



Karkonoski
Park Narodowy

55 lat Karkonoskiego
Parku Narodowego

Porosty jako biowskaźniki zmian w środowisku Karkonoszy

Wiesław Fałtynowicz



Jelenia Góra 2014



Porosty jako bio wskaźniki zmian w środowisku Karkonoszy

© Karkonoski Park Narodowy z siedzibą w Jeleniej Górze,
ul. Chałubińskiego 23, 58-570 Jelenia Góra

Tekst: Wiesław Fałtynowicz

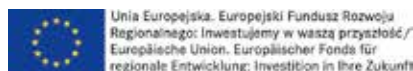
Fotografie: Wiesław Fałtynowicz

Fotografia na 1. stronie okładki: .

Fotografia na 4. stronie okładki:

Skład i druk: Drukarnia PASAŻ, ul. Rydlówka 24, 30-363 Kraków

ISBN: 978-83-64528-11-8



Projekt „Odnowa w środowisku – „Czarny trójkąt” nabiera kolorów” w ramach POWT SN-PL 2007-2013 współfinansowany jest ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego Programu Operacyjnego Współpracy Transgranicznej Polska – Saksonia 2007-2013.

SENCKENBERG
world of biodiversity



Wstęp

Porosty, nazywane także grzybami zlichenizowanymi, to grupa organizmów powszechnych w przyrodzie, chociaż rzadko dostrzeganych. Są to grzyby (głównie workowce, bardzo rzadko podstawczaki), które współżyją z samożywnymi glonami – zielenicami lub sinicami (cyanobakteriami). Dzięki tej swoistej symbiozie porosty zyskują zupełnie inne cechy morfologiczne, chemiczne i fizjologiczne niż grzyby i glony wolnożyjące, stając się zupełnie nową jakością biologiczną. Posiadają także swoiste właściwości, pozwalające im zasiedlać prawie wszystkie podłoża i siedliska, w tym trudno dostępne dla innych organizmów, np. pnie i gałęzie drzew, skały naturalne i antropogeniczne (beton, tynki, cegły, dachówki), drewno, jałowa, naga gleba, metal, szkło, tworzywa sztuczne itp. W związku z powyższym występują prawie wszędzie, unikając tylko miejsc o skrajnie zanieczyszczonym powietrzu oraz zbiorowisk roślinnych silnie zmienionych przez człowieka (pola uprawne, żyzne, świeże i wilgotne łąki).

Karkonosze są wyjątkowym pasmem górskim pod wieloma względami, w tym również pod względem zróżnicowania gatunków porostów tutaj stwierdzonych. Prowadzone od pierwszej połowy XIX wieku prace, początkowo przez naukowców niemieckich, a później polskich i czeskich, zaowocowały znalezieniem ponad 750 gatunków porostów. Niestety, współcześnie

nie udało się potwierdzić obecności aż ponad 200 z nich; przyczyną są niekorzystne antropogeniczne zmiany środowiska tych gór. Niektóre wielokopelchowe porosty (makroporosty) już w połowie XIX w. były w Karkonoszach bardzo rzadkie, np. brodaczka najdłuższa *Usnea longissima* i tarczyna przygraniczna *Lobarina scrobiculata*, ale kilka gatunków charakterystycznych dla

lasów pierwotnych występowało jeszcze licznie i często, np. mąkla rozłożysta *Evernia divaricata*, granicznik płucnik *Lobaria pulmonaria*, tarczynka dziurkowana *Menegazzia terebrata* i podgranicznik ponury *Sticta fuliginosa*. Obecnie żadnego z wymienionych wyżej gatunków nie udało się odnaleźć w Karkonoszach, a pierwszy z nich jest uznany za wymarły w Polsce.

Bogactwo gatunków Karkonosze zawdzięczają splotowi wielu czynników środowiskowych, spośród których na czoło wysuwają się: urozmaicona budowa geologiczna, pozwalająca na współbytność porostów o różnych wymaganiach siedliskowych, oraz wyniesienie masywu powyżej górnej granicy lasu, dzięki czemu mogą występować tu gatunki wysokogórskie i typowe dla obszarów chłodnych. Nie bez znaczenia jest także wielowiekowa gospodarka człowieka, czego dowodem jest obecność w Karkonoszach kilkudziesięciu gatunków porostów synantropijnych rosnących na murach i ścianach schronisk.

Kłęska ekologiczna a porosty

Zjawisko określane nazwą „kłęski ekologicznej” było procesem bardzo złożonym i wielowątkowym. Szybkie i masowe wymieranie drzewostanów w drugiej połowie XX wieku to efekt końcowy całego szeregu działań człowieka, które stopniowo nasilały się, osiągając apogeum w latach 70. i 80 ubiegłego stulecia. Intensywne wylesienia rozpoczęły się w Karkonoszach już w XV wieku. Szybko wytrzebiono prawie całkowicie dolnoreglowe bukowe lasy liściaste, które zastąpiono monokulturami świerka, w większości pozyskanego z nasion obcego pochodzenia. W efekcie nastąpiła silna degradacja siedlisk, a liczne gatunki porostów nadrzewnych straciły swoje naturalne podłoża, jakimi były pnie buków, jaworów, jodeł i świerków (Ryc. 1). Jednocześnie rosło zanieczyszczenie powietrza,



Ryc. 1. Martwe świerki w Karkonoskim Parku Narodowym – utracone podłoża dla porostów.



