

METODYKA TWORZENIA MAPY LICHENOINDYKACYJNEJ TERENU NA PRZYKŁADZIE REZERWATU LEŚNEGO „KALISZAK” K. CZĘSTOCHOWY

Agnieszka Ligęza

Instytut Chemii i Ochrony Środowiska,
Al. Armii Krajowej 13/15, 42 – 200 Częstochowa
a.ligeza@wsp.czyst.pl

Abstract: The application of Hawksworth and Roses's biological scale of epiphytic lichens, adjusted to the Polish lichen flora conditions, allowed us to design a map of air contamination of the "Kaliszak" forest preserve with sulphur dioxide. Inductive discussion was applied towards the methodology of designing the lichen occurrence indicative map, making use of the results, as well as the sum of the theoretical and practical knowledge obtained in the process of implementation of this unit research objective.

WSTĘP

Mapa lichenoidykacyjna to graficzne odwzorowanie w odpowiedniej skali stref poziomów zanieczyszczeń powietrza dwutlenkiem siarki na badanym obszarze, wykonane w oparciu o stwierdzone występowanie na nim określonych gatunków porostów wskaźnikowych, tzw. lichenoidykatorów (łac. *lichenes* – porosty, *indicare* - wskazywać). Stanowi ona prezentację wyników z zastosowanej metody lichenoidykacyjnej, która jest opracowanym sposobem uzyskiwania informacji o poziomach stężeń SO_2 w powietrzu.

Lichenoidykatory należą do zbiorczej grupy bioindykatorów, tzn. rozpoznanych organizmów żywych – gatunków roślin, grzybów i zwierząt, których określone, obserwowalne i zmieniające się cechy życiowe (np. występowanie, morfologia) wskazują na zachodzenie w ich środowisku naturalnym zjawisk ekologicznych, wywołujących (warunkujących) pojawienie się tych cech wskaźnikowych. Bioindykatory mogą pokazywać (mierzyć) tylko te zjawiska (składniki) w otaczającym je środowisku, z którymi są powiązane jakimiś zidentyfikowanymi czynnikami ekologicznymi, np. takimi procesami życiowymi jak oddychanie. Powiązania bioindykacyjne mogą przebiegać we fragmentach środowiska tworzących funkcjonalny układ wielu współzależności, takich jak: biocenoza (naturalny zespół organizmów), czy ekosystem (związek biocenozy z przyrodą nieożywioną) oraz w układach nie będących ich częścią. Te korelacje mogą dotyczyć różnych kategorii składników: biotycznych (innych organizmów), jak i abiotycznych (nieożywionych), np. zanieczyszczeń biosfery – gleby, wody i powietrza. Metoda bioindykacyjna bazuje na zaobserwowanych, regularnych i niepodważalnych zależnościach między zmiennymi środowiskowymi – czynnikami przybierającymi w środowisku różne wartości, wielkości, formy

itd. Układy bioindykacyjne to szczególnego rodzaju układy ekologiczne, w których są tylko dwie zmienne: zmienna zależna - cecha wskaźnikowa - obiekt naszych badań, której występowanie to skutek oddziaływania zmiennej niezależnej oraz właśnie zmienna niezależna - cel naszych badań, która w tym układzie jest wolna od zwrotnych oddziaływań zmiennej zależnej (oczywiście w szerszym układzie ekologicznym jest ona zależna od innych zmiennych). W układach bioindykacyjnych nie ma zmiennych pośrednich, tzn. innych czynników oddziałujących na zmienną zależną. Mogłyby one udaremniać powtarzalność określonych zależności i zaburzać albo niweczyć normalny związek przyczynowy między zachodzącymi zjawiskami ekologicznymi, które chcemy poznać (zmiennymi niezależnymi), a powstającymi w ich rezultacie cechami wskaźnikowymi (zmiennymi zależnymi). Twierdzenie o braku zmiennych pośrednich nie jest do końca prawdziwe, gdyż w układach bioindykacyjnych, tak jak w innych układach ekologicznych następuje szereg różnych interakcji (współzależności). W układach biowskaźnikowych nie odgrywają one jednak istotnej roli, tzn. takiej, która uniemożliwiałaby jego przydatność dla wnioskowania o występowaniu pewnych zjawisk.

