zanika bardzo wczesnie. Plecha wtórna, krzaczkowata jest wykształcona w postaci wałeczkowatych i nieco rozdętych podecjów o wysokości 2–5 cm i grubości 0,7–2 mm. Podecja kilkakrotnie rozgałęziają się widlasto lub nieregularnie, a ich zakończenia są szczyłowate. W miejscu rozgałęzień zazwyczaj znajduje się otvorek, a na grubszych gałązkach podłużne szczeliny. Powierzchnia podecjów ma barwę szarą,



szarozieloną, oliwkową lub brunatną; może być gładka, pokryta areolkami lub brodawkami. Podocja występują pojedynczo, lub tworzą murawki. Dość często na szczytach gałązek występują apotecja o brązowych tarczkach, dorastające do 0,3–1 mm średnicy lub brązowe pyknidy. Rośnie na ziemi, w miejscach świetlistych i suchych: na wydmach, torfowiskach, oraz w świetlistych lasach sosnowych.



Fot. 64. Płucnica islandzka *Cetraria islandica* na kaszel i chrypkę.... To jedyny gatunek porostu zamieszczony w Farmakopei Europejskiej i Farmakopei Polskiej (Farmakopea – urzędowy spis leków dopuszczonych w danym kraju lub na danym terenie do obrotu). Jej plechy zyskały również akceptację Komisji Europejskiej, wg jej zaleceń preparaty z płucnicy stosuje się w schorzeniach górnych dróg oddechowych, przebiegających z nadmierną suchością, podrażnieniem błony śluzowej gardła, krtani i suchym kaszlem (Fot. J. Kupryjanowicz)

Plecha listkowato-krzaczkowata, do 8 cm wysokości, rosnąca w postaci kępek lub luźnych murawek naziemnych, sztywna, głęboko wcinana, oliwkowozielona lub brunatno-zielona albo brunatna, u nasady czerwono nabiegła, lśniąca, bez wyraźnego przyczepu. Odcinki plechy o zmiennych kształtach, nieregularnie rozgałęzione, płytko rynienkowate lub prawie płaskie, z licznymi brązowymi, kolcowatymi wyrostkami, na końcach, dolna strona jaśniejsza od górnej, z licznymi białymi pseudocyfellami rozmieszczonymi równomiernie, owocniki występują bardzo rzadko. Rośnie na glebach piaszczystych i próchnicznych w widnych lasach sosnowych i na otwartych miejscach. Gatunek umieszczony na Czerwonej liście porostów w Polsce, w kategorii VU – narażony (Cieśliński i in. 2006) i objęty ochroną częściową, w tym z możliwością pozyskiwania (Rozporządzenie 2014).



Fot. 65. Płucnica kolczasta *Cetraria aculeata* ma krzaczkowatą, widełkowato rozgałęzioną, kasztanowato brunatną lub ciemnobrunatną plechę (Fot. J. Kupryjanowicz)

Plecha krzaczkowata, od 2 do 8 cm wysokości, występuje w postaci kępek lub murawek naziemnych, sztywna, krucha, widełkowato rozgałęziona, kasztanowato – lub ciemnobrunatna do czarnobrunatnej, lśniąca lub matowa, bez wyraźnego przyczepu. Odcinki plechy dorastają do 2 mm grubości, są obłe lub nieregularnie kanciaste, w okolicach rozgałęzień spłaszczone, na końcach nagle ciemniejące, z bocznymi gałązeczkami w postaci kolcowatych, odstających prostopadle, krótkich wyrostków. Odcinki mają białe, zagłębione pseudocyfelle oraz liczne kolcowate wyrostki. Owocniki apotecja występują bardzo rzadko. Porost ten rośnie na glebie, w miejscach widnych, piaszczystych (murawy napiaskowe, pobocza dróg), rzadziej w prześwietlonych suchych borach sosnowych.



Fot. 66. Ziarniak humusowy *Placynthiella uliginosa* jest gatunkiem pospolitym, ale ze względu na brunatną barwę plech, często brany za humus lub rozkładające się drewno i przeoczany (Fot. J. Kupryjanowicz)

Plecha jest skorupiasta, dobrze rozwinięta, ciągła lub rozproszona, grubo ziarnisto-brodawkowata. Granulki zaokrąglone, wypukłe do półkoralikowatych, o średnicy od 100 do 300 mikrometrów, znacznie lepiej widoczne w stanie zawilgocenia. Powierzchnia górna ciemno-brązowa lub czerwono-brązowa, często posiada zabarwienie żółtawo-zielone gdy jest mokra. Owocniki apotecja są liczne, często gęste i przylegające do siebie, zaokrąglone, siedzące lub zanurzone w brodaweczkach, (0,2)0,4-0,5(0,8) mm średnicy. Tarczki bardzo ciemne, czerwono-brązowe do czarno-brązowych, na początku wklęsłe lub płaskie, z czasem wypukłe, chropowate, matowe. Brzeżek zazwyczaj trwały, w kolorze tarczki. Rośnie zwykle na glebie torfowej lub humusie, na otwartych przestrzeniach, często wokół starych pni drzew, czasem na rozkładającym się drewnie.

3.3.5. Charakterystyka porostów na mszakach

Na mszakach rosną głównie gatunki porostów spotykane na innych podłożach, jak chrobotek kieliszkowaty i strzępiasty (gleba), miseczniczka rdzawa (podłoże skalne). Na darenkach mchów występują także proszkowate, sterylne plechy liszajca (liszajec Finka, l. Vouauxa), skorupiaste plechy wyprószka czworaczka i słojeznicy mchowej. Ten ostatni gatunek – słojeznica mchowa początkowo pasożytuje na łuskach chrobotków, i tworzy aposymbiotyczny związek z fotobiontem gospodarza, a następnie po związaniu się z właściwym autotroficznym komponentem staje się niezależny i kolonizuje inne substraty, głównie glebę, mszaki, szczątki roślinne. W Białymstoku gatunek ten ma jedyne stanowisko na cmentarzu żydowskim, gdzie rośnie na mszakach porastających nagrobki.

3.3.6. Charakterystyka porostów nietypowych podłoży

Porosty, dzięki swoim właściwościom chemicznym, jak i specyficznej gospodarce wodnej mogą zasiedlać nietypowe podłoża wytworzone przez człowieka, takie jak metal, plastik, szkło, niedostępne dla innych organizmów. Na terenie miasta odnotowano kilka gatunków porostów rosnących na eternicie, pokryciach dachowych z tworzyw sztucznych i na metalu. Są wśród nich liszajecznik złocisty, przylepniczka łuseczkowata, orzast kolisty, obrost modry, zmienny i drobny, tarczownica bruzdkowana, rozetnik murowy, pustułka pęcherzykowata, złoto-rost ścienny.

3.4. Charakterystyka gatunków chronionych

Grupą taksonów szczególnie wrażliwych na zmiany zachodzące pod wpływem antropopresji, oprócz porostów zagrożonych są również gatunki objęte ochroną prawną. Na terenie Białegostoku stwierdzono występowanie 26 gatunków chronionych, w tym 11 objętych ochroną ścisłą (Tab. 11, Fot. 67) i 15 ochroną częściową (Tab. 12, Fot. 68-74). Listę gatunków porostów objętych ochroną sporządzono na podstawie Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 października 2014 roku w sprawie ochrony gatunkowej grzybów.

Stanowiska porostów objętych ochroną ścisłą odnotowano w lasach miejskich, na cmentarzach, parkach i w obrębie zadrzewień przydrożnych, zaś porostów objętych ochroną częściową głównie w zbiorowiskach leśnych oraz w parkach i na cmentarzach. Wśród porostów chronionych dominują epifity, częściej obserwowane na korowie jesionu wyniosłego, klonu pospolitego, dębu

szypułkowego, brzozy brodawkowatej, topoli osiki. Porosty naziemne objęte ochroną, głównie z rodzaju *Cladonia* odnotowano w zbiorowiskach borowych i na ich obrzeżach. Chronione porosty naskalne rosną na kamiennych nagrobkach cmentarza żydowskiego.

Tab. 11. Porosty Białegostoku objęte ochroną ścisłą

Nazwa gatunkowa łacińska	Nazwa gatunkowa polska	Siedlisko	Podłoże
Rodzina: Physciaceae (obrostowate)			
<i>Anapychia ciliaris</i>	obrostnica rzęsowata	parki	kora drzew
Rodzina: Ramalinaceae (odnoźycowate)			
<i>Ramalina fastigiata</i>	odnoźyca kępkowa	las	kora drzew
<i>Ramalina fraxinea</i>	odnoźyca jesionowa	parki, lasy, peryferia	kora drzew
Rodzina: Stereocaulaceae (chróścikowate)			
<i>Stereocaulon tomentosum</i>	chróścik orzęsiony	cmentarze	gleba
Rodzina: Parmeliaceae (tarczownicowate)			
<i>Cetraria sepincola</i>	płucnica płotowa	las	kora drzew
<i>Melanohalea elegantula</i>	przylepniczka wytworna	parki	kora drzew
<i>Parmelina tiliacea</i>	szarzynka skórzasta	parki	kora drzew
<i>Xanthoparmelia delisei</i>	żełuczka Delisa	cmentarze	kamienie
Rodzina: Usneaceae (brodaczkowate)			
<i>Bryoria crispata</i>	włostka kędzierzawa	las, peryferia	kora drzew
<i>Bryoria vrangiana</i>	włostka Wranga	las	kora drzew
<i>Usnea subfloridana</i> (takson wydzielony z brodaczki nadobnej <i>Usnea florida</i>)	brodaczka kędzierzawa	las	kora drzew

Tab. 12. Porosty Białegostoku objęte ochroną częściową

Nazwa gatunkowa łacińska	Nazwa gatunkowa polska	Siedlisko	Podłoże
Rodzina: Cladoniaceae (chrobotkowate)			
<i>Cladonia arbuscula</i>	chrobotek leśny	lasy	gleba
<i>Cladonia rangiferina</i>	chrobotek reniferowy	lasy	gleba
Rodzina: Ramalinaceae (odnoźcowate)			
<i>Ramalina farinacea</i>	odnoźca mączysta	lasy, parki	kora drzew
<i>Ramalina pollinaria</i>	odnoźca opylona	parki	kora drzew
Rodzina: Stereocaulaceae (chróścikowate)			
<i>Stereocaulon condensatum</i>	chróścik karłowaty	cmentarze	beton
Rodzina: Parmeliaceae (tarczownicowate)			
<i>Cetraria islandica</i>	ślucznica islandzka	lasy	gleba
<i>Flavoparmelia caperata</i>	żółtlica chropowata	cmentarze	kora drzew
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	pustułka rurkowata	lasy, cmentarze, parki, peryferia	kora drzew, drewno
<i>Imshaugia aleurites</i>	popielak pylasty	lasy	kora drzew
<i>Pleurosticta acetabulum</i>	wabnica kielichowata	parki	kora drzew
<i>Tuckermanopsis chlorophylla</i>	brązowniczka brzozowa	lasy, cmentarze, parki, peryferia	kora drzew
<i>Vulpicida pinastri</i>	złotlinka jaskrawa	lasy	kora drzew
Rodzina: Usneaceae (brodaczkowate)			
<i>Bryoria fuscescens</i>	włostka brązowa	lasy	kora drzew
<i>Usnea dasopoga</i>	brodaczka zwyczajna	lasy	kora drzew
<i>Usnea hirta</i>	brodaczka kępkowa	lasy, parki	kora drzew



Fot. 67. Obrostrnica rzęsowata *Anaptychia ciliaris* jest gatunkiem rzadkim, wrażliwym na zanieczyszczenia powietrza, często w wyniku modernizacji dróg i związanego z tym zabiegiem wycinania drzew przydrożnych liczba jej stanowisk wyraźnie się zmniejsza. Na fotografii widoczne są charakterystyczne dla gatunku długie rzęski i owocniki (Fot. A. Matwiejuk, J. Kupryjanowicz)



Plecha listkowato-krzaczkowata, szara (w stanie wilgotnym zielonawa), do 7 cm średnicy, o odcinkach wielokrotnie porozgałęzionych i z charakterystycznymi bulwiastymi brodawkami, do 1–2 mm szerokości. Plecha zwykle ściśle przylega do korowiny lub płoży się po niej. Na brzegach odcinków występują rzęski, do 7 mm długości. Dolna strona plechy jest biaława, bez chwytników. Apotecja są zwykle obecne, liczne, do 5–7 mm średnicy, mają tarczki czarnobrunatne, zwykle biało przyprószone. Rośnie na korze drzew liściastych, najczęściej na klonach, lipach, jesionach i wierzbach. Porost światłolubny i azotolubny, stąd najczęściej występuje na drzewach przydrożnych i innych rosnących pojedynczo. Gatunek umieszczony na Czerwonej liście porostów w Polsce, w kategorii EN – wymierający (Cieśliński i in. 2006).