Ryc. 2. Misecznica proszkowata *Lecanora conizaeoides* – porost, który po klęsce ekologicznej zdominował korę drzew w Karkonoszach.

głównie związkami siarki, osiągając kulminację w II połowie XX w., w wyniku którego nastąpiło skrajne zakwaszenie siedlisk i podłoży. Doprowadziło to do całkowitego wyginięcia lub zdecydowanego zmniejszenia liczby stanowisk większości porostów nadrzewnych. W latach 80. XX wieku z terenu Karkonoszy prawie zupełnie znikły epifytyczne porosty o plechach listkowatych i krzaczkowatych. Tylko nieliczne z nich przetrwały w miejscach osłoniętych, o swoistym mikroklimacie, głównie w dolinach potoków. W tym czasie na pniach drzew w karkonoskich lasach dominowały nieliczne skorupiaste gatunki kwasolubne i odporne na zanieczyszczenia, takie jak misecznica proszkowata *Lecanora conizaeoides* (Ryc. 2), paznokietnik ostrygowy *Hypoceno-myce scalaris*, krużynki: maczugowata i ziaren-

kowata *Micarea botryoides* i *M. prasina* s.l. oraz kilka proszkowatych taksonów z rodzaju liszajec *Lepraria*; w niektórych miejscach nawet te gatunki wykazywały objawy obniżonej żywotności.

Po 1990 r. znacznie zwiększyła się dbałość o stan środowiska. Jednocześnie recesja i transformacja gospodarcza doprowadziły do likwidacji lub restrukturyzacji wielu zakładów przemysłowych zanieczyszczających powietrze, które były zlokalizowane wokół Karkonoszy – w Polsce, w Czechach i Niemczech. Doprowadziło to do znaczącej poprawy czystości powietrza atmosferycznego. Lasy Karkonoszy zaczęły się regenerować, pojawiło się nowe pokolenie świerka odnawiającego się samorzutnie lub sadzonego przez leśników (Ryc. 3). Jednocześnie Park roz-



Ryc. 3. Odnawiające się świerki w reglu górnym w Karkonoszach.



Ryc. 4. Pustulka pęcherzykowata *Hypogymnia physodes* – jeden z pionierów rekolonizacji na gałązce świerka.

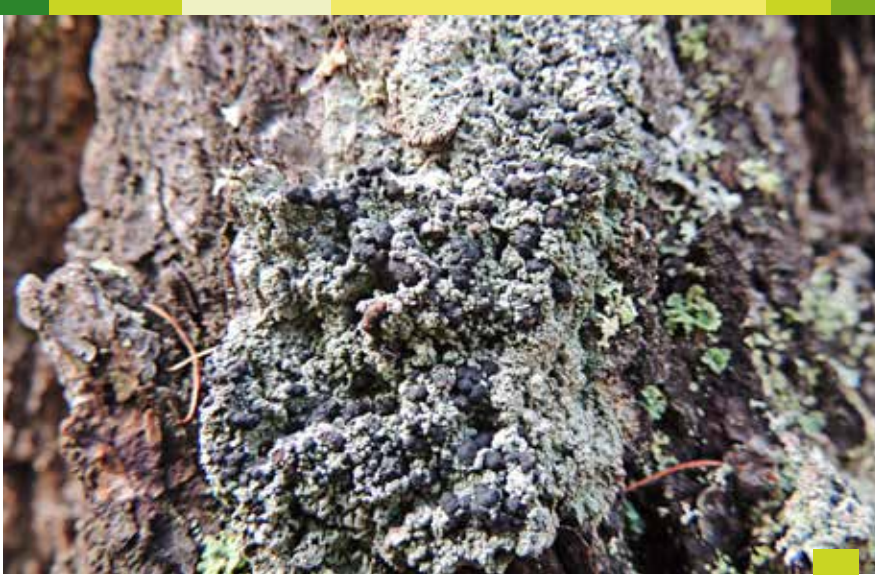
począł działania zmierzające do przebudowy gatunkowej i strukturalnej lasów, wykorzystując do tego odnowienia naturalne, a także prowadząc nasadzenia pożądanych gatunków drzew. Do chwili obecnej zakończyła się przebudowa regła górnego, natomiast prace w reglu dolnym, ze względu na znacznie większe zniszczenia i przekształcenia drzewostanów, są zakrojone na dziesięciolecia. Niemniej, już obecnie znacznie zmniejszył się udział świerka w lasach dolnoregłowych, a zwiększył – buka, jawora i jodły. W ślad za postępującą naturalizacją zbiorowisk leśnych powracają do nich liczne gatunki roślin, zwierząt i grzybów. Powrót roślin jest wspomagany przez naukowców i pracowników Parku. W Karkonoskim Banku Genów, założonym w Jagniątkowie, uprawia się kilkadziesiąt rzadkich i zagrożonych gatunków roślin, które na-

stępnie wysadza się do naturalnych zbiorowisk, wzmacniając w ten sposób populacje tam istniejące. Niestety, nie da się tego zrobić z porostami – należy zdać się na procesy naturalne i czekać, aż wiatr i zwierzęta (głównie ptaki) przyniosą zarodniki i fragmenty plech.

Znaczące zmniejszenie się ilości zanieczyszczeń i naturalna oraz wspomaganą przez człowieka regeneracja lasów, to czynniki, które zainicjowały proces rekolonizacji przez porosty obszarów ongiś przez nie opuszczonych. Pionierami rekolonizacji były pospolite wcześniej w Karkonoszach gatunki listkowate: pustulka pęcherzykowata *Hypogymnia physodes* (Ryc. 4) i płaskotka rozlana *Parmeliopsis ambigua*, a także krzaczkowaty mąklik otrębiasty *Pseudevernia furfuracea* (Ryc. 5), ale szybko w ślad za nimi pojawiły się



Ryc. 5. Masowy pojaw plech mąklika otrębiastego *Pseudevernia furfuracea* na martwym świerku.