W metodzie lichenindykacyjnej również posługuje się dwiema zmiennymi (z zastrzeżeniem jednego wyjątku - zob. II) zmienną zależną, którą jest obecność określonych gatunków porostów epifitycznych (nadrzewnych) na danym terenie oraz zmienną niezależną, którą jest zanieczyszczenie powietrza dwutlenkiem siarki na obszarze ich występowania. Lichenindykacja jest, zatem metodą badawczą typową dla ekologii jako nauki, która z definicji analizuje stosunki między organizmami żywymi a ich żywym i martwym środowiskiem.

Etapy tworzenia mapy lichenindykacyjnej

Przez metodykę tworzenia mapy lichenindykacyjnej rozumie się uporządkowany ciąg powtarzalnych i uzasadnionych działań koncepcyjnych, badawczych i technicznych oraz dyrektyw nakierowanych na kartograficzną rejestrację i prezentację danych o zanieczyszczeniu powietrza dwutlenkiem siarki na wybranym terenie, zebranych metodą lichenindykacyjną.

Wybór terenu badań

1. Ustalenie, czy zachodzą wszystkie przesłanki łącznie uzasadniające wybór określonego terenu do badań lichenindykacyjnych.

1.1. Zastosowalność metody lichenindykacyjnej na tym terenie.

warunkiem, koniecznym do posługiwania się tą metodą (specyficznym dla niej) jest obecność na lokalizowanym terenie drzewostanu o następujących cechach:

a) wieku powyżej 30 lat - gdyż porosty epifityczne pojawiają się dopiero na dojrzałych drzewach,

b) równomiernym rozmieszczeniu – aby wykreślić kompletną mapę zanieczyszczeń drzewa muszą występować na całej powierzchni obszaru badawczego, ponieważ są siedliskami bytowania porostów wskaźnikowych.

Dane o miejscowym drzewostanie można uzyskać w nadleśnictwach, które udostępniają mapy leśne oraz w wydziałach ochrony środowiska organów samorządowych.

Dyrektywą fakultatywną jest wybór terenu badań o mieszanym rodzaju drzewostanu (liściasto - iglastym), który stwarza warunki do życia większej ilości gatunków porostów epifitycznych (gatunki preferujące korą kwaśną i słabo kwaśną rosną na drzewach iglastych, gatunki preferujących korę neutralną i zasadową rosną na drzewach liściastych), co uwielokrotnia próbę wskaźnikową (poszerza spektrum możliwych do odnalezienia gatunków biowskaźników, które wyznaczają tę samą grupę zanieczyszczeń - Tab. 1).

W opisywanym przykładzie zastosowania badań lichenindykacyjnych wszystkie wyżej wymienione warunki zostały spełnione. Na obranym terenie znajduje się stary drzewostan mieszany w wieku 100 – 170 lat, który zwarcie pokrywa cały obszar badań. W środowisku wiekowego drzewostanu porosty epifityczne wykształciły w pełni swoje plechy, co ułatwiło ich identyfikację gatunkową.

Brak aktualnych danych o stężeniach i rozmieszczeniu SO_2 w atmosferze tego terenu

Celem poznawczym wykreślenia mapy lichenindykacyjnej jest uzyskanie informacji o poziomach i rozprzestrzenieniu zanieczyszczenia powietrza przez SO_2 na wybranym terenie. Okoliczność istnienia bieżących wiadomości na ten temat powoduje, że badania tego rodzaju nie mają sensu naukowego. Informacje o stanie miejscowej atmosfery należy uzyskać i potwierdzić w jednym z właściwych: oddziałów Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska, wydziałach ochrony środowiska administracji państwowej i samorządowej, jednostkach naukowych. Można również sprawdzić, czy stały monitoring powietrza prowadzony obowiązkowo w niektórych zakładach przemysłowych – dużych emitatorach zanieczyszczeń powietrza znajdujących się w okolicy, obejmuje pomiar SO_2 na terenie, który zamierzamy zbadać. Należy podkreślić, że wyżej wymienione podmioty dysponują z reguły tylko informacjami o średnich, ogólnych poziomach zanieczyszczeń powietrza i nie posiadają danych o ich zróżnicowanym rozłożeniu w terenie.