Fot. 68. Brodaczka zwyczajna *Usnea dasopoga* ma plechę nitkowatą, brodatą, zwisającą, zawsze dłuższą niż szerszą. Obok brodaczki kępkowej *Usnea hirta* i b. kędzierzawej *U. subfloridana* można ją zaliczyć do najczęściej spotykanych obecnie w Polsce gatunków brodaczek (Fot. J. Kupryjanowicz, A. Matwiejuk)

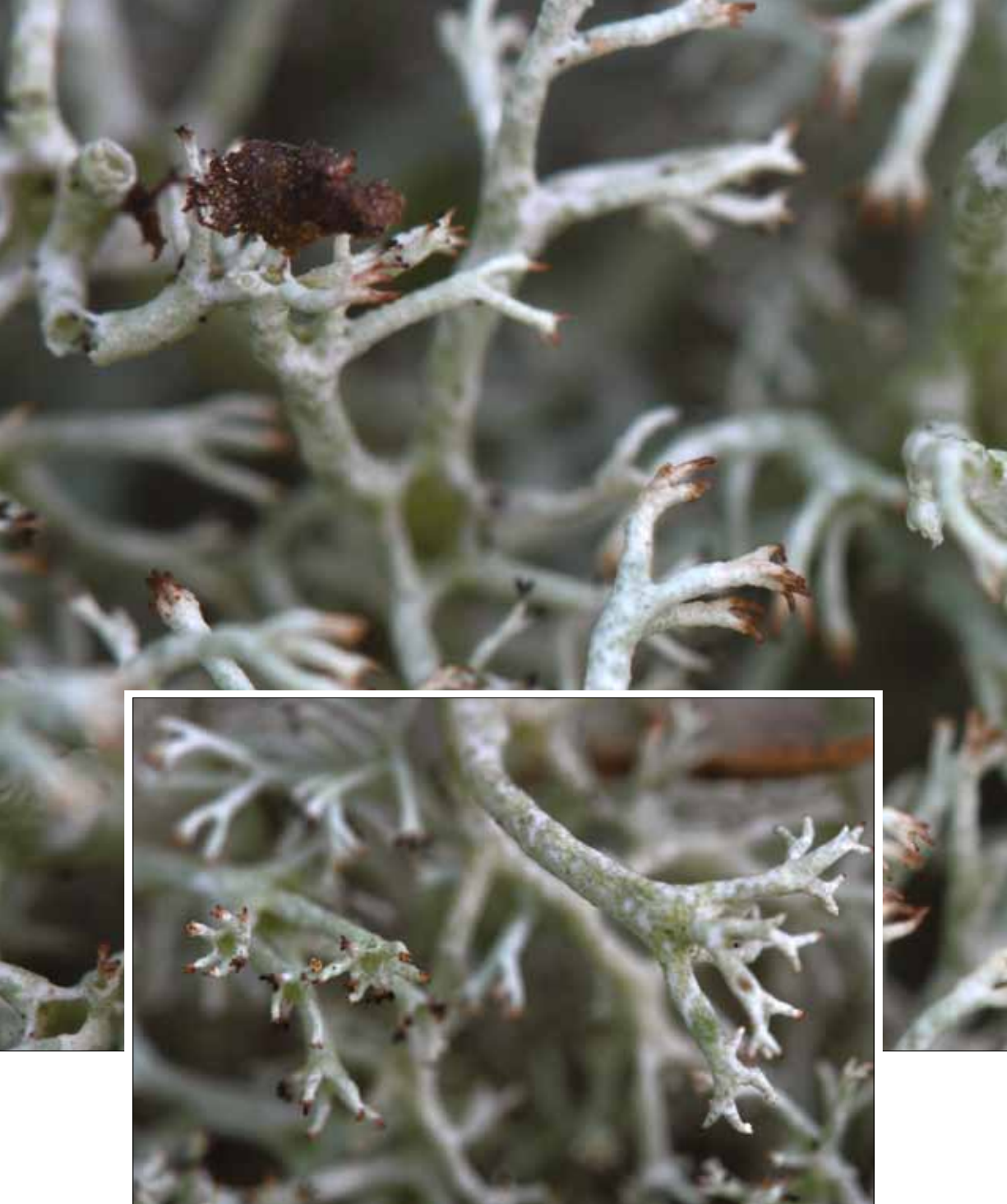


Tworzy plechy krzaczkowate, nitkowate, zwisające, obficie rozgałęzione, o długości do 30 cm. Plecha jest zawsze dłuższa niż szersza. Plecha jest przyręczepiona wyraźną, bardziej lub mniej zaczerzoną nasadą. Plecha jest szarozielona albo jasnozielona lub słomkowożółta, matowa albo lekko lśniąca. Gałązki główne mają grubość 1-2 mm, stopniowo cieniejące, dość sztywne, obłe, gałązki wtórne grubości 0,5-0,8 mm, ciągłe lub nieregularnie poprzerywane. Powierzchnia gałązek pokryta jest licznymi, drobnymi, wałeczkowatymi lub półkolistymi brodawkami. Soralia są zawsze wykształcone (oprócz stadiów młodocianych), są brodawkowate z izydiowymi urwistkami. Owocniki występują bardzo rzadko. Rośnie w lasach i na terenach otwartych, na korze drzew szpilkowych i liściastych (np. brzozy). Gatunek umieszczony na Czerwonej liście porostów w Polsce, w kategorii VU – narażony (Cieśliński i in. 2006).



Fot. 69. Brodaczka kępkowa *Usnea hirta*, jej cechami charakterystycznymi są niezaczerniona nasada plechy, brak brodawek na gałązkach i rozgałęziająca się plecha w postaci kępki (Fot. J. Kupryjanowicz)

Plecha krzaczkowata, nitkowata, zwisająca, sinozielona, obficie rozpierzchle rozgałęziona, odstająca od podłoża, od 1 do 7 cm długości, przyczepiona cienką zwężoną, niezaczernioną nasadą. Gałązki plechy nie mają brodawek, są gładkie i dołączkowe (jakby powgniatane). Soraliów brak, na gałązkach zwykle występują liczne igiełkowate izydia, często skupione w pęczki. Apotecja wyjątkowo rzadko spotykane. Porost rośnie na korze drzew i krzewów liściastych oraz iglastych, a także na drewnie, w lasach i w zbiorowiskach nieleśnych, na drzewach przydrożnych oraz w parkach miejskich. Gatunek umieszczony na Czerwonej liście porostów w Polsce, w kategorii VU – narażony (Cieśliński i in. 2006).



Fot. 70. Chrobotek leśny *Cladonia arbuscula* ma plechę wtórną składającą się z owalnych podecjów, wielokrotnie porozgałęzianych, na szczytach zgiętych łukowato w jedną stronę. W miejscu rozgałęzień podecjum widoczne są otworki. Na szczytach gałązek występują często brązowe pyknidy (Fot. J. Kupryjanowicz)



Plecha krzaczkowata, złożona z podecjów, które są puste w środku, od 3 do 7 cm wysokości i od 0,5 do 1 mm grubości. Podecja są bardzo jasne, szaro-białe do szaro-zielonawych, nie pokryte korą, o powierzchni często pilśniowatej, luźno rozgałęzione trójdzielnie lub widełkowato, na zakończeniach gałązki ułożone są pędzelkowato, lekko zagięte w jedną stronę, szczyty gałązek brunatnawe, w miejscach rozgałęzień znajduje się otworek. Owocniki występują bardzo rzadko. Reakcje barwne: podecja K-, Pd+ czerwone. Rośnie na glebie, w świetlistych borach sosnowych i lasach mieszanych.



Fot. 71. Chrobotek reniferowy *Cladonia rangiferina* ma zakończenia podectów brunatne, łukowato zgięte i wyraźnie zwrócone w jedną stronę. Jak sugeruje jego nazwa jest ważnym pokarmem i paszą dla reniferów. Jest też wykorzystywany jako „*mech reniferowy*” do dekoracji w stylu skandynawskim (do przygotowywania ścian zielonych) i produkcji szwedzkiego alkoholu aquavit. W XIX wieku Szwecja była światowym liderem w produkcji alkoholu porostowego z plech chrobotka reniferowego (miała być to alternatywa dla alkoholu zbożowego) (Fot. J. Kupryjanowicz)



Tworzy plechę dwupostaciową, choć plecha pierwotna wczesnie zanika. Plecha wtórna złożona jest z licznych podcejów drzewkowatych, sztywnych, dorastających do 10 cm. Na szczycie, gałązki są brunatne, łukowato zgięte i zwrócone wyraźnie w jedną stronę. Powierzchnia podcejów jest szaro-popielata lub białoszara, nie pokryta korą. Powierzchnia gałązek jest szorstka, pilśniowata i matowa. Podceja są puste w środku, i gorzkie w smaku. W miejscu rozgałęzień obecny jest otworek. Rozgałęzienia są widełkowate lub 3-4- dzielne. Na zakończeniach gałązek występują pyknidia. Reakcje barwne: podceja K+ żółte, Pd+ czerwone, C-. Gatunek rośnie na glebach kwaśnych, w borach sosnowych, wrzosowiskach.



Fot. 72. Odnożyca mączysta *Ramalina farinacea* ma plechę silnie rozgałęzioną, składającą się z wyraźnie spłaszczonych odcinków, na brzegach których znajdują się koliste lub wydłużone soralia z mączystymi, białawymi sorediami (Fot. J. Kupryjanowicz)



Plecha krzaczkowato-listkowata, zwisająca lub odstająca od podłoża, sztywna, słomkowożółta albo białawo- lub szaro-zielonawa, lekko lśniąca lub matowa, bardziej lub mniej rozgałęziona, od 1 do 15 cm długości. Odcinki plechy są wyraźnie spłaszczone, widełkowato rozgałęziona, często nieznacznie pofałdowane. Soralia prawie zawsze obecne, na brzegach odcinków, rzadko na płaskiej stronie, wyraźnie ograniczone, eliptyczne lub koliste, białawe lub żółtawe. Owocniki występują bardzo rzadko. Rośnie najczęściej na samotnych drzewach lub w parkach, czasami także w świetlistych lasach, głównie na drzewach liściastych, rzadziej iglastych. Gatunek umieszczony na Czerwonej liście porostów w Polsce, w kategorii VU – narażony (Cieśliński i in. 2006).



Fot. 73. Pustułka rurkowata *Hypogymnia tubulosa* razem z tarczownicą bruzdkowaną *Parmelia sulcata*. Pustułka rurkowata ma na końcach odcinków wypukłe, główkowate soralia. Jest gatunkiem mało odpornym na zanieczyszczenia powietrza i w niektórych regionach ginącym (Fot. J. Kupryjanowicz, A. Matwiejuk)



Plecha listkowa, rozetkowata, do 3 cm średnicy, w odcieniach szarości, o odcinkach rozgałęzionych widełkowato, wypukłych, wznoszących się lub odsta-
jących od podłoża. Na końcach odcinków znajdują się bardzo charakterystyczne
dla tego gatunku soralia główkowate. Dolna strona plechy jest czarna ku obwo-
dowi brunatna, bez chwytników. Rośnie głównie na korze drzew iglastych, rza-
dziej na liściastych. Gatunek umieszczony na Czerwonej liście porostów w Polsce,
w kategorii NT – bliski zagrożeniu (Cieśliński i in. 2006).



Fot. 74. Złotlinka jaskrawa *Vulpicida pinastri* i pustułka pęcherzykowata *Hypogymnia physodes* (Fot. J. Kupryjanowicz). Złotlinka ma drobne, żółto-zielone plechy, które bardzo często rosną u nasady pni drzew, i dlatego jest często trudna do zauważenia i pomijana. Jest jednym z niewielu porostów w Polsce, które mają właściwości trujące.

Plecha listkowata, zazwyczaj do 3 cm średnicy, tworząca zwykle regularne rozetki. Odcinki plechy promieniście lub nieregularnie rozmieszczone, lekko rozproszone lub zachodzące na siebie, przyrośnięte do podłoża, wznoszące się. Powierzchnia górna plechy żółto-zielona lub zielonkavo-żółta do prawie szaro-zielonej, gładka, matowa. Soredia są jasno-zielonkavo-żółte, drobno ziarniste, na brzegach odcinków tworzące okrągławe lub w kształcie półksiężyca



soralia. Powierzchnia dolna plechy jest blado-żółta do brązowej z rozproszonymi, białawymi chwytnikami. Owocniki są rzadkie. Rośnie na korze drzew, głównie liściastych, najczęściej na terenach otwartych lub na obrzeżach lasów. Gatunek umieszczony na Czerwonej liście porostów w Polsce, w kategorii NT – bliski zagrożeniu (Cieśliński i in. 2006).

3.5. Charakterystyka gatunków zagrożonych

Porosty jako rodzime składniki naszej szaty najszybciej ustępują pod wpływem antropopresji. Spośród 156 gatunków porostów, które dotychczas zostały wykazane z Białegostoku, 31 znajduje się na Czerwonej liście porostów w Polsce (Cieśliński i in. 2006) (co stanowi 20% ogółu bioty porostów miasta). Gatunki te zostały zakwalifikowane do następujących kategorii zagrożenia: CE (krytycznie zagrożone) – 2 gatunki, EN (wymierające) – 11 gatunków, VU (narażone) – 12 gatunków i NT (bliskie zagrożenia) – 6 gatunków.

W ujęciu procentowym gatunki zagrożone (CR + EN + VU) stanowią 16% ogółu bioty porostów Białegostoku, a gatunki o niższym ryzyku zagrożenia (NT) – 4%. Wykaz gatunków zagrożonych przedstawia tabela (Tab. 13). Największe zróżnicowanie taksonomiczne zaobserwowano wśród porostów wymierających i bliskich zagrożenia. Wśród porostów zagrożonych dominują gatunki nadrzewne (87% wszystkich taksonów zagrożonych), które na terenie Białegostoku rosną głównie w lasach, w parkach i na cmentarzach.

Najbardziej zagrożoną grupą ekologiczną porostów w Białymstoku są epifity. Stanowią one 84% wszystkich gatunków zagrożonych w mieście, z których wielkoplechowe, krzaczkowate gatunki z rodzaju włostka *Bryoria* i brodaczką *Usnea* wykazują najwyższe stopnie zagrożenia.

Brodaczki mają plechy krzaczkowate, zwisające lub odstające od podłoża, złożone z obłych gałązek, które w środku mają elastyczny rdzeń. Na świecie znanych jest około 860 gatunków brodaczek, z czego w Polsce około 50. Do najczęściej spotykanych gatunków należą trzy gatunki: brodaczką zwyczajną *Usnea dasopoga*, b. kępkowa *U. hirta* i b. kędzierzawa *U. subfloridana*. Brodaczki są bardzo wrażliwe na antropogeniczne zanieczyszczenia powietrza. Wszystkie gatunki brodaczek są w Polsce objęte ochroną prawną.

Włostki mają także plechy krzaczkowate, nitkowate, zwisające, silnie porozgałęziane. Na świecie odnotowano ok. 79 gatunków włostek, z czego w Polsce stwierdzono ich kilkanaście, jednak ze względu na ich wielką wrażliwość na czynniki antropogeniczne, a szczególnie na zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego wiele gatunków wyginęło. Podobnie jak gatunki brodaczek *Usnea* wszystkie włostki są objęte ochroną i jednocześnie są porostami zagrożonymi wymarciem. W ostatnich latach w wielu miejscach obserwuje się powrót najpopularniejszego gatunku włostki – włostki brązowej *Bryoria fuscescens*.

Zarówno wśród brodaczek, jak i włostek jest wiele podobnych gatunków, i dlatego ich rozróżnienie nie jest łatwe i wymaga specjalistycznych badań mikroskopowych i chemicznych.

Porosty z rodzaju *Bryoria* i *Usnea* naturalnie rosną na korze drzew liściastych i iglastych w różnych warunkach siedliskowych, głównie w lasach i generalnie są gatunkami światłolubnymi. Niektóre gatunki wykazują szczególne

przywiązanie do starych lasów o charakterze naturalnym i są relikdami puszczańskimi. Są wskaźnikami (bioindykatorami) obszarów czystych i bardzo czystych.