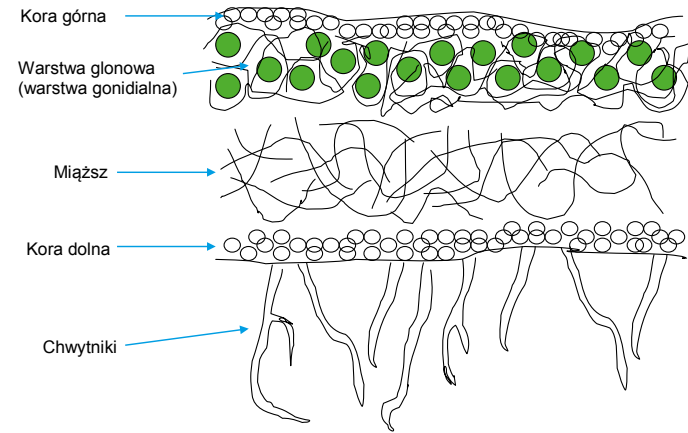


Ryc. 6. Bardzo rzadki w kraju grzybnik krwawy *Mycoblastus sanguinarius* jest jednym ze wskaźników naturalności lasu.

pierwsze krzaczkowate plechy mąkły tarniowej *Evernia prunastri* oraz nitkowate – brodaczek *Usnea* i włostek *Bryoria*, bardzo wrażliwych na zanieczyszczenia i zmiany w mikroklimacie leśnym. W ostatnich latach odnajduje się coraz to nowe porosty, które wróciły w Karkonosze, w tym gatunki właściwe dla niezaburzonych lasów dolnoregłowych, takie jak: literak właściwy *Graphis scripta*, otwornica szkarłatna *Pertusaria coccodes*, miscznicza wytworna *Lecanora intumescens*, grzybnik krwawy *Mycoblastus sanguinarius* (Ryc. 6) i brodaczka zwyczajna *Usnea filipendula*. Tempo rekolonizacji jest zaskakująco szybkie, ale do powrotu do stanu chociażby z połowy XIX wieku jest jeszcze bardzo daleko.

Powrót wymarłych w Karkonoszach porostów jest uwarunkowany między innymi obecnością ich stanowisk w sąsiedztwie tych gór lub w enklawach w obrębie Parku. Takimi enklawami okazały się głęboko wcięte, osłonięte doliny potoków – Łomniczek, Płomienicy, Łomnicy i innych, w których przetrwały nieliczne plechy bardziej wrażliwych gatunków. Zarodniki lub frag-

menty plech są przenoszone na inne obszary Parku i – przy braku zanieczyszczeń – szybko osiedlają się w nowych miejscach. Niestety, w drugiej połowie XX wieku zmiany w środowisku były tak duże, szczególnie w południowej i zachodniej części Polski, że liczne gatunki porostów wymarły na dużych obszarach. W promieniu dziesiątek i setek kilometrów od Karkonoszy nie ma plech wielu gatunków, które mogłyby zainicjować rekolonizację. Dotyczy to między innymi makroporostów wymienionych we wstępie tego opracowania. Z czasem przyroda poradzi sobie z tym problemem – zarodniki porostów mogą pokonywać (niesione wiatrem lub przez ptaki) olbrzymie odległości, ale może to potrwać jeszcze dziesiątki lat. O tym, że jest to możliwe, świadczy fakt znalezienia stanowiska mąkły rozłożystej *Evernia divaricata* na młodym modrzewiu w nadleśnictwie Oleśnica niedaleko Wrocławia. Gatunek ten ostatni raz był notowany na Dolnym Śląsku w połowie XIX wieku, a jego najbliższe współczesne stanowiska znajdują się kilkaset kilometrów od Oleśnicy.



Ryc. 7. Przekrój przez plechę warstwowaną (rys. Hanna Fałtynowicz, z książki W. Fałtynowicza „Porosty dla leśników”).

Porosty jako biowskaźniki

W plechach porostów zawsze przeważają strzępki grzyba, a glony zwykle tworzą cienką warstwę blisko górnej powierzchni plechy (Ryc. 7). Glony są najbardziej wrażliwym na zmiany siedliskowe składnikiem plech porostowych. W wyniku oddziaływania zanieczyszczeń powietrza degradacji ulegają w pierwszej kolejności cząsteczki chlorofilu w komórkach glonów, uniemożliwiając prowadzenie fotosyntezy. W efekcie komórki glonów obumierają, a w konsekwencji ginie porost. Wbrew pozorom, wnętrze plech jest bardzo słabo chronione przez korę utworzoną przez strzępki grzyba, ponieważ znajduje się w niej wiele miejsc o luźnej strukturze, stanowiących drogi wnikania toksycznych związków chemicznych. Poza gazami zawartymi w powietrzu i w wodzie opadowej, trujące dla porostów są pyły, które niszczą plechy w sposób mechaniczny; pokrywając plechę uniemożliwiają wymianę gazową i ograniczają glonom dostęp do światła. Ponadto toksyny zawarte w pyłach rozpuszczają się w wodzie i przenikają

do wnętrza plech. Pośrednie działanie szkodliwych związków, to zmiana warunków siedliskowych, a głównie zakwaszenie podłoża. Istnieje wyraźna korelacja między stężeniem SO_2 w powietrzu a odczynem kory drzew. Na drzewach w miastach odczyn kory często obniża się o 2-3 jednostki, co eliminuje wszystkie lub większość gatunków kwasolubne. Ponieważ większość gatunków porostów ma wąską skalę ekologiczną (co oznacza że rosną tylko w ściśle określonych warunkach siedliskowych i mają znikome możliwości przystosowywania się do zmian zachodzących w ich otoczeniu), to wszelkie zaburzenia w środowisku są dla nich dużym stresem.