Uzasadnieniem poznawczym dla badań przeprowadzonych w rezerwacie „Kaliszak” był brak wiadomości o stężeniach SO_2 w jego obrębie, zweryfikowany w zbiorach informacji ekologicznych zgromadzonych przez: oddział PAN w Krakowie, oddział PIOŚ w Częstochowie oraz Nadleśnictwo Żłoty Potok.

Istnienie istotnego znaczenia ekologicznego obszaru

Decyzja o wyborze do badań tego, a nie innego terenu powinna być rozpatrywana w kontekście jego ważnej roli ekologicznej. Znacząca funkcja ekologiczna jakiegoś obszaru to zespół podstawowych świadczeń dokonywanych przez niego na rzecz jego samego i znajdującego się w polu jego oddziaływania środowiska przyrodniczego.

Mogą to być świadczenia, takie jak: udostępnianie miejsca organizmom żywym do bytowania (np. teren miejski), utrzymywanie bioróżnorodności gatunkowej (np. teren parku narodowego), zachowywanie gatunków reliktowych (np. teren rezerwatu), podtrzymywanie równowagi ekologicznej większych ekosystemów (np. teren parku miejskiego), czy wreszcie społeczne (np. teren parku krajobrazowego).

W omawianym przypadku obszar wybranego rezerwatu jest cenną przyrodniczo, unikatową pozostałością po dawnych naturalnych lasach. Celem utworzenia rezerwatu była ochrona starego lasu sosnowo – jodłowego z domieszką drzew liściastych (dębów, buków i wiązów) oraz siedlisk wielu rzadkich gatunków roślin, grzybów i zwierząt [1]. Jako ostoja gatunkowa rezerwat może oddziaływać na inne uboższe kompleksy leśne Jury, wzbogacając ich bioróżnorodność przez rozprzestrzenianie się organizmów żywych.

Użyteczność wyników badań

Wybór określonego terenu należy rozpatrywać w aspekcie celowości praktycznej badań - przewidywalnego wykorzystania wyników związanych właśnie z nim. Na przykład: 1) badania licheniindykacyjne przeprowadzone w mieście mogą służyć przy konstruowaniu planu jego zagospodarowania przestrzennego - wyznaczeniu miejsc pod osiedla mieszkaniowe na terenach, gdzie zanieczyszczenie powietrza jest najmniejsze, 2) badania licheniindykacyjne przeprowadzone w lesie gospodarczym mogą być wytyczną przy doborze gatunków drzew sadzonych w poszczególnych oddziałach leśnych (rejony o dużym skażeniu będą obsadzone gatunkami bardziej odpornymi na zanieczyszczenia). Badania mogą mieć na celu także inne korzyści praktyczne: 1) ich wyniki mogą poszerzyć bazę informacyjną ośrodków zajmujących się monitoringiem powietrza (np. PIOŚ), 2) wyniki badań mogą potwierdzić albo zanegować hipotezę o przyczynie degradacji jakiegoś środowiska biologicznego przez SO_2 , 3) wyniki mogą służyć ewentualnemu wykryciu zagrożeń dla układu ekologicznego ze strony SO_2 i wnioskowaniu na temat jego przyszłości (np. ocenie szans na utrzymanie się dobrej kondycji zdrowotnej drzewostanu).

Dzięki wykreśleniu mapy licheniindykacyjnej rezerwatu „Kaliszak” uzyskano wiadomości o: 1) kierunku napływu zanieczyszczeń do niego, co z kolei pozwoliło na wskazanie w otulinie rezerwatu tej części lasu, która pełni funkcję leśnej strefy filtrującej (absorbującej) zanieczyszczenia, 2) źródeł emisji oraz ich umiejscowieniu.