Tab. 13. Wykaz gatunków zagrożonych porostów Białegostoku

Nazwa łacińska	Nazwa polska	Podłoże	Siedlisko	Kategorie zagrożenia			
				CR	EN	VU	NT
<i>Bryoria vrangiana</i>	włostka Wranga	kora drzew	lasy	+			
<i>Pertusaria alpina</i>	otwornica alpejska	kora drzew	lasy	+			
<i>Anaptychia ciliaris</i>	obrotnica rzęsowata	kora drzew	parki		+		
<i>Bryoria crispa</i>	włostka kędzierzawa	kora drzew	lasy, peryferia		+		
<i>Cetraria sepicola</i>	płucnica płotowa	kora drzew	lasy		+		
<i>Physconia distorta</i>	soreniec opylony	kora drzew	parki		+		
<i>Physconia perisidiosa</i>	soreniec dachówkowaty	kora drzew	parki		+		
<i>Pleurosticta acetabulum</i>	wabnica kielichowata	kora drzew	parki		+		
<i>Opegrapha vermicellifera</i>	pismaczek pęcherzykowaty	kora drzew	lasy		+		
<i>Ramalina fraxinea</i>	odnożyca jesionowa	kora drzew	parki, lasy, peryferia		+		
<i>Stereocaulon tomentosum</i>	chróścik orzęsiony	gleba	cmentarze		+		
<i>Ramalina fastigiata</i>	odnożyca kępkowa	kora drzew	lasy		+		
<i>Usnea subfloridana</i>	brodaczka kędzierzawa	kora drzew	lasy		+		
<i>Bryoria fuscescens</i>	włostka brązowa	kora drzew	lasy			+	
<i>Cetraria islandica</i>	płucnica islandzka	gleba	lasy			+	
<i>Melanelixia subargentifera</i>	przylepnik brodawkowaty	kora drzew	peryferia			+	
<i>Melanohalea elegantula</i>	przylepniczka wytworna	kora drzew	lasy, parki			+	
<i>Parmelina tiliacea</i>	szarzynka skórzasta	kora drzew	parki			+	
<i>Pyrenula nitida</i>	otocznicza lśniąca	kora drzew	lasy			+	
<i>Ramalina farinacea</i>	odnożyca mączysta	kora drzew	lasy, parki			+	
<i>Tuckermanopsis chlorophylla</i>	brązowniczką brzozowa	kora drzew	lasy, parki, cmentarze, peryferia			+	
<i>Ramalina pollinaria</i>	odnożyca opylona	kora drzew	parki			+	
<i>Stereocaulon condensatum</i>	chróścik karłowaty	beton	cmentarze			+	

<i>Usnea dasopoga</i>	brodaczka zwyczajna	kora drzew	lasy			+		
<i>Usnea hirta</i>	brodaczka kępkowa	kora drzew	lasy, parki			+		
<i>Evernia prunastri</i>	mąkla tarniowa	kora drzew	lasy, cmentarze, parki				+	
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	pustułka rurkowata	kora drzew	lasy, cmentarze, parki, peryferia				+	
<i>Pertusaria coccodes</i>	otwornica szkarłatna	kora drzew	lasy				+	
<i>Physcia aipolia</i>	obrost sinawy	kora drzew	lasy, parki, peryferia				+	
<i>Trapeliopsis viridescens</i>	szarek zieleniejący	martwe drewno	lasy				+	
<i>Vulpicida pinastri</i>	złotlinka jaskrawa	kora drzew	lasy				+	
Razem:					2	11	12	6

Objaśnienia: **CE** – krytycznie zagrożone, **EN** – wymierające, **VU** – narażone, **NT** – bliskie zagrożenia

3.6. Występowanie porostów w różnych rejonach miasta, na terenach zabudowanych i terenach zielonych, ze wskazaniem miejsc cennych pod kątem występowania porostów w tym gatunków najwyższej troski (chronionych i zagrożonych) na obszarze Białegostoku

W celu oceny wpływu warunków siedliskowych na występowanie porostów w Białymstoku zaproponowano podział miasta na trzy główne rejony: 1. tereny zabudowane, w tym położone w centrum i na peryferiach, 2. tereny zielone (skwery, parki, cmentarze, lasy) oraz 3. tereny położone wokół dróg wylotowych z miasta.

Przeprowadzone badania wykazały, że najcenniejszymi obszarami występowania porostów w Białymstoku są jego tereny zieleni, jak lasy, parki, skwery i cmentarze. Tereny zieleni zajmują łącznie powierzchnię 2244 ha. Rozmieszczenie parków, skwerów i zieleńców w Białymstoku nie jest równomierne, na terenie osiedli oddalonych od centralnej części miasta obiekty tego typu występują w małym stopniu. Jako przykład dzielnic całkowicie pozbawionych tej formy zieleni można podać osiedla Białostoczek, Dziesięciny, Zielone Wzgórze, Słoneczny Stok.

Tereny zieleni są swoistymi enklawami występowania porostów w mieście, gdzie odnajdują tu optymalne warunki do wegetacji. W ich biocie dominują

porosty epifityczne, w tym gatunki chronione i umieszczone na Czerwonej liście porostów w Polsce (Cieśliński i in. 2006). Tereny zabudowane, położone zarówno w centrum, jak i na peryferiach to miejsca występowania wielu gatunków porostów nitrofilnych, w tym naskalnych kolonizujących podłoża antropogeniczne. Badania wykazały zróżnicowany udział form morfologicznych plech, w różnych rejonach miasta. Największy udział porostów listkowatych (w tym szerokolistkowatych typu tarczownica *Parmelia*) i krzaczkowatych jest w parkach i lasach, zaś porostów skorupiastych i wąskolistkowatych typu obrost *Physcia* na terenach zabudowanych zlokalizowanych w centrum i na peryferiach.

W lasach Białegostoku można spotkać głównie porosty nadrzewne, w tym liczne gatunki chronione i zagrożone. To tu jest ich największa bioróżnorodność na terenie miasta. W białostockich lasach odnotowano 83 gatunki porostów nadrzewnych, co stanowi 54% ogółu porostów miasta. Wyłącznie w lasach stwierdzono 25 gatunków. Są to: brodaczka zwyczajna *Usnea dasopoga*, miseczniczka drobna *Lecania cyrtella*, tarczownica skalna *Parmelia saxatilis* i włostka Wranga *Bryoria vrangiana* (Las Solnicki), liszajec bezłatkowy *Lepraria elobata*, chrobotek palczasty *Cladonia digitata* i c. cienki *C. macilenta* (Las Pietrasze), chrobotek pozorny *Cladonia merochlorophaea*, odnożyca kępkowa *Ramalina fastigiata*, płucnica płotowa *Cetraria sepincola* i włostka brązowa *Bryoria fuscescens* (Las Bacieccki), literak właściwy *Graphis scripta*, misecznica jaśniejsza *Lecanora chlorotera*, otocznicza lśniąca *Pyrenula nitida*, otwornica alpejska *Pertusaria alpina*, pismaczek pęcherzykowaty *Opegrapha vermicellifera* i plamica promienista *Arthonia radiata* (Las Zwierzyniecki), cielistek dyskretny *Coenogonium pineti* (Las Zwierzyniecki, Las Pietrasze), liszajec szary *Lepraria incana* (Las Pietrasze, Las Solnicki, Las Bagno, Las Bacieccki), brodaczka kędzierzawa *Usnea subfloridana* i liszajec Jacka *Lepraria jackii* (Las Bacieccki, Las Solnicki), popielak pylasty *Imshaugia aleurites* (Las Bacieccki, Las Pietrasze), przylepniczka wytworna *Melanohalea elegantula* (Las Bacieccki, Las Zwierzyniecki, Las Solnicki), trzonecznica żółta *Chaenotheca chrysocephala* i rdzawa *C. ferruginea* (Las Pietrasze, Las Solnicki).

Ważną funkcję miejsc zwiększających bioróżnorodność w mieście pełnią również parki i cmentarze. Na terenie parków stwierdzono występowanie 46 gatunków porostów nadrzewnych, a na cmentarzach 40 gatunków. Wyłącznie na cmentarzach i w parkach rosną, m.in. obrostnica orzęsiona *Anaptychia ciliaris* i odnożyca opylona *Ramalina pollinaria* (Park Lubomirskich), soreniec dachówkowaty *Physconia perisidiosa* (Park im. Jadwigi Dziekońskiej), żółtlica chropowata *Flavoparmelia caperata* (cmentarz miejski, Park Branickich).

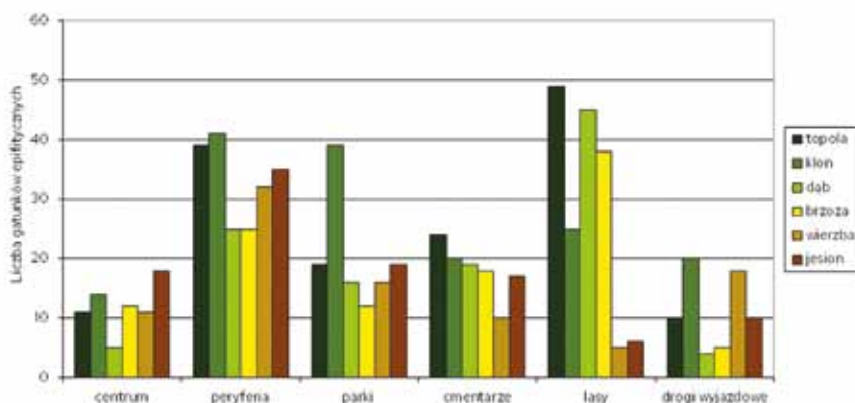
W układzie przestrzennym miasta, najmniejsze zróżnicowanie porostów epifitycznych odnotowano na korze drzew rosnących na terenach zabudowanych położonych w centrum miasta (21 gatunków) oraz na drzewach przy drogach wylotowych z miasta (26 gatunków). Tym samym można stwierdzić, że

w mieście szczególnie niekorzystne warunki do rozwoju porostów kształtują się na stanowiskach położonych w tych rejonach. Dominują tu porosty o plechach skorupiastych i listkowatych, w tym głównie drobnolistkowatych typu obrost *Physcia*. W przypadku drzew rosnących przy drogach i ulicach dolne części pni są często silnie zapylone, w tych warunkach na korze rosną nawet gatunki naskalne. W obszarach miejskich szczególnie na terenach zabudowanych i przy drogach, korzystne warunki znajdują porosty nitrofilne, wymagające siedlisk o zarówno wysokim pH, jak i zasobnych w dodatkowe ilości związków azotu (Tab. 14).

Tab. 14. Epifityczne porosty nitrofilne Białegostoku (Źródło: van Herk 2002)

liszajecznik ziarnisty <i>Candelariella xanthostigma</i> obrost drobny <i>Physcia tenella</i> obrost wzniesiony <i>Physcia adscendens</i> obrost zmienny <i>Physcia dubia</i> orzast kolisty <i>Phaeophyscia orbicularis</i>	złotorostka postrzępiona <i>Polycauliona candelaria</i> złotorostka wieloowocnikowa <i>Polycauliona polycarpa</i> złotorost ścienney <i>Xanthoria parietina</i>
--	---

Na terenach zabudowanych, większą bioróżnorodnością porostów nadrzewnych charakteryzują się drzewa liściaste, jak topole, klony i jesiony, w lasach topole, dęby i brzozy, zaś w parkach klony. Oprócz tych gatunków drzew, także lipy, wierzby, można uznać za ważne dla rozwoju lichenobioty epifitycznej w Białymstoku (Ryc. 47). Porosty preferują drzewa, które mają odczyn kory zbliżony do obojętnego lub nawet lekko zasadowy, drzewa bogate w związki odżywcze, zwłaszcza w związki azotu. Odczyn kory zmienia często działalność człowieka, z jednej strony kwaśne deszcze powodują obniżenie pH kory, zaś zapylenie wzrost pH kory i wzbogacenie jej w biogeny.



Ryc. 47. Zróżnicowanie ilościowe porostów na korze różnych gatunków drzew w układzie przestrzennym miasta

W obszarach miejskich porosty acidofilne (kwasolubne), preferujące podłoża o niższym (kwaśnym) odczynie pH, np. korę drzew iglastych (sosny, świerka, modrzewia), korę brzozy znajdują szczególnie korzystne warunki w lasach (Tab. 15). Dlatego też miejscami na korze tych drzew, rosną gatunki wybitnie kwasolubne, jak misecznica proszkowata, pustułka pęcherzykowata i inne. W miejscach, gdzie kora drzew jest wzbogacana przez związki azotu i kora zmienia odczyn na bardziej zasadowy, porosty acidofilne stają się coraz rzadsze, np. na terenach zabudowanych, położonych w centrum miasta.

Tab. 15. Epifityczne porosty acidofilne Białegostoku (Źródło: van Herk 2002)

<p>brązownicza brzozowa <i>Tuckermanopsis chlorophylla</i> brodaczek <i>Usnea</i> spp. chrobotki <i>Cladonia</i> spp. liszajec szary <i>Lepraria incana</i> mąkla tarniowa <i>Evernia prunastri</i> mąklik otrębiasty <i>Pseudevernia furfuracea</i> misecznica brązowa <i>Lecanora pulicaris</i> misecznica proszkowata <i>Lecanora conizaeoides</i></p>	<p>odnożyca mączysta <i>Ramalina farinacea</i> paznokietnik ostrygowy <i>Hypocenomyce scalaris</i> płaskotka rozlana <i>Parmeliopsis ambigua</i> plunik modry <i>Platismatia glauca</i> pustułka pęcherzykowata <i>Hypogymnia physodes</i> pustułka rurkowata <i>Hypogymnia tubulosa</i> trzonecznica rdzawa <i>Chaenotheca ferruginea</i></p>
--	---

Na terenie Białegostoku istnieją dwa rezerваты przyrody: Antoniuk i Las Zwierzyniecki. Rezerwat przyrody Las Zwierzyniecki, powołany został w 1996 roku, i ma powierzchnię 33,84 ha. Celem ochrony rezerwatu jest zachowanie ze względów naukowych i dydaktycznych drzewostanu o charakterze grądu wilgotnego. Cały teren rezerwatu Las Zwierzyniecki zajmuje las, który mimo położenia w mieście zachował wysoki stopień naturalności. Przeważa w nim drzewostan dość młody – w wieku około 55 lat. Miejscami zachowały się tu stare, około 100-letnie graby i olsze. W składzie drzewostanu dominuje grab pospolity. Dość dużą domieszkę stanowi także dąb. Na terenie rezerwatu odnotowano 45 gatunków porostów (Tab. 16). Niewiele jednak porostów tworzy rozległe mozaiki plech na korze drzew. Dominują gatunki skorupiaste, takie jak liszajec szary i bezłatkowy, rozsypek srebrzysty. Literak właściwy rośnie na gładkiej korze grabu stosunkowo obficie i pokrywa duże powierzchnie pni, zwłaszcza w ich dolnych częściach. Wolne miejsca na pniu zajmują inne porosty o plechach skorupia- stych, między innymi plamica promienista, otwornica gorzka, o. zwyczajna oraz porosty listkowate pustułka pęcherzykowata, przylepniczka łuseczkowata. Tylko w miejscach oświetlonych, gdzie drzewa rosną w mniejszym zagęszczeniu korę drzew kolonizują tarczownica bruzdkowana, szarzynka skórzasta i kilka gatun- ków z rodzaju obrost oraz złotorost ścienny. Rezerwat Las Zwierzyniecki jest jedynym miejscem w mieście, gdzie występuje cenna i zagrożona biota poro- stów starych grabów. Do rzadkich gatunków należą: cielistek dyskretny, lite- rak właściwy, otocznicza lśniąca, otwornica alpejska, pismaczek pęcherzykowaty

i plamica promienista. Szacuje się, że ponad połowa gatunków porostów grabu w Polsce Północno-Wschodniej umieszczona jest na Czerwonej liście porostów w Polsce (Cieśliński i in. 2006).