Opisane wyżej cechy porostów sprawiają, że są one powszechnie uznane za bardzo dobre biowskaźniki (bioindykatory) zmian w środowisku, a szczególnie zanieczyszczenia powietrza. Są one w tych celach wykorzystywane na wszystkich kontynentach, nie wyłączając Antarktydy, gdzie określano przy ich pomocy stopień skażenia środowiska metalami ciężkimi.

Reakcja porostów na substancje toksyczne zależy od wielu czynników oddziałujących kompleksowo. Są to:

- morfologia plechy
- właściwości biologiczne gatunku
- stan fizjologiczny plechy
- właściwości podłoża
- warunki klimatycznych
- ukształtowanie otaczającego terenu
- rodzaj toksycznego związku, pierwiastka czy ich mieszaniny
- stężenie toksyn
- odległość od źródła emisji
- rodzaj zabudowy wokół miejsca, w którym rośnie dany porost
- obecność „kanałów wentylacyjnych”
- charakter zieleni wokół (niska, wysoka, luźna, zwarta).

Zanieczyszczenia najsilniej wpływają na porosty, których plechy są uwodnione, co w naszych warunkach klimatycznych ma miejsce głównie zimą i jesienią, rzadziej wiosną, a najrzadziej latem. W plechach suchych procesy metaboliczne są znacznie spowolnione lub prawie wstrzymane i porosty znajdują się wówczas w stanie „śpiączki posusznej”; są wtedy w małym stopniu uszkodzane przez SO_2 . Najwyższy poziom aktywności plech przypada na jesień i zimą, dzięki wzrostowi wilgotności powietrza oraz obniżeniu temperatury. Dlatego też w tych porach roku porosty są w większym stopniu narażone na wpływ toksyn. W tym okresie następuje również gwałtowny wzrost emisji SO_2 ze źródeł komunalnych, częściej także występują mgły. Ponadto częste opady z chmur deszczowych tworzących się w okresie jesiennym w niskiej, silnie zanieczyszczonej warstwie atmosfery, ułatwiają dostarczenie substancji toksycznych na plechy porostów.

Metody wykorzystywania porostów jako biowskaźników

Metoda gatunków wskaźnikowych (skała porostowa)

W celu oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego konstruuje się tzw. skale porostowe. Oparte są one wyłącznie na grupach gatunków porostów nadrzewnych (epifitycznych) o różnej wrażliwości na związki toksyczne; na tej podstawie można wydzielić kilka stref o różnym stopniu zanieczyszczenia. W skali opracowanej przez W. Fałtynowicza wyróżnia się następujące strefy:

- I – bezwzględna pustynia porostowa (o skrajnie zanieczyszczonym powietrzu), w której porosty nadrzewne nie występują;
- II – względna pustynia porostowa (o bardzo silnie zanieczyszczonym powietrzu), w której rosną tylko najbardziej odporne na zanieczyszczenia porosty skorupiaste misecznica proskowata *Lecanora conizaeoides* i gatunki z rodzaju liszajec *Lepraria*;
- III – wewnętrzna strefa osłabionej wegetacji (o silnie zanieczyszczonym powietrzu), w której, poza gatunkami ze strefy II, rosną również inne porosty o plechach skorupiastych lub łusczkowatych; gatunkami wskaźnikowymi są: brudziec kropkowaty *Amandinea punctata*, paznokietnik ostrzygowy *Hypocenomyce scalaris*, obrst wzniesiony *Physcia adscendens* i złotorost postrzępiony *Xanthoria candelaria* (Ryc. 8);



Ryc. 8. Gatunki wyróżniające wewnętrzną strefę osłabionej wegetacji. A – paznokietnik ostrzygowy *Hypocenomyce scalaris*; B – obrst wzniesiony *Physcia adscendens*; C – złotorost postrzępiony *Xanthoria candelaria*.

IV – środkowa strefa osłabionej wegetacji (o średnio zanieczyszczonym powietrzu), w której (poza gatunkami z stref II-III) występują porosty o plechach listkowatych: pustulka pęcherzykowata *Hypogymnia physodes* i tarczownica bruzdkowana *Parmelia sulcata* (Ryc. 9);

V – zewnętrzna strefa osłabionej wegetacji (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 nielicz-



Ryc. 9. Gatunki wyróżniające środkową strefę osłabionej wegetacji. A – pustulka pęcherzykowata *Hypogymnia physodes*; B – pustulka rurkowata *Hypogymnia tubulosa*.



Ryc. 10. Gatunki wyróżniające zewnętrzną strefę osłabionej wegetacji. A – mąkla tarniowa *Evernia prunastri*, B – mąklik otrębiasty *Pseudevernia furfuracea*,



C – odnożyca mączysta *Ramalina farinacea*.



Ryc. 11. Gatunki wyróżniające wewnętrzną strefę normalnej roślinności. A – włośnica brązowa *Bryoria fuscescens*; B – płucnik modry *Hypogymnia tubulosa*; C – brodacznka kępkowa *Usnea hirta*.

nie, a ich plechy są zwykle słabo wykształcone (Ryc. 10);

VI – wewnętrzna strefa normalnej roślinności (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. włośnica brązowa *Bryoria fuscescens*, brodacznka kępkowa *Usnea hirta* i płucnik modry *Platismatia glabra* (Ryc. 11);

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

W strefach III-VII mogą rosnąć również inne gatunki porostów; w skali podano tylko te, które są typowe oraz najłatwiejsze do odnalezienia i identyfikacji. W starszych skalach porostowych autorzy przypisywali poszczególnym strefom określone stężenia najbardziej toksycznego dla porostów związku – dwutlenku siarki, ale okazało się to błędne.