Wyznaczenie granic terenu badań

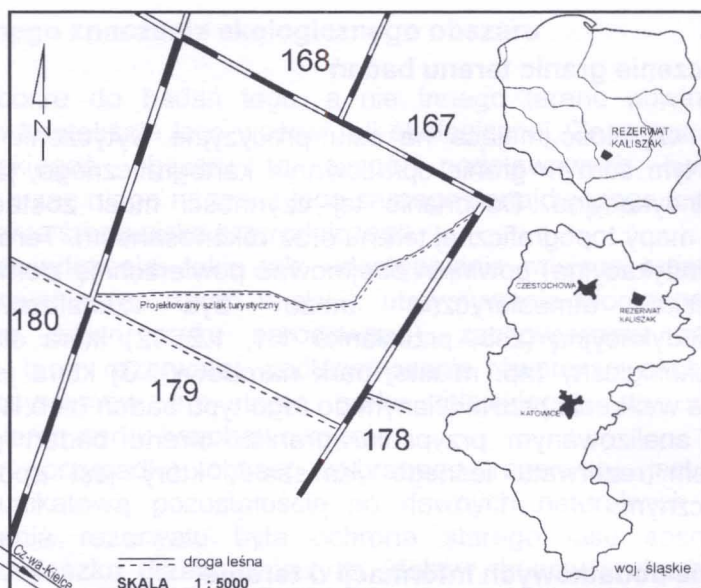
Jest to czynność mająca na celu precyzyjne wytyczenie obrysu terenu badań, tym samym granic opracowania kartograficznego, jakim jest mapa lichenoindykacyjna. Dokonanie tej czynności musi zostać poprzedzone analizą mapy topograficznej terenu oraz rekonesansem. Teren badań (mapa lichenoindykacyjna) powinien obejmować powierzchnię ziemi: 1) której całe środowisko atmosferyczne może być zanalizowane metodą lichenoindykacyjną (zob. przesłanka 1.1, 1.2), 2) która stanowi jednolity układ ekologiczny (np. miasto, park narodowy), 3) która jest możliwa do opisanie w okresie przewidzianym do tego typu badań (zob.IV).

W analizowanym przypadku granica terenu badań pokrywa się z obrzeżem rezerwatu leśnego „Kaliszak”, który jest spójnym układem ekologicznym.

Zebranie dodatkowych informacji o terenie

Jest to czynność przejściowa do dalszych działań, która decyduje o prawidłowym przeprowadzeniu badań, prezentacji graficznej i interpretacji ich wyników. Dodatkowe informacje dotyczą takich szczegółowych kwestii jak: obecność i usytuowanie emitorów w otoczeniu terenu badań oraz rodzaj i wielkość emitowanych przez nich zanieczyszczeń, obecność i usytuowanie osiedli ludzkich w otoczeniu terenu badań, ukształtowanie powierzchni terenu badań (m.in. wysokości bezwzględne, ekspozycja), warunki atmosferyczne (m.in. kierunek wiatrów, kanały wentylacyjne).

Rezerwat „Kaliszak” jest położony na południowym zboczu Lisiej Góry (299 m n.p.m.) w odległości około 200 m od wsi Apolonka, przez którą przebiega samochodowy szlak komunikacyjny Częstochowa - Kielce o dużym natężeniu ruchu (auta są ruchomymi emitorami zanieczyszczeń). W pobliżu nie znajdują się większe nieruchome emitery zanieczyszczeń poza kotłowniami węglowymi w domostwach. Według danych Nadleśnictwa Złoty Potok [2] rezerwat leży w I strefie oddziaływania emitorów znajdujących się w takich dużych ośrodkach miejskich, jak: Myszków, Zawiercie, miasta Zagłębia i Górnego Śląska oraz Częstochowa, co jest skutkiem przenoszenia zanieczyszczeń przez wiatry wiejące z kierunku południowo – zachodniego i zachodniego (Ryc.1).