Drugi rezerwat przyrody Antoniuk został powołany w 1995 roku, i ma powierzchnię 70,07 ha. W rezerwacie Antoniuk położonym w Lesie Pietrasze rośnie drzewostan naturalnego pochodzenia w wieku około 125 lat, jest nim dominujący na terenie rezerwatu zespół – leszczynowo świerkowy las mieszany. Drzewostan buduje głównie świerk pospolity ze znaczną domieszką sosny zwyczajnej. Pojedynczą domieszkę stanowi brzoza brodawkowata. Biotę porostów tworzą 41 gatunki (Tab. 16). Dominują porosty epifityczne. Na korze świerku pospolitego *Picea abies*, porosty rosną pojedynczo, głównie w spękaniach kory lub u podstawy pnia. Na korowinie świerku występują głównie pospolite gatunki, jak paznokietnik ostrzygowy, misecznica proszkowata, pustułka pęcherzykowata, liszajec. Rzadko w spękaniach kory odnotowano plechy cielistka dyskretnego i trzonecznicy rdzawej, a u podstawy pnia chrobotka palczastego i liszajca bezłatkowego. Podstawy pni sosen preferują głównie chrobotki (np. chrobotek szydlasty), liszajec, paznokietnik ostrzygowy. W wyższych partiach pni pospolite są *Hypocenomyce scalaris*, pustułka pęcherzykowata, sporadycznie rosną pustułka rurkowata, popielak pylasty, płaskotka rozlana i mąklik otrębiasty. Na glebie rosną chrobotki (chrobotek niekształtny, palczasty, widlasty, zwyrodniały i rogokształtny). Na próchniejących pniakach występuje chrobotek cienki z czerwonymi apotecjami na szczycie podecjów. Rzadkim gatunkiem jest szarek zieleniejący, rosnący na martwym, świerkowym pniaku.

Tab. 16. Liczba gatunków porostów rezerwatów przyrody Białegostoku

Rezerwat przyrody	Liczba gatunków				
	Ogółem	Epifity	Epiksyle	Epility	Zagrożone
Antoniuk	41	29	12	5	4
Las Zwierzyniecki	45	35	18	6	6

Parki są najczęściej i najchętniej uczęszczanymi terenami zieleni w miastach. Parki miejskie z jednej strony to tereny realizujące różne potrzeby mieszkańców, zaś z drugiej poprzez kształtowanie środowiska miasta, pełnią ważne funkcje przyrodnicze, w tym biologiczne, klimatyczne i hydrologiczne. Wiodącymi elementami parków są drzewa, krzewy oraz trawniki. Parki miejskie tworzą wizerunek miasta i są jego wizytówką. Często parki stanowią ostoje dla wielu gatunków roślin, grzybów i zwierząt. Wysoka zieleń i konstrukcje betonowe w parkach stwarzają dogodne warunki korzystnie wpływające na rozwój porostów w mieście.

Na terenie stolicy Podlasia jest 9 parków, w tym 6 zabytkowych o łącznej powierzchni ponad 60 ha. Te zabytkowe to: Park Branickich, Planty, Bulwary im. Kościłkowskiego, Park Konstytucji 3 Maja, Park Stary im. Księcia Józefa Poniatowskiego oraz Park Lubomirskich. Pozostałe trzy o łącznej powierzchni blisko 17 ha to: Park Centralny, Park Antoniuk oraz Park im. Jadwigi Dziekońskiej (Tab. 17). Parki położone w centrum miasta wraz z rezerwatem przyrody – Lasem Zwierzyńskim tworzą rzadko spotykaną w innych aglomeracjach formę „klina” łączącego centrum miasta z Lasem Solnickim.

Tab. 17. Liczba gatunków porostów parków Białegostoku

Park	Liczba gatunków
Park zespołu pałacowego Branickich (Park Branickich)	43
Park Konstytucji 3 Maja	23
Park Planty i Bulwary im. Kościłkowskiego	12
Park Antoniuk	12
Park Stary im. Księcia Józefa Poniatowskiego	12
Park im. Jadwigi Dziekońskiej	11
Park zespołu Lubomirskich (Park Lubomirskich)	11
Park Centralny	10

Największe zróżnicowanie gatunkowe porostów odnotowano na terenie położonego w centrum miasta, parku zespołu pałacowego Branickich (43 gatunki), gdzie porosty kolonizują przede wszystkim dwa rodzaje podłoży: korę drzew i sztuczne podłoże skalne. Największą liczbę gatunków stwierdzono wśród porostów epifitycznych (31 gatunków), w tym na korze klonu pospolitego (24), dębu szypułkowego (11) i jesionu wyniosłego (10). Spośród wszystkich 43 gatunków porostów, siedem należy do grupy porostów zagrożonych w Polsce (Cieśliński i in. 2006).

Nieodłącznym elementem polskiego krajobrazu, w tym również w miastach są cmentarze. Stanowią one specyficzny typ terenów zieleni. Ich odrębność wyraża się przede wszystkim w roli jaką pełnią: są to miejsca kultu i pamięci, otaczane szczególną opieką i troską. Wśród cmentarzy spotyka się obiekty o bogatym wyrazie architektoniczno-artystycznym, a także cmentarze stare i zapomniane.

W Białymstoku znajduje się 16 cmentarzy i miejsc pamięci, w tym 9 cmentarzy parafialnych – czynnych (6 rzymsko-katolickich i 3 prawosławne), 1 cmentarz miejski, 2 cmentarze wyznaniowe – nieczynne (żydowski i ewangelicko-augsburski) i 4 miejsca pamięci (Miejsce Pamięci Narodowej, Cmentarz Ofiar Faszyzmu, Cmentarz Wojskowy i Cmentarz Żołnierzy Radzieckich) (Tab. 18). Białostockie cmentarze mają najbardziej bogatą i zróżnicowaną dendroflorę

w mieście. Zielen białostockich cmentarzy wykazuje duże różnice w składzie i liczebności drzew i krzewów. Na swoistość flory drzew ma wpływ rodzaj gospodarowania oraz wiek cmentarzy. Duże nagromadzenie drzew oraz bogactwo antropogenicznych podłoży skalnych powoduje, że cmentarze stają się swoistymi enklawami występowania porostów w mieście.

Skład gatunkowy porostów cmentarzy Białegostoku jest stosunkowo bogaty i obejmuje 97 gatunków porostów (co stanowi 65% ogółu porostów w mieście), wśród nich dominują porosty epilityczne – 55 gatunków i epifityczne – 45.

Tab. 18. Liczba gatunków porostów cmentarzy i miejsc pamięci Białegostoku

Cmentarz	Liczba gatunków
Cmentarz żydowski, ul. Wschodnia	57
Cmentarz rzymsko-katolicki, Farny, Wniebowzięcia N.M.P., ul. Władysława Raginisa	41
Cmentarz Miejski, ul. Władysława Wysockiego	39
Cmentarz Wojskowy, ul. 11 Listopada	38
Cmentarz rzymsko-katolicki Matki Boskiej Ostrobramskiej, ul. ks. Stanisława Suchowolca	37
Miejsce Pamięci Narodowej, Las Bacieczki	31
Cmentarz prawosławny Wszystkich Świętych, ul. Władysława Wysockiego	27
Cmentarz rzymsko-katolicki i prawosławny Zaśnięcia N.M.P., ul. ks. Pawła Grzybowskiego	26
Cmentarz prawosławny Proroka Eliasza, ul. Plażowa	23
Cmentarz Żołnierzy Radzieckich, ul. Konstantego Ciołkowskiego	20
Cmentarz rzymsko-katolicki Św. Rocha, ul. Antoniuk Fabryczny	19
Cmentarz rzymsko-katolicki Św. Andrzeja Boboli, ul. Św. Andrzeja Boboli	19
Cmentarz rzymsko-katolicki Parafii p.w. Ducha Świętego, ul. Dębowa	18
Cmentarz Ofiar Faszyzmu, Miejsce Straceń, Las Pietrasze	18
Cmentarz prawosławny Św. Eufrozyny, ul. Św. Andrzeja Boboli	17
Cmentarz Ewangelicko-Augsburski, ul. gen. Stanisława Sosabowskiego	15

Najbogatszą i interesującą biotę porostów epilitycznych posiada cmentarz żydowski. Jest on jedynym miejscem występowania wielu rzadkich gatunków

porostów w mieście. Są to: chrobotek borowy i łuskowaty, chróścik karłowaty i orzęsiony, misecznica skalna, słojeznica mchowa, sorenka jaskrawa, szadziec skręcony, wzorzec ograniczony, żełuczka Delisa. W jego biocie porostów dominują porosty epilityczne (32 gatunki). Inne grupy ekologiczne reprezentowane są przez mniejszą liczbę gatunków – epifityczne (15) i epigeiczne (14).

Interesującą biotę porostów, szczególnie epifityczną ma cmentarz wojskowy, położony na terenie Parku Konstytucji 3 Maja. Cmentarz został założony na początku 1920 roku w celu pochowania poległych osób w roku 1919 w walkach na terenie Białegostoku i jego okolic. Później, zostali pochowani tu także Ci, co oddali życie w wojnie polsko-sowieckiej w 1920 roku i podczas II Wojny Światowej. Na cmentarzu wojskowym razem spoczywają żołnierze polegli w latach 1919-1920 i 1939-1945, znani i nieznan, Ci którzy nosili na czapkach białego orła i Ci z czerwoną gwiazdą.

Na cmentarzu wojskowym, na korze drzew liściastych rosną rzadkie i zagrożone gatunki porostów w mieście, jak mąkla tarniowa, szarzynka skórzasta, czy wabnica kielichowata.

Na terenie miasta, cmentarze wyraźnie zwiększają heterogeniczność i mozaikowość krajobrazu antropogenicznego, a biota porostów starych nagrobków i drzew wyraźnie wpływa na zróżnicowanie gatunkowe grzybów lichenizujących Białegostoku. Cmentarze pełnią rolę antropogenicznych refugium porostów w mieście. Wśród walorów lichenologicznych badanych cmentarzy na podkreślenie zasługuje obecność wielu gatunków porostów, które posiadają tu jedyne stanowiska występowania w mieście.

Na terenie Białegostoku biota porostów epilitycznych jest raczej uboga i jest zdominowana przez gatunki pospolite. Jej małe zróżnicowanie należy wiązać przede wszystkim z brakiem naturalnych podłoża skalnych. Ich udostępnianie poprzez wykorzystanie kamieni jako materiału do budowy ogrodzeń, czy też nagrobków pozwala na rozwój gatunków naskalnych. Podłoża skalne pochodzenia naturalnego stanowią tutaj najczęściej kamienne konstrukcje, w tym kamienne nagrobki cmentarne, jak i bardzo rzadko spotykane głązy narzutowe i mniejsze kamienie. Mała powierzchnia tych ostatnich jednak ogranicza rozwój porostów. W grupie tutaj rosnących porostów, znajdują się m.in. wielosporek brunatny, kamusznik właściwy i misecznica zwyczajna. Do powyższego wykazu można dopisać także gatunki z rodzaju obrost i orzast, które z uwagi na swój pyłolubny i nitrofilny charakter pojawiają się szczególnie często na kamieniach, np. leżących przy szlakach komunikacyjnych (Tab. 19). W krajobrazie miejskim wyraźnie zaznacza się przewaga porostów epilitycznych zajmujących podłoża pochodzenia antropogenicznego. Wśród występujących tutaj taksonów, są: brodawnica czarniawa, liszajecznik złocisty, namurnik cytrynowy, nocotnik białawy i pospolity, obrost modry, rozetnik murowy, żółtaczek zwodniczy i drobny.

Tab. 19. Nitrofilne porosty epilityczne Białegostoku (Źródło: van Herk 2002)

<p>bezpleszek obojętny <i>Athalia holocarpa</i> liszajecznik złocisty <i>Candelariella aurella</i> liszajecznik żółty <i>Candelariella vitellina</i> namurnik cytrynowy <i>Flavoplaca citrina</i> nocotnik pospolity <i>Myriolecis dispersa</i></p>	<p>obrost wzniesiony <i>Physcia adscendens</i> obrost modry <i>Physcia caesia</i> obrost zmienny <i>Physcia dubia</i> orzast czarniawy <i>Phaeophyscia nigricans</i> orzast kolisty <i>Phaeophyscia orbicularis</i> rozetnik murowy <i>Protoparmeliopsis muralis</i> złotorost ścienny <i>Xanthoria parietina</i></p>
--	--

Analiza występowania porostów w różnych rejonach Białegostoku wykazała, że stopień zróżnicowania gatunkowego porostów kształtował się na wyższym poziomie na terenach zabudowanych położonych na peryferiach miasta w porównaniu z terenami w centrum miasta. Na obszarach zabudowanych większy udział gatunków zaznaczył się w obrębie zadrzewień, natomiast mniejszą liczbę taksonów obserwowano w centrum miasta. Dzięki naturalnym walorom tereny zieleni wyraźnie zwiększają bioróżnorodność, w tym grzybów lichenizujących w mieście.

Białystok na tle innych miast województwa podlaskiego wyróżnia się większą bioróżnorodnością porostów (Tab. 20). Na ich terenie odnotowano stonkowo mniej gatunków porostów niż w stolicy Podlasia. Na obszarze Bociek rośnie 118 gatunków porostów, 114 – w Ciechanowcu, 97 – w Narwi, 91 – w Mielniku, 86 – w Drohiczyńcu, 70 – w Łomży. Wymienione miejscowości, chociaż zróżnicowane pod względem wielkości powierzchni, stopnia urbanizacji i liczby mieszkańców, wiąże ze sobą zwłaszcza duża zbieżność warunków klimatycznych i geomorfologicznych oraz podobieństwo form i elementów użytkowanej przestrzeni. Podstawowym kryterium występowania poszczególnych gatunków porostów jest obecność odpowiednich podłoży i siedlisk. We wszystkich badanych miejscowościach najliczniejszą grupą siedliskową są porosty nadrzewne. Wszystkie badane miejscowości charakteryzuje znaczący udział gatunków uznanych za bardzo rzadkie i rzadkie, w tym występujących na badanym terenie na pojedynczych stanowiskach. Najcenniejszymi obszarami występowania porostów w miastach są tereny zieleni, które wyraźnie zwiększają heterogeniczność środowiska przyrodniczego. Poziom zróżnicowania gatunkowego porostów w miejscowościach na Podlasiu jest wyższy od bogactwa obserwowanego na terenie dziewięciu miast polskiego wybrzeża (Izydorek 2005), gdzie stwierdzono, np. 68 gatunków w Międzyzdrojach, 66 – w Kołobrzegu, 59 – we Władysławowie, 52 – w Darłowie-Darłównku i 46 – w Helu. Warunki aerosanitarne panujące na terenie województwa podlaskiego, należącego do obszaru będącego Zielonymi Płucami Polski sprzyjają rozwojowi porostów. Liczba gatunków grzybów lichenizujących badanych miejscowości stanowi ok. 25% porostów znanych z Polski Północno-Wschodniej. Największa różnorodność występuje wśród porostów rosnących na korze drzew i na konstrukcjach betonowych. Widoczne zmniejszenie emisji

zanieczyszczeń obserwowane od początków XXI wieku sprzyja powrotowi do miast wielu porostów, w tym wrażliwych gatunków z rodzaju brodaczka *Usnea* i włostka *Bryoria*. Wyraźnie spada skażenie powietrza SO_2 , na skutek wprowadzania zasad zrównoważonego rozwoju w miastach. W wyniku eutrofizacji siedlisk i podłoża gatunki porostów nitrofilnych, koprofilnych i heliofilnych rozprzestrzeniają się w miastach.