Skala porostowa jest jedną z kilku metod wykorzystywania porostów jako bio wskaźników. W jej wyniku można wykreślić tzw. mapę lichenindykacyjną, obrazującą powierzchnię i położenie poszczególnych stref.

Porosty są również wskaźnikami innych zmian w siedlisku, np. w natężeniu światła i odczynie podłoża, a także obecności i stężenia metali ciężkich, pierwiastków radioaktywnych oraz rakotwórczych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Bioindykacja tych czynników z wykorzystaniem porostów wymaga jednak specjalistycznej wiedzy i często wyrafinowanych metod laboratoryjnych, dlatego nie będą tutaj dokładniej omawiane.

Metoda analizy udziału form morfologicznych

Metoda ta opiera się na założeniu, że największą wrażliwość na zanieczyszczenia wykazują gatunki o plechach najsilniej rozbudowanych i odstających od podłoża, co przedstawia poniższy schemat:

bardzo wrażliwe ⇒ *mało wrażliwe*

nitkowate > krzaczkowate > listkowate > łusczkowate > skorupiaste

Jest to metoda bardzo prosta, dostępna nawet dla uczniów wyższych klas szkoły podstawowej, tym bardziej, że nie jest potrzebna znajomość gatunków porostów. Do stosowania tej metody wystarczy umiejętność odróżnienia podstawowych form morfologicznych i na tej podstawie można wyróżnić sześć stref: bezwzględną pustynię porostową, względną pustynię porostową, wewnętrzną, środkową i zewnętrzną strefę osłabionej roślinności oraz strefę normalnej roślinności. Monitoring polega na ocenie, na wybranych stanowiskach, występowania i orientacyjnego pokrywania gatunków reprezentujących poszczególne formy morfologiczne.

Wyróżnia się cztery zasadnicze typy morfologiczne plech porostowych: skorupiaste, łusczkowate (ryc. 12), listkowate i krzaczkowate (Ryc. 13).

Porosty skorupiaste ściśle przyrastają do podłoża lub wrastają w nie. Plechy mają różną grubość (od bardzo cienkich, zanikających, po grube nawet do kilku milimetrów) i strukturę powierzchni (proszkowata, ziarenkowata, brodawkowata, gładka lub spękana). W plechach skorupiastych z powietrzem styka się tylko górna strona.

Plech łusczkowate z reguły nieco odstają od podłoża i są w większym stopniu niż skorupiaste wystawione na działanie związków toksycznych. Łuski mają do kilku milimetrów średnicy i często są inaczej zabarwione na stronie górnej niż na dolnej. Łuski mogą rosnąć pojedynczo, ale często tworzą skupienia, zazwyczaj dachówkowato na siebie zachodzące, np. u paznokietnika ostrzygowego *Hypocenomyce scalaris*.

Gatunki listkowate mają plechy spłaszczone na kształt listków, zwykle podzielone na odcinki, ro-

zetkowate albo rosnące nieregularnie, o dolnej stronie mniej lub bardziej przylegającej do podłoża i przyczepionej do niego chwytnikami lub zmarszczkami dolnej kory.

Porosty krzaczkowate złożone są z gałązek o różnym kształcie, od nitkowatych i obłych po taśmowate, przyczepionych zwykle do podłoża tylko w jednym miejscu, stąd praktycznie cała powierzchnia plechy ma bezpośredni kontakt z za-



Ryc. 12. Porosty o plechach skorupiastych (A-D) i łusczkowatej (E). A – zlociszek jaskrawy *Crystothrix candelaris*;



B – amyłka oliwkowa *Lecidella elaeochroma*; C – misecznicza *Lecanora glabrata*; D – literak właściwy *Graphis scripta*; D – paznokietnik ostrygowy *Hypocenomyce scalaris*

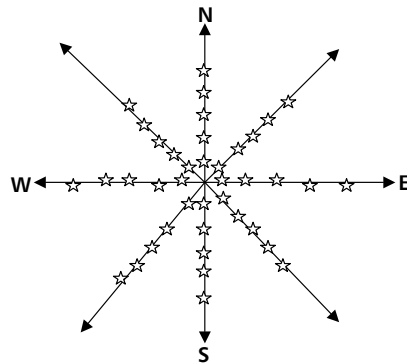
Ryc. 13. Porosty o plechach listkowatych (A, B) i krzaczkowatej (C).
A – płaszczynka okopcona *Melanelixia fuliginosa*, B – płaskotka regłowa *Parmeliopsis hyperopta*; C – brodaczka zwyczajna *Usnea filipendula*.

nieczyszczeniami. Gałązki wznoszą się do góry (np. chrobotki *Cladonia*) lub zwisają (np. brodaczki *Usnea* i włostki *Bryoria*).

Ponieważ ta metoda jest najprostsza, poniżej zamieszczono dokładną instrukcję.