Rys. 1. Rezerwat leśny „Kaliszak”

ZDEFINIOWANIE ZMIENNYCH

Mapę lichenindykacyjną wyznaczamy w oparciu o wskaźnik empiryczny, tzn. taki, przy którym korelacja między nim a zjawiskiem przez niego wskazywanym jest potwierdzona obserwacjami. W metodzie lichenindykacyjnej wskaźnikiem (zmienną zależną) poziomu stężenia SO_2 w atmosferze (zmiennej niezależnej) określonego terenu jest stwierdzony fakt występowania na nim takiego gatunku porostu epifitycznego, który ze wszystkich innych na nim odnalezionych ma najniższą tolerancję na to zanieczyszczenie - zajmuje spośród nich najwyższe miejsce w skali biologicznej porostów epifitycznych Hawkswortha i Rose'a – Tab 1.[3]. Porządkując wiedzę o opisanych zależnościach uczeni ci bowiem wyselekcjonowali 80 taksonów (gatunków) porostów epifitycznych, które podzielili na 10 grup (stopni skali) o różnej, malejącej odporności na SO_2 , tworząc biologiczny system miar stężenia tego związku w atmosferze siedlisk porostów, który znajduje zastosowanie w tworzeniu map zanieczyszczeń powietrza.

Porosty epifityczne są najlepszymi do obserwacji wskaźnikami zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki, co jest to konsekwencją budowy ich ciała (plechy). Nie posiadają one, bowiem żadnych barier ochronnych (choćby w formie tkanki okrywającej) wobec zanieczyszczeń atmosfery, które mogą swobodnie dostawać się do ich organizmów przez wymianę gazową (z powietrzem) i wodną (z opadami). Brak naturalnych osłon skutkuje znikomą zdolnością przystosowawczą porostów do ponadnormatywnych dla każdego gatunku stężeń SO_2 (porosty z wyższej strefy lichenindykacyjnej – strefy o niskim stężeniu SO_2 nie mogą

występować w niższej strefie lichenoindykacyjnej – strefie o wyższym stężeniu SO_2). Porosty, których cechą gatunkową (cechą niezależną od ich wieku) jest duża, rozbudowana, odstająca od podłoża (wysoka) plecha (duża powierzchnia odsłonięcia organizmu - styku z otoczeniem), charakteryzują się większą wrażliwością na SO_2 , co tłumaczy się większą podatnością na wchłanianie (sorbcję) tego zanieczyszczenia przez ich dobrze wyeksponowane ciała. Takie porosty (nitkowate, bardzo duże listkowate o $\varnothing$ powyżej 8 cm) mogą żyć tylko w wysokich (VI i VII) strefach lichenoindykacyjnych. Natomiast porosty o kształcie plechy krzaczkowatym, listkowatym o $\varnothing$ poniżej 8 cm mogą żyć w wysokich i średnich (IV i V) strefach lichenoindykacyjnych, podczas gdy porosty o kształcie plechy łusieczkowatym i skorupiatym, jako najmniej wrażliwe, żyją we wszystkich strefach lichenoindykacyjnych.

Skala biologiczna Hawkswortha i Rose'a została przystosowana do polskiej lichenoflory przez Kiszkę [3]. Kiszka wyróżnia 7 stref lichenoindykacyjnych, którym przyporządkowano jeden lub dwa stopnie ze skali Hawkswortha i Rose'a (np.: strefie II – 2 i 3 stopień wzorcowej skali biologicznej).

Należy zwrócić uwagę na to, że skala porostowa w kilkunastu przypadkach posługuje się również inną zmienną zależną (zob.V) – zmianami zewnętrznymi plechy (zmianami w morfologii plechy).

Przy wykreślaniu mapy lichenoindykacyjnej rezerwatu „Kaliszak” zmienną zależną było występowanie w nim różnych porostów wskaźnikowych, a zmienną niezależną były wskazywane przez zmienną zależną stężenia SO_2 w atmosferze tego terenu.