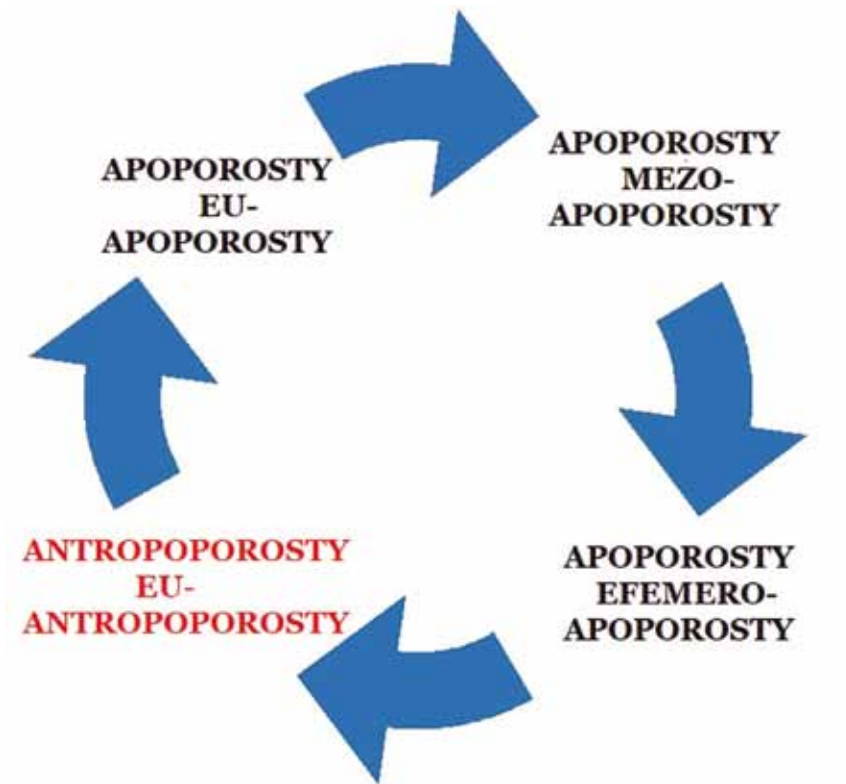
Tab. 20. Liczba gatunków porostów Białegostoku na tle innych miast Polski Północno-Wschodniej

Miejscowość	Literatura	Liczba gatunków
Białystok		156
Boćki	Matwiejuk (2009a)	118
Ciechanowiec	Matwiejuk, Kolanko (2007)	114
Białowieża	Matwiejuk (2011)	109
Narew	Matwiejuk, Korobkiewicz (2012b)	97
Mielnik	Matwiejuk (2008b)	91
Supraśl	Matwiejuk (2015)	89
Drohiczyn	Matwiejuk (2009b)	86
Ełk	Matwiejuk, Wójtowicz (2013)	78
Sokółka	Matwiejuk (2017)	76
Łomża	Matwiejuk, Chojnowska (2016)	70

Porosty synantropijne

Szate porostów Białegostoku cechuje duży udział gatunków synantropijnych, czyli takich, które są związane z człowiekiem i które przystosowały się do życia w środowisku zmienionym przez człowieka. Porosty synantropijne występujące w Białymstoku pogrupowano zgodnie z klasyfikacją Fałtynowicza (1994) wydzielając:

1. **Apoporosty** – gatunki rodzimego pochodzenia, przejściowo lub trwale zawleczone na siedliska antropogeniczne, a w nich:
 - a. **eu-apoporosty** – gatunki pojawiające się głównie na siedliskach pochodzenia antropogenicznego,
 - b. **mezoapoporosty** – gatunki pojawiające się z przybliżoną częstością w zbiorowiskach naturalnych i antropogenicznych,
 - c. **efemeroapoporosty** – gatunki pojawiające się głównie w zbiorowiskach naturalnych, sporadycznie obserwowane na siedliskach antropogenicznych.
2. **Antropoporosty** – gatunki obcego pochodzenia, wśród nich:
 - a. **eu-antropoporosty** – gatunki trwale zdomowione (Ryc. 48).



Ryc. 48. Grupy porostów synantropijnych Białegostoku

Na listę porostów synantropijnych Białegostoku składają się 107 taksonów, do których zaliczono wszystkie porosty posiadające przynajmniej jedno notowanie na siedlisku pochodzenia antropogenicznego. Wśród apofitów dominowały eu-apoporosty, w dalszej kolejności wyznaczono efemeroapoporosty, mezoapoporosty i eu- antropoporosty.

Wskaźnik apofityzacji dla lichenobioty Białegostoku, który określa procentowy udział gatunków apofitycznych w biocie porostów wyniósł 69%. Najliczniejszą grupę wśród porostów synantropijnych, bo aż 29% ich ogółu, stanowią eu-apoporosty – gatunki pojawiające się głównie na siedliskach pochodzenia antropogenicznego oraz 28% efemeroapoporosty, czyli gatunki przejściowe zawleczone na siedliska pochodzenia antropogenicznego.

Najliczniej reprezentowana jest grupa eu-apoporostów (29%), w skład której wchodzi taksony występujące głównie na siedliskach pochodzenia antropogenicznego. Porównywalną liczbę gatunków stwierdzono dla porostów o plesze skorupiastej i listkowatej, które zarazem przeważają w wykazie

eu-apoporostów. Do omawianej grupy porostów synantropijnych należą następujące gatunki: amyłka oliwkowa, bezpleszek obojętny, brudziec kropkowany, chrobotek borowy i rogokształtny, liszajec szary, liszajecznik żółty i ziarnisty, mąkla tarniowa, miseczniczka drobna, misecznicza brązowa, grabowa, jaśniejsza, niestała, proszkowata i wierzbowa, namurnik cytrynowy, nocotnik białawy, Hagena i pospolity, odnożyca mączysta, otwornica zwyczajna, orzast czarniawy i kolisty, pawężnica rudawa, płaskotka rozlana, przylepnik okopcony i łysawy, rozsypek srebrzysty, obrost drobny, gwiazdkowaty, modry, wzniesiony i zmienny, rozetnik murowy, soreniec popielaty i żółtawy, szadziec ciemnozielony, świetlinka pospolita, tarczownica bruzdkowana, złotorostka postrzępiona i wieloowocnikowa, złotorost ścienny i żółtaczek drobny. Wśród euapoporostów wyraźny udział mają dwie grupy gatunków: epifity i epility. Wśród porostów nadrzewnych dominują gatunki zasiedlające korę drzew przydrożnych, która jest wzbogacana w związki azotu. Drugą grupą gatunków są epility związane ze sztucznymi podłożami skalnymi zasobnymi w węglan wapnia, takimi jak beton, tynk, zaprawa murarska. Są to gatunki światłolubne i kserotermiczne, tolerujące duże nasłonecznienie i niską wilgotność powietrza.

Wśród efemeroapoporostów stwierdzono stanowiska wielu apofitów, które są jedynymi miejscami występowania dla całego badanego terenu. W zestawieniu dominują taksony o plesze skorupiastej. Największe zróżnicowanie gatunkowe wykazano dla epifitów i epilitów. Efemeroapoporostami badanego terenu są: amyłka znaczona, brązownicza brzozowa, brodaczka kędzierzawa i kępkowa, brodawnica czarniawa, bruniec gruszowy, chrobotek Graya, leśny i zwyrodniały, jaskrawiec siwy, kamusznik właściwy, krążniczka brunatnoczarna, liszajec bezpłatkowy, Jacka i Finka, liszajecznik złocisty i koralkowaty, mąklik otrębiasty, misecznicza kasztanowata, pogięta, zmienna i zwyczajna, obrost sinawy, odnożyca jesionowa, otwornica gorzka i szkarłatna, płucnik modry, popielak pylasty, pustułka rurkowata, pysznorost wspaniały, setniczka zwyczajna, soreniec dachówkowaty, tarczownica skalna, trzonecznicza żółta, wielosporek brunatny, włostka brązowa, wzorzec pospolity, złotlinka jaskrawa, żeluczka izydiowa, żółtaczek zwodniczy i żółtlica chropowata.

Najmniejsze zróżnicowanie porostów apofitycznych zaobserwowano wśród mezoapoporostów (11%), reprezentowanych przez: brodawnicę murową, brunatkę szarozieloną, chrobotka cienkiego, kieliszkowatego, kubkowatego, pozornego, siwego, strzępiastego, szydlastego i widlastego, cielistka dyskretnego, paznokietnika ostrygowego, pustułkę pęcherzykowatą, szarka pogiętego i grzełkowatego i trzonecznicę rdzawą. W zestawieniu dominują porosty o plesze dwupostaciowej i skorupiastej. Największy udział mają tutaj porosty zasiedlające glebę i martwą materię.

Jedynie cztery taksony, tzn. przylepnik brodawkowaty, przylepniczka łuseczkowata, szarzynka skórzasta (Fot. 75) i wabnica kielichowata

wyszczególniono jako eu-antropoporosty, czyli gatunki obce dla rodzimej bioty porostowej, jednakże trwale tutaj zadomowione. Notowania wymienionych gatunków, będących przedstawicielami porostów o plesze listkowatej, pochodzą z korowiny drzew.





Fot. 75. Szarzynka skórzasta *Parmelina tiliacea* (Fot. A. Matwiejuk)

3.7. Skala porostowa i mapa lichenindykacyjna Białegostoku

Na podstawie przeprowadzonych badań lichenologicznych opracowano dla Białegostoku skalę porostową, opartą na wskaźnikowych gatunkach nadrzewnych i naskalnych kolonizujących podłoża betonowe, jak np. słupy elektryczne, murki itp. (Tab. 21). Wyznaczono pięć stref lichenindykacyjnych na terenie Białegostoku (Ryc. 49). Układ stref wegetacji porostów odzwierciedla sposób użytkowania miasta i stopień antropopresji: najmniej korzystne warunki wegetacji porostów odnotowano w centrum miasta, natomiast tereny leśne wykazały najbardziej korzystne oddziaływanie na lichenobiotę miasta. Najważniejszym czynnikiem wpływającym na różnorodność biologiczną lichenobioty Białegostoku jest układ przestrzenny miasta, wyrażający się głównie lokalizacją zabudowy zwartej oraz głównych szlaków komunikacyjnych, a z drugiej strony – terenów zielonych, zwłaszcza lasów.

Strefa I – bezwzględna pustynia porostowa

Charakteryzuje się całkowitym brakiem porostów na korze drzew. Często korę drzew porasta tu napowietrzny glon, zielenica pierwotek *Protococcus* sp. Strefa I obejmuje jedynie pojedyncze stanowiska zlokalizowane w centrum miasta.

Strefa II – względna pustynia porostowa

Na terenie strefy II na korowinie drzew rosną gatunki o plechach skorupiastych i proszkowatych, jak brudziec kropkowany, liszajec, misecznica proszkowata, szadziec ciemnozielony.

Betonowe konstrukcje kolonizują liszajecznik złocisty, nocotnik białawy i pospolity, rzadko bezpleszek obojętny, namurnik cytrynowy, orzast kolisty.

Na terenie miasta, strefa II występuje tylko na pojedynczych stanowiskach położonych w centrum miasta oraz w okolicy dworca kolejowego PKP i autobusowego PKS.

Strefa III – wewnętrzna strefa walki (strefa ograniczonej wegetacji)

W strefie III na korowinie drzew dominują gatunki ze strefy II o plechach skorupiastych i proszkowatych. Ponadto na korze drzew liściastych, głównie u podstawy pni występują porosty listkowate, jak obrost drobny, wzniesiony i zmienny, orzast kolisty, złotorost ścienny, złotorostka wieloowocnikowa. Plechy pustułki pęcherzykowatej i tarczownicy bruzdkowanej stwierdzono sporadycznie, w postaci drobnych plech o średnicy do 2 cm. Plechy pustułki pęcherzykowatej często pozbawione są soraliów wargowych na brzegach łatek.

Na korze sosny odnotowano: liszajca, misecznicę proszkowatą, paznokietnika ostrygowego i szadźca ciemnozielonego.

Na betonowych konstrukcjach gatunki epilityczne II strefy są pospolite, pojawiają się również plechy amyliki znacznej, rozetnika murowego, żółtaczką drobnego i zwodniczego.

Strefa III obejmuje dzielnice: Śródmieście, Marii Curie-Skłodowskiej, Kopernika, Przydworcowe, Piaski, Waryńskiego, Młodych, Liniarskiego, Bojary, Kraszewskiego, Bojary-Chopina, Traugutta, Białostoczek, Przyjaźń, Antoniuk, Sady Antoniukowskie, Tuwima, Mickiewicza, Piasta oraz Park Centralny i wzgórze Św. Marii Magdaleny.

Strefa IV – środkowa strefa walki (strefa ograniczonej wegetacji)

W strefie IV korę drzew kolonizują oprócz porostów o plechach skorupiastych, łusieczkowatych, gatunki listkowate. Na badanym terenie dominują nitrofilne gatunki z rodziny obrostowate Physciaceae i złotorostowate Teloschistaceae. Osobliwością jest masowe występowanie plech orzastu kolistego, obrostu zmiennego i złotorostu ściennego. Na korowinie wielu drzew liściastych rosną listkowate plechy obrostu gwiazdkowatego, soreńca żółtawego, przylepnika łusawego, przylepniczki łusieczkowej, skorupiaste misecznicy brązowej i grabowej, drobnolistkowate świetlinki pospolitej oraz krzaczkowate mąkli tarniowej i mąklika otrębiastego. Na pojedynczych stanowiskach odnotowano chronione gatunki, jak obrostnica rzęsowata, brązownicza brzożowa, odnożyca opylona na korze klonu, włostka kędzierzawa i brodaczką kępkową na korze dębu, pustułka rurkowata na korze dębu i lipy, szarzynka skórzasta na korze klonu i jesionu, odnożyca mączysta na korze topoli, odnożyca jesionowa na korze topoli, klonu, wierzy i jesionu, wabnica kielichowata na korze klonu.

Na korze sosny i brzozy w tej strefie rosną łusieczkowate plechy paznokietnika ostrzygowego, pojedyncze listkowate plechy pustułki pęcherzykowatej i rurkowej, oraz krzaczkowate plechy mąklika otrębiastego i brodaczkę kępkową.

Na podłożu betonowym gatunki o plechach plakodiowych i listkowatych charakterystyczne dla strefy III osiągają miejscami znaczne pokrycie. Osobliwością jest masowe występowanie plech rozetnika murowego na płytach i krawężnikach chodnikowych, plech żółtaczką zwodniczego i drobnego na betonowych murach, słupach i ogrodzeniach. Pojawiają się również plechy obrostu wzniesionego, modrego, zmiennego i drobnego, orzastu czarniawego, pysznorostu wspianego, szarutka polnego, setniczki zwyczajnej i złotorostu ściennego.