1. Zapoznajemy się z podstawowymi formami morfologicznymi porostów poprzez oglądanie okazów zielnikowych, fotografii lub rysunków;
2. Określamy granice terenu, na którym chcemy przeprowadzić monitoring;
3. Zapoznajemy się z terenem (ważna jest dobra mapa – można wykorzystać Google Maps) oraz zbieramy informacje o monitorowanym obszarze, a w szczególności o warunkach klimatycznych (ważny jest kierunek dominujących wiatrów w skali roku), ukształtowaniu terenu, rodzajach zabudowy, rozmieszczeniu ważniejszych emitorów (w przypadku zakładów przemysłowych warto poszukać informacji o wielkości emisji), itp. Informacje wyszukujemy w literaturze (czasopisma, książki), internecie, w urzędach administracji terenowej (są w nich wydziały ochrony środowiska lub przynajmniej urzędnicy d/s ochrony środowiska, którzy są zobowiązani udzielić nam takich informacji), w zakładach przemysłowych lub w specjalistycznych placówkach, np. w oddziałach Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska, Sanepidach i placówkach naukowych.
4. Udajemy się w teren i wybieramy stanowiska. Stanowiskiem jest drzewo na którym szukamy porostów. Drzewa bez porostów również należy brać pod uwagę. Stanowiska powinny być oddalone od siebie o kilkadziesiąt-kilkaset metrów (zależnie od wielkości badanego terenu) oraz rozmieszczone ± równomiernie. Jeżeli drzewa rosną w grupie, to jako drzewo monitoringowe wybieramy

to, na którym występuje najwięcej porostów. Jeżeli mamy możliwość wyboru, omijamy drzewa iglaste (mają one z natury mało porostów). Drzewo należy oznaczyć do gatunku. Położenie każdego stanowiska zaznaczamy dokładnie na mapie (planie). Liczba stanowisk zależy od wielkości i zróżnicowania badanego terenu. Najlepiej wybrać stanowiska, wykorzystując poniższy schemat:



5. Opisujemy stanowiska. Przed przystąpieniem do monitoringu przygotowujemy tabelę według zamieszczonego poniżej wzoru). Przy metodzie tej nie mają znaczenia gatunki, zwracamy uwagę tylko na obecność porostów oraz formę ich plech. Na każdym stanowisku wypełniamy jedną tabelę, biorąc pod uwagę pień do wysokości 2 m. Zapisujemy również takie dane, jak: położenie porostów względem stron świata (= ekspozycja), przedział wysokości (licząc od podstawy pnia), na którym występuje dany typ plechy i uwagi o zdrowotności plech.

Nr stanowiska Miejscowość.....
/część miasta, ulica/

Gatunek drzewa Data

Forma morfologiczna	Obecność xx	Ekspozycja	Wysokość yy [w cm]	Uwagi zz
brak porostów				
Porosty skorupiaste				
Porosty łusczkowate				
Porosty listkowate				
Porosty krzaczkowate				

xx – należy wstawić znak +, jeżeli dana forma występuje; yy – należy napisać przedział wysokości, na której na pniu występuje dana forma (np. od 20 cm do 140 cm); zz – można podać np. orientacyjne pokrywanie, zaznaczyć, że plechy są uszkodzone itp.

Sporządzający ankietę:

6. Podsumowujemy wyniki. Po zakończeniu pracy w terenie dokonujemy analizy zebranych materiałów. Na mapie (planie) terenu zaznaczamy różnymi znakami lub kolorami:
 - a) stanowiska, na których nie znaleziono żadnych epifitów (strefa I – bezwzględna pustynia porostowa);
 - b) stanowiska, na których znaleziono wyłącznie porosty skorupiaste (strefa II – względna pustynia porostowa);
 - c) stanowiska, na których znaleziono, oprócz porostów skorupiastych, również gatunki o plechach łusczkowatych (strefa III – wewnętrzna strefa osłabionej wegetacji);
 - d) stanowiska, na których znaleziono gatunki listkowate, poza porostami skorupiastymi i łusczkowatymi (strefa IV – środkowa strefa osłabionej wegetacji);

- e) stanowiska, na których znaleziono porosty należące do wszystkich form morfologicznych, ale wśród krzaczkowatych nie ma gatunków o plechach nitkowatych, tj. brodaczek *Usnea* i włostek *Bryoria* (strefa V – zewnętrzna strefa osłabionej wegetacji);
- f) stanowiska, na których występują porosty o wszystkich formach morfologicznych, w tym również brodaczki i włostki (strefa VI i VII – normalnej wegetacji).

Następnie, łączymy liniami takie same stanowiska (np. wszystkie „a”, „b”, „c” itd.) tak, aby powstały powierzchnie oznaczające obszary o różnym stopniu zanieczyszczenia powietrza.

Metoda transplantacji plech

Metoda transplantacji polega na przeniesieniu dobrze wykształconych plech listkowatej pustułki pęcherzykowatej na obszar który chcemy monitorować, a następnie – po określonym czasie ekspozycji (3-6 miesięcy) – rejestrowaniu zmian, które zaszły w wyglądzie bądź w budowie anatomicznej plech albo w ich składzie chemicznym.

Metodę tą najlepiej jest stosować do oceny zasięgu wpływu „emitora punktowego” (np. zakład przemysłowy, kotłownia itp.) lub „emitora pasmowego” (np. ruchliwa szosa lub ulica), chociaż można ją również z powodzeniem wykorzystać do monitoringu na terenach zabudowanych („emitor rozproszony”). Metoda ta daje najlepsze efekty przy ocenie obiektów emitujących duże ilości zanieczyszczeń; wyniki uzyskuje się wtedy w stosunkowo krótkim czasie. Na obszarach, gdzie ilość zanieczyszczeń nie jest duża metoda daje niepewne wyniki.

Porostem zdecydowanie polecanym do wykorzystywania w metodzie transplantacji jest pustułka pęcherzykowata. Wynika to z następujących faktów:

- jest gatunkiem powszechnie spotykanym w całym kraju;
- szybko reaguje na stres (tj. na zanieczyszczenia i inne zmiany w siedlisku);
- zmiany na jej pleśze łatwo rozpoznać (pojawiają się one jako czarne lub brązowe przebarwienia);
- ma dużą, łatwo rozpoznawalną plechę, na której łatwo można zauważyć zmiany wywołane zanieczyszczeniami;
- jest jednym z niewielu makroporostów nie objętych ochroną prawną;
- często rośnie na korze sosen, z których można ją zebrać z fragmentami podłoża bez

uszkodzenia drzewa.