Strefa IV jest najbardziej rozległa w mieście. Obejmuje zwartą i luźną zabudowę miasta na peryferiach ze znacznym udziałem terenów zieleni. W jej granicach położone są dzielnice miasta: Skorupy, Pieczurki, Sybiraków, Wygoda, Wysockiego-Zgoda, Jaroszkówka, Wyżyny, Bagnówka, Pietrasze, Dziesięciny, Fasty-Baciecзки, Baciecзки, Zawady, Wysoki Stoczek, Bema, Tysiąclecia, Przemysłowe, Dojlidy, Słoneczny Stok, Zielone Wzgórza, Leśna Dolina, Marczuk, Starosielce, Nowe Miasto, Skorupy, Zawady, Kleosin, Ścianka – Bażantarnia, Krywłany,

Park Branickich, Park Lubomirskich, Planty, Bulwary im. Kościłkowskiego, Park Stary im. Księcia Józefa Poniatowskiego i Park Antoniuk.

Strefa V – zewnętrzna strefa walki (strefa ograniczonej wegetacji)

W strefie V, na korze sosny i brzozy pospolicie rosną pustułka pęcherzykowata, paznokietnik ostrygowy, misecznica proszkowata, oraz gatunki z rodzaju chrobotek. Rzadko na brzozie występują: włostka kędzierzawa i Wranga, trzonicznica żółtawa, pustułka rurkowata, płucnik modry, brodaczką zwyczajną i kędzierzawą, złotlinka jaskrawa, na sośnie zwyczajnej: włostka kędzierzawa, płucznica płotowa, trzonicznica rdzawa, pustułka rurkowata, popielak pylasty, płaskotka rozlana, mąklik otrębiasty, brązowniczką brzozową i brodaczką kępkową. Miejscami, korę dębów w Lesie Solnickim obficie porastają plechy pustułka pęcherzykowatej, mąkli tarniowej, tarczownicy bruzdkowanej, rzadziej szarzynki skórzastej, odnożycy jesionowej i mączystej oraz brązowniczką brzozowej. W Lesie Zwierzynieckim na korze grabu zwyczajnego występują plamica promienista, literak właściwy, rozsypek srebrzysty, pojedyncze plechy otwornicy gorzkiej, zwyczajnej i szkarłatnej. W Lesie Bacieczki na korze topoli odnotowano plechy włostki kędzierzawej i brązowej, odnożycy kępkowej i brodaczką kędzierzawej.

Obszar strefy V obejmuje w mieście tereny leśne, jak Las Pietrasze, Las Bagno, Las Solnicki, Las Bacieczki, Las Zwierzyniecki oraz cmentarz wojskowy położony na terenie Parku Konstytucji 3 Maja (Matwiejuk 2007b).

Tab. 21. Skala porostowa opracowana dla Białegostoku

Strefa	Gatunki porostów rosnące na korze drzew	Gatunki porostów rosnące na betonie
I	glony zielenice, brak porostów	brak porostów
II	brudziec kropkowany <i>Amandinea punctata</i> , misecznica proszkowata <i>Lecanora conizaeoides</i> , liszajec <i>Lepraria</i> sp., szadziec ciemnozielony <i>Scoliciosporum chlorococcum</i>	liszajecznik złoty <i>Candelariella aurella</i> , nocotnik biały <i>Myriolecis albescens</i> , n. pospolity <i>M. dispersa</i> , rzadko bezpleśzek obojętny <i>Athalia holocarpa</i> , namurnik cytrynowy <i>Flavoplaca citrina</i> , orzast kolisty <i>Phaeophyscia orbicularis</i>
III	orzast kolisty <i>Phaeophyscia orbicularis</i> , obrost zmienny <i>Physcia dubia</i> , o. wzniesiony <i>P. adscendens</i> , złotorostka wieloowocnikowa <i>Polycauliona polycarpa</i> , złotorost ścienny <i>Xanthoria parietina</i> , rzadko liszajecznik ziarnisty <i>Candelariella xanthostigma</i> , pustułka pęcherzykowata <i>Hypogymnia physodes</i> , tarczownica bruzdkowana <i>Parmelia sulcata</i> , Kora sosny: paznokietnik ostrygowy <i>Hypocenomyce scalaris</i> , misecznica proszkowata <i>Lecanora conizaeoides</i> , liszajec <i>Lepraria</i> sp., szadziec ciemnozielony <i>Scoliciosporum chlorococcum</i>	żółtaczek zwodniczy <i>Calogaya decipiens</i> , ż. drobny <i>C. pusilla</i> , amyłka znaczone <i>Lecidella stigmata</i> , rozetnik mурowy <i>Protoparmeliopsis muralis</i>

IV	<p>liszajecznik ziarnisty <i>Candelariella xanthostigma</i>, przylepnik łysawy <i>Melanelixia glabrata</i>, przylepniczka łuseczkowata <i>Melanohalea exasperatula</i>, gatunki z rodziny Physciaceae, Teloschistaceae, częste pustułka pęcherzykowata <i>Hypogymnia physodes</i>, tarczownica bruzdkowana <i>Parmelia sulcata</i>, rozproszone świetlinka pospolita <i>Candelaria concolor</i>, misecznica grabowa <i>Lecanora carpinea</i>, m. brązowa <i>L. pulicaris</i>, soreniec żółtawy <i>Physconia enteroxantha</i>, rzadkie mąkla tarniowa mąkla tarniowa <i>Evernia prunastri</i>, bardzo rzadkie obrotnica rzesowata <i>Anaptychia ciliaris</i>, włostka kędzierzawa <i>Bryoria crispa</i>, wabnica kielichowata <i>Pleurosticta acetabulum</i>, mąklik otrębiasty <i>Pseudevernia furfuracea</i>, brązownicza brzozowa <i>Tuckermanopsis chlorophylla</i>, odnożyca mączysta <i>Ramalina farinacea</i>, o. jesionowa <i>R. fraxinea</i>, o. opylona <i>R. pollinaria</i>, płucnik modry <i>Platismatia glauca</i>, brodaczka kępkowa <i>Usnea hirta</i></p> <p>Kora sosny: pustułka pęcherzykowata <i>Hypogymnia physodes</i>, p. rurkowata <i>H. tubulosa</i>, paznokietnik ostrygowy <i>Hpocenyce scalaris</i>, mąklik otrębiasty <i>Pseudevernia furfuracea</i>, brodaczka kępkowa <i>Usnea hirta</i></p>	<p>obrost wzniesiony <i>Physcia adscendens</i>, o. zmienny <i>P. dubia</i>, o. modry <i>P. caesia</i>, o. drobny <i>P. tenella</i>, orzast czarniawy <i>Phaeophyscia nigricans</i>, szarutek polny <i>Rufoplaca arenaria</i>, pysznorost wspaniały <i>Rusavskia elegans</i>, setniczka zwyczajna <i>Sarcogyne regularis</i>, złotorost ścienny <i>Xanthoria parietina</i></p>
V	<p>włostka kędzierzawa <i>Bryoria crispa</i>, pustułka rurkowata <i>Hypogymnia tubulosa</i>, płaskotka rozlana <i>Parmeliopsis ambigua</i>, brązownicza brzozowa <i>Tuckermanopsis chlorophylla</i>, brodaczka zwyczajna <i>Usnea dasopoga</i>, b. kępkowa <i>U. hirta</i>, b. kędzierzawa <i>U. subfloridana</i>, złotlinka jaskrawa <i>Vulpicida pinastri</i>, włostka brązowa <i>Bryoria fuscescens</i>, plamici promienista <i>Arthonia radiata</i>, literak właściwy <i>Graphis scripta</i>, otwornica gorzka <i>Pertusaria amara</i>, o. zwyczajna <i>P. albescens</i>, odnożyca kępkowa <i>Ramalina fastigiata</i></p> <p>Kora sosny: płucnica płotowa <i>Cetraria sepicola</i>, trzonecznica żółta <i>Chaenotheca chrysocephala</i>, t. rdzawa <i>C. ferruginea</i>, popielak pylasty <i>Imshaugia aleurites</i></p>	<p>brak podłożu betonowych</p>

naturalnego ostrzega „...Jeżeli pójdziemy nadal tą drogą, to grozi nam załamanie wszystkiego, co daje nam bezpieczeństwo: produkcji żywności, dostępu do czystej wody, temperatury, w której jesteśmy w stanie żyć, i łańcucha pokarmowego oceanów.” (<https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/ONZ-klimat-srodowisko-Program-Srodowiskowy-9972.html>) Dodaje, że „...jesteśmy jak ludzie z Czarnobyla, którzy idą w kierunku katastrofy..”. A ponadto „...Wygląda, że niezależnie od tego, jak wielkie są nasze błędy, natura poradzi sobie z nimi, jeżeli tylko dostanie szansę. Świat naturalny już kilka razy przeżył wielkie wymieranie. Ale my ludzie nie możemy zakładać, że uda nam się zrobić to samo. Doszliśmy tak daleko, ponieważ jesteśmy najsprytniejszymi stworzeniami, które kiedykolwiek żyły na Ziemi. Ale jeżeli mamy kontynuować nasze istnienie, będziemy potrzebować czegoś więcej niż inteligencja. Będziemy potrzebować mądrości.” (<https://www.onet.pl/informacje/smoglabpl/david-attenborough-zmieramy-do-katastrofy/73fnymv,30bc1058>).

Od dawna wiemy, że organizmami, które jako pierwsze reagują na wszelkie zmiany w środowisku i są bardzo wrażliwe na zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego są porosty.

Jedną z form oddziaływania na środowisko jest postępująca urbanizacja, czyli przestrzenny rozwój miast, która niesie za sobą zarówno zagrożenia dla występowania porostów, poprzez wymieranie gatunków, jak i również może przyczyniać się do ich przetrwania i rozprzestrzeniania w krajobrazie miejskim.

Negatywny wpływ człowieka na grzyby lichenizujące w miastach objawia się głównie likwidacją siedlisk i podłoży, m.in. poprzez wycinanie drzew rosnących w lasach, parkach, ogrodach działkowych, sadach, na cmentarzach, skwerach, przy drogach lub wchodzących w skład zadrzewień oraz usuwanie licznych konstrukcji drewnianych, głązów i mniejszych kamieni. Pewne zabiegi stosowane w sadownictwie, jak np. bielenie drzew wapnem mogą również niekorzystnie wpływać na rozwój lichenobioty nadrzewnej.

Bogactwo gatunkowe porostów epifitycznych powiązane jest z oddziaływaniem wielu czynników makro- i mikrośrodowiskowych. Porosty są organizmami poikilohydrycznymi, czyli takimi, których uwodnienie plech determinują panujące warunki środowiskowe oraz u których obserwuje się ściśle uzależnienie procesów fizjologicznych od warunków atmosferycznych, w tym od wilgotności powietrza oraz zanieczyszczeń powietrza wybranymi związkami na danym obszarze.

Zanieczyszczenia powietrza substancjami uwalnianymi wskutek spalania węgla w gospodarstwach i elektrociepłowniach, ruch komunikacyjny stwarzają kolejne zagrożenia dla lichenobioty obszarów miejskich. Szczególnie w miastach, do najgroźniejszych związków zanieczyszczających atmosferę oprócz dwutlenku siarki SO_2 , należą tlenki azotu (NO , NO_2), których głównym źródłem emisji jest transport drogowy. Wskutek zwiększenia stężenia związków azotu i pyłów następuje zmiana warunków siedliskowych, co przyczynia się do ustępowania

niektórych gatunków porostów, ale równocześnie sprzyja pojawianiu się innych grup taksonów (gatunków nitrofilnych). Pierwsze doniesienia wskazujące na negatywne oddziaływanie działalności człowieka na występowanie porostów, pojawiły się pod koniec XIX wieku. Wówczas to francuski botanik William Nylander powiązał zanikanie wielu porostów w Ogrodzie Luksemburskim w Paryżu z obecnymi w powietrzu pyłami i dymami.

Aby ograniczyć niską emisję na terenie miasta konieczne jest zmniejszenie strat ciepła w budynkach oraz zmiana typu ogrzewania (np. na systemy proekologiczne, jak ogrzewanie gazowe, elektryczne, olejowe – lekkim olejem opałowym). W wielu miastach oprócz zachęt, stosuje się zakazy, poprzez uchwały antysmogowe, dzięki którym nie można palić węglem i drewnem. Aby powietrze było czyste, ważne jest realizowanie w miastach spójnej polityki transportowej promującej rozwój komunikacji zbiorowej. Ważna jest polityka cenowa, która zachęcałaby mieszkańców do rezygnacji z podróży samochodem na korzyść komunikacji miejskiej. Niektóre miasta na świecie kontrolują pojazdy i eliminują z ruchu samochody, które przekraczają dopuszczalne normy, czy też auta z silnikiem diesla.

Musimy pamiętać także o systematycznej edukacji o negatywnym wpływie zanieczyszczeń na środowisko i na nasze zdrowie. Edukacja ta powinna dotyczyć zarówno mieszkańców, jak i decydentów. Można uruchomić specjalne tablice informacyjne, portale, strony internetowe, aplikacje informujące np. o smogu.

Urozmaicona struktura krajobrazu miejskiego może wspierać zróżnicowanie gatunkowe porostów. Zadrzewienia przydrożne, skwery, parki, cmentarze, sady oraz ogródki działkowe, jak również grunty leżące odłogiem mogą stanowić miejsca występowania porostów. Niezwykle ważne może być zachowanie istotnych w krajobrazie miejskim siedlisk i podłoży, m.in. starych drzew rosnących na cmentarzach, skwerach, w parkach, sadach, przy drogach, konstrukcji drewnianych, gązów i kamieni. Co więcej, nie tylko zachowanie, ale i wprowadzanie nowych podłoży pochodzenia antropogenicznego, np. betonowych konstrukcji, jak ogrodzeń, pomników, posągów, słupów, murków, dachówek czy drewnianych konstrukcji pozwala na rozprzestrzenianie się porostów synantropijnych, jak i wpływa na kształtowanie się i powstawanie nowych zbiorowisk synantropijnych.

Na terenie Białegostoku wykazano występowanie porostów „specjalnej troski”, czyli chronionych i zagrożonych na terenach zieleni. Obecność wielu cennych i interesujących taksonów w krajobrazie miejskim podnosi wartość przyrodniczą stolicy Podlasia. Szczególnie wiele gatunków objętych ochroną prawną oraz zagrożonych znaleziono wśród porostów epifitycznych. Pojawiają się one zwłaszcza w obrębie zadrzewień parkowych, cmentarnych oraz w lasach, w tak charakterystycznych elementach dla wykształconego tutaj krajobrazu. Główne składniki tych zadrzewień – topole, klony, dęby, jesiony, brzozy i wierzby zaliczone zostały do grupy forofitów o największym bogactwie gatunkowym porostów.