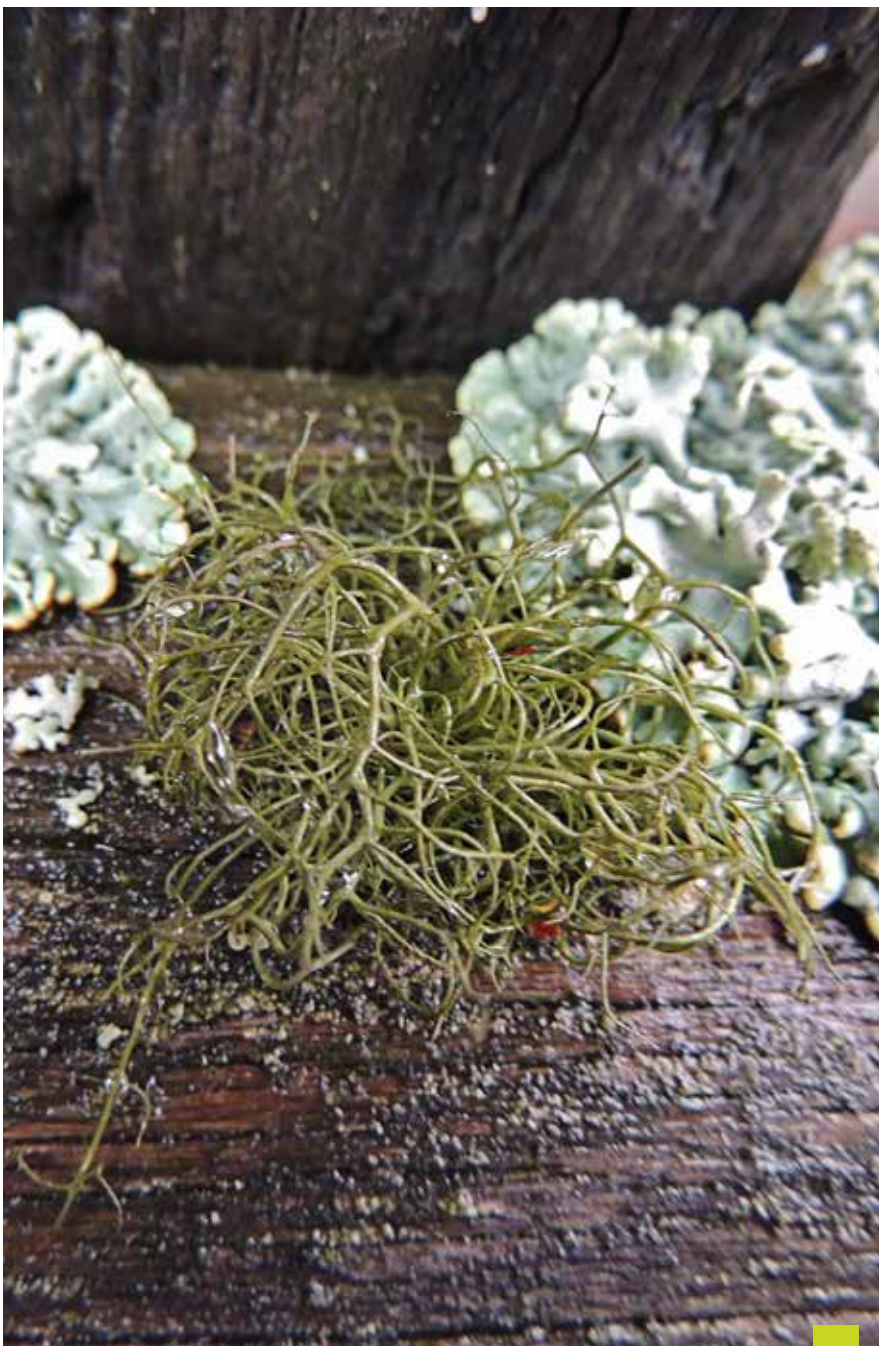
Pustułka pęcherzykowata jest najczęściej spotykanym w Polsce porostem listkowatym. Plechy dorastają do kilku cm średnicy i mają szarą barwę. Nie mają chwytników i są przyłączone do podłoża zmarszczkami dolnej kory. Dolna strona plechy ma barwę jasno- do ciemnobrązowej, czasami czerniejącą. Pustułka posiada soralia, które mają bardzo charakterystyczny, paszczowaty kształt, ponieważ powstają w wyniku pęknięcia plechy na granicy kory górnej i dolnej. Górna część soralium jest często hełmowato uwypuklona. Powierzchnia plechy jest pofalowana, ale gładka; tylko u okazów rosnących w miejscach bardzo silnie naświetlonych lub narażonych na zanieczyszczenia kora górna silnie marszczy się, tworząc fałdy i brodawki, często pękające na szczycie i odsłaniające biały miąższ. Pustułka pęcherzykowata bardzo rzadko tworzy owocniki. Występuje głównie na korze drzew, preferując podłoże kwaśne (sosny, brzozy, świerki, buki, dęby, olsze). Często rośnie także na gałązkach krzewów i krzewinek, murszejącym drewnie, a rzadziej na skałach i na ziemi.

Porosty biowskaźnikami zmian środowiska w Karkonoszach

W rozdziale 2 przedstawiono w skrócie zmiany w składzie gatunkowym porostów nadrzecznych Karkonoszy wywołane działalnością człowieka, w tym będące efektem klęski ekologicznej. Wspomniano również o rekolonizacji, czyli o powracaniu porostów. Ocena jakości i tempa tych zmian jest możliwa wyłącznie dzięki wieloletnim stałym obserwacjom. Prowadzony od 10 lat monitoring na stałych powierzchniach kołowych został dokładnie opisany w broszurze p.t. „Monitoring porostów w Karkonoskim Parku Narodowym”. Opisano tam również jego wstępne wyniki.



Ryc. 14. Miecznica wytworna *Lecanora intumescens* na pniu buka w Karkonoskim Parku Narodowym.



Ryc. 15. Młoda plecha włostki brązowej *Bryoria fuscescens*.



Ryc. 16. Masowe występowanie pustulki pęcherzykowej *Hypogymnia physodes* przy stacji kolejki na Kope.



Ryc. 17. Masowe występowanie tarczownicy bruzdkowanej *Parmelia sulcata* na Rówieńcu.

Poza tymi stałymi obserwacjami prowadzone są również regularne badania nad porostami Karkonoszy. Rozpoczęte one zostały już ponad 200 lat temu przez badaczy niemieckich, a obecnie są kontynuowane przez specjalistów z Uniwersytetu Wrocławskiego, głównie przez dr Marię Kossowską, autorkę licznych publikacji naukowych i popularno-naukowych o porostach Karkonoszy.

Ślady kłęski ekologicznej są ciągle jeszcze widoczne w ekosystemach Karkonoskiego Parku Narodowego, a szczególnie w jego zbiorowiskach leśnych. Ulegają one jednak szybkiemu zabliznianiu, na co wskazuje m.in. rycina 3. Regeneracji ulega również mikroświat, a przykładem są właśnie porosty. Tempo rekolonizacji, która rozpoczęła się pod koniec XX wieku, uległo w ostatnich kilku latach znacznemu przyspieszeniu. Co roku znajduje się nowe stanowiska gatunków, które – wydawałoby się – bezpowrotnie zginęły w karkonoskich lasach. Przykładem może być odnalezienie w kwietniu 2014 r. na korze buka niedaleko Ośrodka Informacyjnego Parku przy ul. Leśnej w Karpaczu misecznicy wytwornej *Lecanora intumescens* (Ryc. 14). Porost ten ostatni raz był podawany z Karkonoszy 150 lat temu. W marcu 2014 r. na drzewach obok tego Ośrodka znaleziono nowy dla Sudetów bruniec szarosoraliowy *Rinodina griseosoralifera*; jest to dopiero drugie stanowisko tego gatunku w Polsce. Niedaleko rosną młode, dorodne plechy innych porostów, których spotkanie w tych górach jeszcze 20 lat temu wydawało się niemożliwe: mąkli tarniowej *Evernia prunastri*, włostki brązowej *Bryoria fuscescens* (Ryc. 15), brodaczki kępkowej *Usnea hirta* i złotlinki jaskrawej *Vulpicida pinastri*. W innych miejscach Parku zmiany są również duże, szybkie i pozytywne. Pojawianie się porostów rzadkich, charakterystycznych dla słabo zmienionych lub niezaburzonych zbiorowisk leśnych, jest dostrzegane tylko przez nie-liczne grono specjalistów, ale każdy może za-

uważyć, że znacznie zwiększyła się ilościowość gatunków, które w Karkonoszach jeszcze kilkanaście lat temu rosły w postaci drobnych plech, a w wielu miejscach całkiem wyginęły. Przykładem są masowe pojawy wielokrotnie wymienianych w tej pracy: pustułki pęcherzykowatej (Ryc. 16), tarczownicy bruzdkowanej (Ryc. 17) i mąklika otrębiastego (Ryc. 5).

Literatura dla zainteresowanych:

Fałtynowicz W. 1995. *Wykorzystanie porostów do oceny zanieczyszczenia powietrza. Zasady, metody, klucze do oznaczania wybranych gatunków.* – Fundacja CEEW, Krosno, 141 pp.

Fałtynowicz W. 2012. *Porosty – poradnik dla leśników i taksatorów.* – Wydawnictwo CILP, Warszawa.

Fałtynowicz W. 2014. *Monitoring porostów w Karkonoskim Parku Narodowym.* Wyd. Karkonoski Park Narodowy, Jelenia Góra.

Jóźwiak M.A. 2010. *Biomonitoring środowisk lądowych i wodnych.* – Wyd. UJK, Kielce, 152 ss.

Kossowska M. 2011. *200 lat badań lichenologicznych w Karkonoszach.* – W: Knapik R., Przeźniak L., Raj A. (red.) 50 lat badań naukowych w Karkonoskim Parku Narodowym. Wyd. Karkonoski Park Narodowy, Jelenia Góra, s. 247–261.

Kossowska M. 2014. *Atlas porostów Karkonoszy.* Wyd. Karkonoski Park Narodowy, Jelenia Góra.

Raj A., Knapik R. 2013. *Przyroda Karkonoskiego Parku Narodowego.* Wyd. Karkonoski Park Narodowy, Jelenia Góra.



SPIS TREŚCI

Wstęp	3
Kłęsa ekologiczna a porosty	4
Porosty jako biowskaźniki	11
• Metody wykorzystywania porostów jako biowskaźników	12
• Metoda gatunków wskaźnikowych (skala porostowa)	12
• Metoda analizy udziału form morfologicznych	18
• Metoda transplantacji plech	24
Porosty biowskaźnikiem zmian środowiska w Karkonoszach	24
Literatura dla zainteresowanych	29