Walog przyrodniczy tych zadrzewień wpływa na kształtowanie się specyficznych dla miasta warunków mikroklimatycznych. Podwyższa to poziom wilgotności w powietrzu, co korzystnie wpływa na warunki siedliskowe porostów. Większe skupiska drzew w mieście pozwalają obniżyć temperaturę powietrza nawet o kilka stopni w stosunku do miejsc, gdzie drzewa nie rosną. Pamiętajmy, że drzewa produkują tlen, szacuje się, że jedna 60-letnia sosna dostarcza tlenu dla trzech osób. Ograniczenie lub całkowite zaniechanie wycinania drzew, np. w lasach i ich zadrzewień na terenie miasta, jest ważne dla naszego zdrowia, jak i dla zachowania różnorodności biologicznej i pozwoliłoby zachować także cenne siedliska dla rozwoju porostów. Wskazane jest, aby przy zagospodarowywaniu terenów mieszkaniowych planować tereny do nasadzeń drzewami, np. przez tworzenie skwerów.

Niemniej ważne byłoby w przyszłości częściowo rozluźnienie warstwy krzewów celem zwiększenia dostępności światła docierającego do pni drzew budujących zadrzewienia. Zabieg ten sprzyjałby rozwojowi porostów światłolubnych i kserofilnych stanowiących o specyfice lichenobioty. Prowadzenie ciągłych prac pielęgnacyjnych, polegających na usuwaniu zakrzaceń podrostów drzew i krzewów rosnących, np. na powywracanych i zniszczonych nagrobkach na terenie nieczynnego cmentarza żydowskiego, korzystnie poprawi warunki do wegetacji porostów.

Na obszarach miejskich stare sady, ogrody działkowe to kolejne siedliska pozwalające przetrwać wielu rzadkim, chronionym i zagrożonym w skali kraju porostom. W związku z coraz częściej stosowaną praktyką wycinania starych i obumierających drzew owocowych, pozyskiwanie terenów działkowych pod zabudowę, wskazane byłoby zakładanie w pobliżu tych miejsc nowych zadrzewień. Lichenobiota starych drzew owocowych mogłaby być źródłem diaspor i porostów zasiedlających korowinę młodszych forofitów.

Celem prowadzenia aktywnej ochrony porostów sugerowane byłoby podjęcie starań na rzecz tworzenia kolejnych, nowych siedlisk pozwalających przetrwać porostom na obszarach miejskich. Przykładem tego typu działań jest tworzenie ogrodzeń z kamieni i drewna, lub pozostawianie obumarłych drzew. Drewniana zabudowa, oraz towarzyszące jej wiekowe drzewa, przypuszczalnie mogą stanowić istotne siedlisko dla rozwoju porostów epiksylicznych i epifitycznych.

Za istotne należy uznać dążenie do eliminacji, a przynajmniej do ograniczenia konfliktów przestrzennych wynikających z lokalizacji różnego rodzaju inwestycji, poprzez udostępnianie informacji o środowisku i jego ochronie, ocenie oddziaływania na środowisko.

W 1993 roku Białystok jako pierwsze miasto w Polsce, został przyjęty do międzynarodowego projektu Sieci Zdrowych Miast prowadzonego przez Światową Organizację Zdrowia WHO. Środowisko przyrodnicze Białegostoku wyróżnia się wieloma cennymi walorami i powinno być postrzegane jako istotny

wkład w dziedzictwo przyrodnicze regionu, stanowiąc jednocześnie podstawę dla rozwoju społeczno-gospodarczego i przestrzennego miasta. Konieczne jest wzmocnienie ochrony terenów o szczególnych walorach przyrodniczych i istotnych funkcjach ekologicznych oraz zapewnienie ich spójności przestrzennej. Dla trwałości procesów przyrodniczych na terenach cennych przyrodniczo zachowanych na obszarze miejskim szczególnie istotne są odpowiednie zapisy prawa miejscowego i zachowanie ciągłości planistycznej. Wykorzystanie porostów jako ekologicznych wskaźników do oceny wpływu urbanizacji, jak ich sukcesu adaptacji do warunków miejskich może dostarczyć podstawowych informacji dla programów zrównoważonego rozwoju urbanistycznego oraz planów rozwoju i zarządzania miastem.



Cmentarz żydowski, strefa IV (Fot. A. Matwiejuk)



Park Branickich, strefa IV (Fot. A. Matwiejuk)



Park Konstytucji 3 Maja, strefa IV (Fot. A. Matwiejuk)



Park Planty, strefa IV (Fot. A. Matwiejuk)



Rezerwat Las Zwierzyniecki, strefa V (Fot. A. Matwiejuk)



LITERATURA

- Armstrong R.A. 2017. Adaptation of lichens to extreme conditions. *Plant Adaptation Strategies in Changing Environment*, 1-27.
- Beschel R. E. 1950. Flechten als altersmasstab prenter moränen, zeitschrift für gletscherkunde und glazialgeologie 1: 152–161.
- Biega B., Nowak K., Polechońska L., Polechońska M. 2009. Porosty, jako wskaźniki stanu zanieczyszczenia powietrza na terenie miasta Wrocławia. Konferencja Naukowa Środowisko miejskie Wrocławia oczami przyrodników, Wrocław 23–24 kwietnia. 2009 r. 45–42. http://kos.ing.uni.wroc.pl/Zbior_abstraktow.pdf [dostęp: 24.06.2021]
- Bradwell T. 2009. Lichenometric dating: a commentary, in the light of some recent 2 statistical studies. *Geogr. Ann.* 91 A(2): 61-69.
- Bystrek J. 1986. Species of the genus *Bryoria* Brodo et Hawksw. (Lichenes, Usneaceae) in Europe. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Biol. Ser.* 34, 10–12: 293–300.
- Bystrek J. 1994. Studien über die Flechtengattungen *Usnea* in Europa. Wyd. Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin: 69.
- Bystrek J. 1997. Podstawy lichenologii. Wyd. Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin: 312.
- Bystrek J., Leonowicz A. 1987. Porosty i ich właściwości lecznicze. *Folia Societatis Scientiarum Lublinensis* 29.1: 27–37.
- Cieśliński S. 2003. Atlas rozmieszczenia porostów (Lichens) w Polsce Północno-Wschodniej. *Phytocenosis*, Warszawa-Białowieża.
- Cieśliński S., Czyżewska K. 1992. Problemy zagrożenia porostów w Polsce. *Wiadomości Botaniczne* 36(1/2): 5-17.
- Cieśliński S., Czyżewska K., Fabiszewski J. 2006. Red list of the lichens in Poland. [W:] Mirek Z., Zarzycki K., Wojewoda W., Szelaż Z. (eds.). *Red list of plants and fungi in Poland*. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Krakow: 71–89.
- Cislighi C., Nimis P.L. 1997. Lichens, air pollution and lung cancer. *Nature* 387: 463–464.
- Fałtynowicz W. 1994. Propozycja klasyfikacji porostów syntropijnych. Wprowadzenie do dyskusji. [W:] Kiszka J., Piórecki J. (red.). *Porosty apofityczne jako wynik antropopresji*. Materiały z Sympozjum Bolestraszyce, 4–9 wrzesień 1993. Arboretum Bolestraszyce, Bolestraszyce, 21-30.
- Fałtynowicz W. 1995. Wykorzystanie porostów do oceny zanieczyszczenia powietrza. *Zasady, metody, klucze do oznaczania wybranych gatunków*. Wyd. Fundacja Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi, Krosno.

- Fałtynowicz W. 2012. Porosty w lasach. Przewodnik terenowy dla leśników i taksatorów, CLIP, Warszawa.
- Fałtynowicz W. 2014. Porosty jako wskaźniki zmian w środowisku Karkonoszy. Drukarnia Pasaż, Jelenia Góra.
- Fałtynowicz W. 2020. Przewodnik do rozpoznawania gatunków na drzewach przydrożnych. Drogi do natury, ss.180. <http://drzewa.org.pl/wp-content/uploads/2020/01/Porosty-z-okładką.pdf> [dostęp: 10.05.2021]
- Fałtynowicz W., Kossowska M. 2016. The lichens of Poland. A fourth checklist. Department of Botany, University of Wrocław.
- Fernandez-Mendoza F., Fleischhacker A., Kopun T., Grube M., Muggia L. 2017. ITS1 metabarcoding highlights low specificity of lichen mycobiomes at a local scale. *Mol. Ecol.* 26: 4811–4830.
- Frati L., Caprasecca E., Santoni S., Gaggi C., Guttová A., Gaudino S., Pati A., Rosamilia S., Pirintzos S.A., Loppi S. 2006. Effects of NO₂ and NH₃ from road traffic on epiphytic lichens. *Environmental Pollution* 142: 58–64.
- Gaio-Oliveira G., Dahلمان L., Palmqvist K., Máguas C. 2004. Ammonium uptake in the nitrophytic lichen *Xanthoria parietina* and its effect on vitality and balance between symbionts. *Lichenologist* 36: 75–86.
- Golubkova N.S. 1977. Porosty. [W:] Hollerbach M.M. (ed.) *Życie roślin. Tom 3. Glony, Porosty.* Edukacja, Moskwa.
- Guzew-Krzemińska B., Kukwa M. 2013. Metody badawcze we współczesnej taksonomii porostów. *Kosmos* 62(1): 95–103.
- Harańczyk H. 2003. Rozważania o dwóji z fizyki, czyli jak zamarza woda. *Foton* 83, Zima, 23–29.
- Harańczyk H. 2006. Wybrane zastosowania NMR w biofizyce – wykład. Mikrosymposium NMR w Instytucie Chemii Uniwersytetu w Białymstoku, 20 października 2006.
- Hawksworth D.L., Rose F. 1970. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature* 227: 145–148.
- Ibañez L.M., García R.A., Fiorini F.D., Montalti D. 2018. Lichens in the nests of European starling *Sturnus vulgaris* serve a mate attraction rather than insecticidal function. *Turk J. Zool.* 42: 316–322.
- Innes J.I. 1990. The use of lichens in dating. [W:] *CRC Handbook of lichenology*, T. III: 75–91.
- Izydorek I. 2005. Porosty wybranych miast na polskim wybrzeżu. *Acta Bot. Cassub.* 5: 173–178.
- Jenkins B., Richards T.A. 2019. Symbiosis: Wolf Lichens Harbour a Choir of Fungi. *Current Biology* 29: 88–90.
- Kiszka J. 1990. Lichenoidykcja obszaru województwa krakowskiego. *Stud. Ośr. Dokument. Fizjogr.* 18: 201–212.
- Kiszka J. 1999. Porosty (*Lichenes*) oraz warunki bioekologiczne Przemysła. *Arboretum Boleszasyce Z.* 6: 1–86.
- Kotarba A. 1988. Lichenometria i jej zastosowanie w badaniach geomorfologicznych w Tatrach. *Wszechświat*, 89, (1): 11–15.
- Kotarba A. 1989. On the age of debris flows in the Tatra Mountains. *Studia Geomorph. Carp.-Balc.* 23: 139–152.

- Kubiak D. 2020. Występowanie i znaczenie porostów w ekosystemach leśnych. Wykłady. <http://wbib.uwm.edu.pl/sites/default/files/uploads/les-bot2-wporost.pdf> [dostęp: 23.03.2021].
- Lange O.L., Green T.G.A., Ziegler H. 1988. Water status related photosynthesis and carbon isotope discrimination in species of the lichen genus *Pseudocyphellaria* with green and blue green photobionts and in photosymbiodemes. *Oecologia* 75: 394–411.
- Larsen R.S., Bell J.N.B., James P.W., Chimonides P.J., Rumsey F.J., Tremper A., Purvis O.W. 2007. Lichen and bryophyte distribution on oak in London in relation to air pollution and bark acidity. *Environmental Pollution* 146(2): 332–340.
- Matwiejuk A., Kolanko K. 2007. Lichens of Ciechanowiec and its environs (Eastern Poland) *Rocz. AR Pozn.* 386, *Botanika-Steciana* 11: 85–93.
- Matwiejuk A., Korobkiewicz K. 2012a. Stan bioty porostów w miastach Polski. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 51: 85–105.
- Matwiejuk A., Korobkiewicz K. 2012b. Lichens of Narew and its surroundings (Podlasie, North-Eastern Poland). *Rocz. AR Pozn.*, *Botanica Steciana* 16: 93–100.
- Matwiejuk A., Wójtowicz E. 2013. Porosty Ełku w województwie warmińsko-mazurskim. [W:] Ciereszko I., Bajguz A. (red.), *Różnorodność biologiczna - od komórki do ekosystemu. Rośliny i grzyby w zmieniających się warunkach środowiska*, Białystok, Pol. Tow. Botaniczne 21: 291–306.
- Matwiejuk A., Chojnowska P. 2016. Lichens of Łomża town (Podlasie, North-Eastern Poland). *Rocz. AR Pozn.*, *Botanica-Steciana* 20(2): 53–62.
- Matwiejuk 2000. Water content in terricolous lichens. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 69(1): 55–63.
- Matwiejuk A. 2007a. Porosty Białegostoku. Analiza florystyczno-ekologiczna, Tom I. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok.
- Matwiejuk A. 2007a. Porosty Białegostoku, jako wskaźniki zanieczyszczenia atmosfery, Tom II. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok.
- Matwiejuk A. 2008a. Porosty i ich właściwości lecznicze. *Kosmos* 1-2(278–279): 85–91.
- Matwiejuk A. 2008b. Lichens of Mielnik over river Bug (Podlasie, Eastern Poland). *Opole Scientific Society Nature J.* 41: 5–18.
- Matwiejuk A. 2009a. Porosty miejscowości Boćki i okolic na Podlasiu (NE Polska). *Opole Scientific Society Nature Journal* 42: 49–61.
- Matwiejuk A. 2009b. Lichens of Drohiczyn on the Bug river (Podlasie, Eastern Poland). *Rocz. AR Pozn.* 388, *Botanika-Steciana* 13: 57–62.
- Matwiejuk A. 2011. Anthropogenic changes of lichen biota of the Białowieża town (Podlasie, Eastern Poland). *Rocz. AR Pozn.* 390, *Botanika-Steciana* 15: 129–138.
- Matwiejuk A. 2015. Lichens of Supraśl town (Podlasie, North-Eastern Poland). *Rocz. AR Pozn.*, *Botanica Steciana* 19(3): 133–142.
- Matwiejuk A. 2017. Lichens of Sokółka (Podlasie, North-Eastern Poland). *Polish Journal of Natural Science* 32(1): 71–89.
- Nash III T. H. (red.). 1996. *Lichen biology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nash III T. H. (red.). 2008. *Lichen Biology. Second Edition*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Opanowicz M. 2002. Ekologiczna rola wtórnych metabolitów porostowych. *Wiadomości Botaniczne* 46(1/2): 35–44.

- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 października 2014 r. w sprawie ochrony gatunkowej grzybów Dz. U. 2014 poz. 1408
- Rydzak J. 1953. Rozmieszczenie i ekologia porostów miasta Lublina. *Annales UMCS, Sect. C* 8(9): 233–356.
- Smith H., Dal Grande F., Muggia L., Keuler R., Divakar P. K., Grewe F., Schmitt I., Lumbsch H.T., Leavitt S.T. 2020. Metagenomic data reveal diverse fungal and algal communities associated with the lichen symbiosis. *Symbiosis* 82: 133–147.
- Spribille T., Tuovinen V., Resl P., Vanderpool D., Wolinski H., Aime M.C., Schneider K., Stabentheiner E., Toome-Heller M., Thor G., Mayrhofer H. 2016. Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens. *Science* 353(6298): 488–492.
- Studzińska E., Witkowska-Banaszczak E., Byłka W. 2008. Związki biologiczne aktywne porostów. *Herba Polonica* 54(1): 81–88.
- Tolpysheva T. 2004. Lichens. *The Great Russian Encyclopedia*. <https://bigenc.ru/biology/text/2176725> [dostęp: 22.03.2021]
- Uloa M. 2015. The Kingdom of the Fungi. Figure 478. Live cycle of *Parmelia imbricatula* (Lichens). <http://unibo.unam.mx/irekani/bitstream/123456789/32022/1/11756.jpg> [dostęp: 23.03.2021]
- Uszyński K., Chochlew L. 1987. Ogród Roślin Zdatnych do Zażycia Lekarskiego przy Muzeum Rolnictwa im. Krzysztofa Kluka. Krajowa Agencja Wydawnicza w Białymstoku.
- van Herk C.M. 2001. Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of changes in epiphytic lichen composition in space and time. *Lichenologist* 33: 419–441.
- Van Herk C.M. 2002. Epiphytes on wayside trees as an indicators of eutrophication in the Netherlands. [In:] Nimis P. L., Scheidegger C., Wolseley P.A. (eds.). *Monitoring with lichens – Monitoring lichens*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht – Boston – London: 285–289.
- van Herk, C.M., Mathijssen–Spiekman, E.A.M., de Zwart, D. 2003. Long distance nitrogen air pollution effects on lichens in Europe. *Lichenologist* 35: 347–359.
- Zarabska D. 2011. Porosty w krajobrazie rolniczym Sandru Nowotomyskiego [PhD thesis]. Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Poznań.
- Zimny H. 2006. Ekologiczna ocena stanu środowiska. Bioindykacja i biomonitoring. Agencja Reklamowo-Wydawnicza A. Grzegorzczak, Stare Pabice.
- © J. Asta, <https://www.encyclopedie-environnement.org/en/life/lichens-pioneering-organisms/> [dostęp: 22.03.2021]
- <http://plantlife.ru/books/item/f00/s00/z0000025/pic/000368.gif> [dostęp: 22.03.2021]
- <http://plantlife.ru/books/item> [dostęp: 22.03.2021]
- https://szl.wikipedia.org/wiki/Umbilicaria_esculenta [dostęp:22.03.2021]
- https://www.loodusmuseum.ee/sites/default/files/kataloog_vapradjailusad_est.pdf [dostęp:22.03.2021]
- <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/ONZ-klimat-srodowisko-Program-Srodowiskowy-9972.html> [dostęp:31.05.2021]
- <https://www.onet.pl/informacje/smoglabpl/david-attenborough-zmierzamy-do-katastrofy/73fnyvm,30bc1058> [dostęp:27.07.2021]
- <http://encyklopedia.warmia.mazury.pl/index.php> [dostęp: 24.08.2021]
- <https://nagrzyby.pl/atlas> [dostęp: 21.08.2021]

Słowniczek

- **Apotecjum** – owocnik typu miseczka, z otwartą warstwą rodzajną, może mieć kształt kolisty, kanciasty, nieregularny, wydłużony, gwiazdkowaty lub widełkowato rozgałęziony.
- **Areolki** – okrągłe albo nieregularne fragmenty plechy skorupiastej, lub warstwy korowej, popękanej na skutek rozrastania się.
- **Cyfelle** – bardzo drobne otworki w korze dolnej plechy porostów. Wyściełone są strzępkami grzyba.
- **Izydia** – lub wyrostki twory służące do rozmnażania wegetatywnego porostów. Powstają na powierzchni plechy, jako jej uwypuklenie. Ich zewnętrzną warstwę stanowi kora plechy, w środku znajdują się komórki fotoionta (glonu) oraz strzępki grzyba (mykobiontu). Istnieje duża różnorodność rozmiarów i kształtów izydiów; mogą być brodawkowate, maczużkowate, igiełkowate, koralikowate i łuseczkowate. Zazwyczaj u nasady są zwężone, wskutek czego oddzielają się od plechy dość łatwo.
- **Plecha** – wegetatywne ciało porostów, zbudowane ze strzępek grzyba i komórek glonu.
- **Podecja** (l. poj. podecjum) – postać plechy wtórnej w formie pojedynczych lub rozgałęzionych trzoneczków, wyrastających na plesze pierwotnej.
- **Przedplesze** – u skorupiastych porostów część plechy pozbawiona glonów, występująca na obwodzie i inicjująca wzrost. Zwykle jest ono widoczne w postaci wąskich, ciemno zabarwionych, przeważnie czarniawych linii, rzadziej szerszego pasemka, albo promieniście rozgałęzione na wążiutkie odcinekczki.
- **Pseudocyfelle** – pęknięcia lub rozluźnienia warstwy korowej, od bardzo drobnych do około 4 mm, przez które często widoczny jest białawy miąższ, mogą być kropeczkowate, plamkowate, porozgałęziane często łączą się w siateczkę białawych linii.
- **Pyknidia** – drobne, kuliste lub gruszkowate struktury, w których tworzą się zarodniki – pyknokonidia (pyknospory), widoczne są na powierzchni plechy jako ciemne kropeczki lub brodaweczki z otworkiem na szczycie.
- **Soralia** – (l. poj. soralium) skupienia sorediów, o kształcie charakterystycznym dla danego gatunku, mogą być kropeczkowate, plamkowate, brodawkowate, kraterowate, płatowate, szczelinowate, tasiemkowate lub inne. Soralia mogą powstawać na środku, na końcach odcinków lub na brzegach plechy.
- **Soredia** – lub urwistki, drobne wytwory plechy porostów, które składają się z komórki lub kilku komórek glonu oplecionych strzępkami grzyba. Służą do wegetatywnego rozmnażania się porostów. Mogą powstawać na powierzchni plechy lub w specjalnych soraliach. Urwistki powstające na powierzchni plechy tworzą na niej mączyste lub ziarenkowate naloty. Urwistki roznoszone są przez wiatr, wodę lub zwierzęta.



GALERIA



Złotlinka jaskrawa *Vulpicida pinastri* i tarczownica bruzdkowana *Parmelia sulcata*
(Fot. A. Matwiejuk) – strona 208

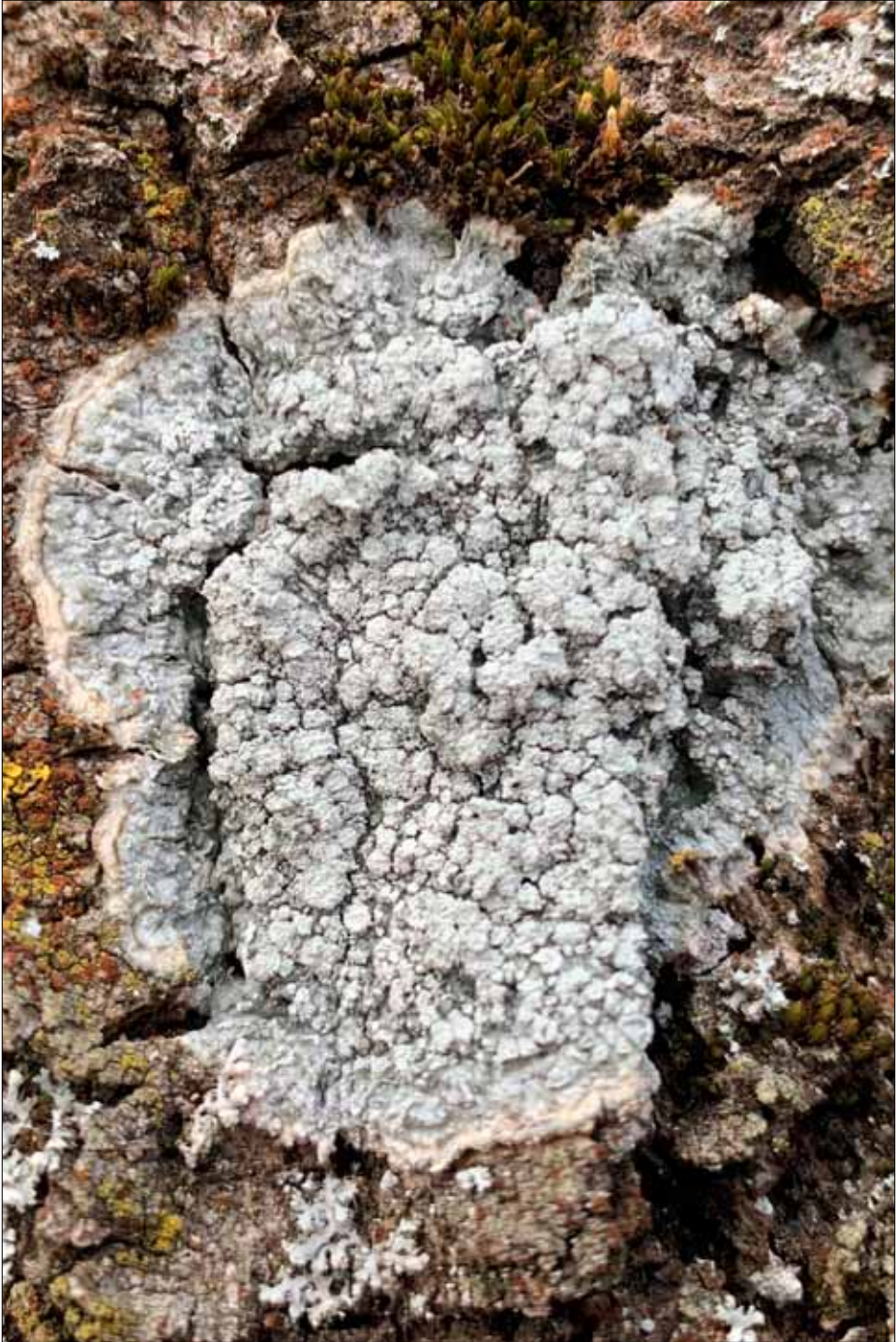




Liszajecznik ziarnisty *Candelariella xanthostigma* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 164



Otwornica gorzka *Pertusaria amara* (Fot. P. Sarżyński) – strona 134



Otwornica zwyczajna *Pertusaria albescens* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 229



Brodaczka zwyczajna *Usnea dasopoga* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 198



Brodaczka kępkowa *Usnea hirta* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 199



Mąkla tarniowa *Evernia prunastri* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 154



Odnożyca mączysta *Ramalina farinacea* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 205





Obrost gwiazdkowaty *Physcia stellaris* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 159



Chrobotek strzępiasty *Cladonia fimbriata* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 147



Chrobotek szydlasty *Cladonia coniocraea* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 142





Brązowniczkę brązową *Tuckermanopsis chlorophylla* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 211





Mąklik otrębiasty *Pseudevernia furfuracea* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 140





Misecznicza jaśniejsza *Lecanora chlorotera* (Fot. A. Matwiejuk) - strona 169



Przylepniczka łuseczkowata *Melanohalea exasperatula* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 156



Wabnica kielichowata *Pleurosticta acetabulum* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 211





Obrostrnica rzęsowata *Anaptychia ciliaris* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 197



Szarzynka skórzasta *Parmelina tiliacea* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 211



Tarczownica bruzdkowana *Parmelia sulcata* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 167



Odnóżycza opylona *Ramalina pollinaria* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 211



Odnóżycza jesionowa *Ramalina fraxinea* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 211





Plucnik modry *Platismatia glauca* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 144





Pustułka rurkowata *Hypogymnia tubulosa* (Fot. J. Kupryjanowicz) - strona 207





Pustątka pęcherzykowata *Hypogymnia physodes* (Fot. J. Kupryjanowicz) – strona 139





Rozetnik murowy *Protoparmeliopsis muralis* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 173





Żółtaczek zwodniczy *Calogaya decipiens* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 173





Żółtaczek drobny *Calogaya pusilla* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 173





Chrobotek strzępiasty *Cladonia fimbriata* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 147





Płucnica islandzka *Cetraria islandica* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 190





Ziarniak humusowy *Placynthiella uliginosa* (Fot. A. Matwiejuk) – strona 192





Chrobotek łagodny *Cladonia mitis* i chrobotek reniferowy *Cladonia rangiferina*
(Fot. J. Kupryjanowicz) – strona 186





Mozaika porostów na drewnianym płocie (Fot. A. Matwiejuk) – strona 184





Mozaika porostów na drewnianym płocie (Fot. A. Matwiejuk) – strona 184

POROSTY

Pojęcie różnorodności biologicznej, tak popularne w ostatnich latach, dotyczy wszystkiego, co nas otacza oraz warunków, w jakich żyjemy. Człowiek jest jedynie częścią składową tego skomplikowanego układu. Gatunek ludzki, jak żaden inny żywy organizm, ma olbrzymi wpływ na kształtowanie środowiska, a więc i na jego bioróżnorodność. Niestety, w większości przypadków ten wpływ jest bardzo szkodliwy, a często wręcz niszczący. W roku 1992 na „Szczycie Ziemi” w Rio de Janeiro podpisana została Konwencja o różnorodności biologicznej, która kładzie szczególny nacisk na edukację i podnoszenie świadomości społeczeństwa na temat ochrony bioróżnorodności.

Projekt „Bioróżnorodność Miasta Białegostoku” to próba poznania, analizy i opisanie kondycji przyrody naszego miasta. To także wskazanie najcenniejszych obiektów przyrodniczych, które wymagają szczególnej troski i konkretnych działań, aby uchronić je przed degradacją. Do projektu udało się nam zaprosić wybitnych przedstawicieli świata nauki, którzy pracują i realizują swoje zawodowe pasje na białostockich uczelniach.

Całość projektu obejmuje czternaście publikacji, poświęconych najważniejszym i najcenniejszym gatunkom flory i fauny Białegostoku. Wskażemy także wartościowe z punktu widzenia różnorodności biologicznej obszary miasta, a także zastanowimy się nad sposobem ich ochrony.

Naszą ambicją jest, aby wszystkie opracowania były interesujące, napisane zrozumiałym językiem i stanowiły cenny materiał do dalszych badań i analiz. Każde z nich będzie bogato ilustrowane wysokiej jakości zdjęciami przyrodniczymi, rysunkami, zestawieniami danych ujętych w formie tabelarycznej i wykresami. Zadbamy także o to, żeby wszystkie publikacje miały swój niepowtarzalny styl i charakter.

Gwarantuję, że podczas lektury każdy czytelnik będzie mógł odkrywać na nowo przyrodę Białegostoku i zdobyć dużo praktycznej wiedzy. Jestem przekonany, że po zapoznaniu się z naszymi publikacjami większość z Państwa będzie pozytywnie zaskoczona jakością białostockiej przyrody i z większym zrozumieniem oraz poszanowaniem będzie korzystać z jej walorów.

Andrzej Piotr Karolski