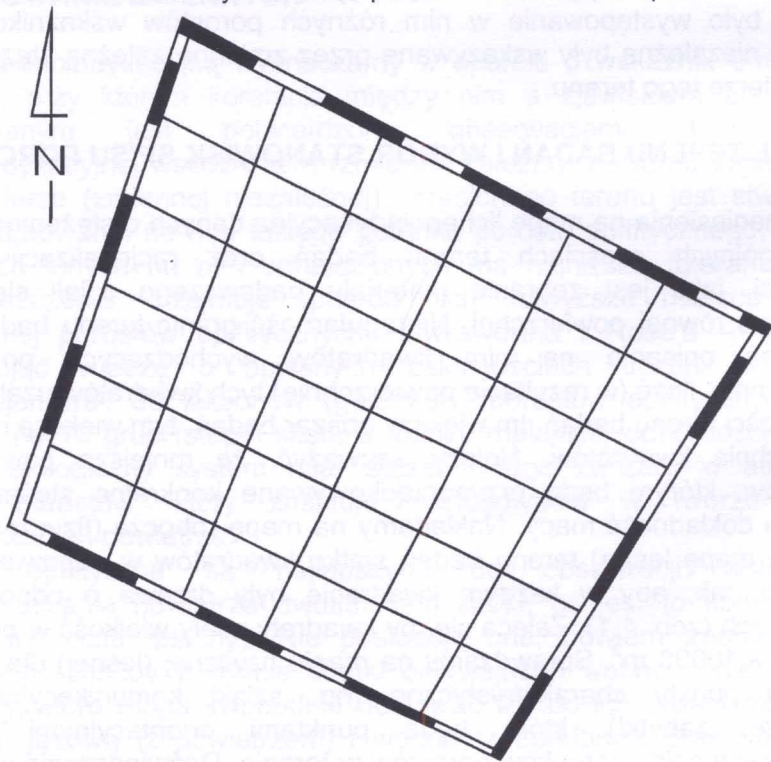
PODZIAŁ TERENU BADAŃ I WYBÓR STANOWISK SPISU POROSTÓW

W celu naniesienia na mapę lichenoindykacyjną danych o stężeniach SO_2 w poszczególnych częściach terenu badań oraz racjonalizacji kolejnej czynności, jaką jest zebranie materiału badawczego dzieli się go na kwadraty o równej powierzchni. Nieregularność granic terenu badań może wymuszać opisanie na nim kwadratów wychodzących poza jego powierzchnię. Ilość (w rezultacie powierzchnię) tych kwadratów uzależnia się od wielkości terenu badań. Im większy obszar badań, tym większa może być powierzchnia kwadratów. Należy zauważyć, że mniejsza powierzchnia kwadratów, którym będą przyporządkowywane konkretne stężenia SO_2 , zwiększa dokładność mapy. Nakładamy na mapę roboczą (fizyczną, a przy jej braku mapę leśną) terenu badań siatkę kwadratów w odpowiedniej dla niej skali, tak, aby w każdym kwadracie były drzewa o odpowiednich parametrach (zob. 1.1). Zaleca się, by kwadraty miały wielkość w przedziale od 4000 – 10000 m². Sprawdzamy na mapie fizycznej (leśnej) dla każdego kwadratu punkty charakterystyczne (np. szlaki komunikacyjne, głązy narzutowe, zabytki), które będą punktami orientacyjnymi podczas wykonywania spisu gatunków porostów w terenie. Doświadczenie wskazuje, że na mapie leśnej miejsca przecięcia się linii granicznych między oddziałami leśnymi są punktami, w których znajdują się słupki betonowe z

namalowanymi po bokach ich numerami. Zamiast punktów orientacyjnych można użyć satelitarny system odnajdywania położenia - GPS, który precyzyjnie wskaże nasze położenie.

Następnie z tak przygotowaną mapą fizyczną (leśną) dokonujemy obchodu wyznaczonych kwadratów w celu znalezienia w terenie, co najmniej 5 miejsc siedliskowych (stanowisk) porostów epifitycznych (pojedynczych drzew lub grup drzew). Z odnalezionych siedlisk porostów wybieramy do zbioru te, które mają najliczniejszą (w sensie gatunków) florę. Wskazówką ułatwiającą odnalezienie takich siedlisk jest orientowanie się na miejsca o najlepszych dla porostów warunkach siedliskowych, tzn. tych o dobrym naświetleniu drzewostanu i dużej wilgotności powietrza. Może się zdarzyć, że mimo wysiłków stanowiska porostów nie zostaną odnalezione. Oznacza to, że porosty epifityczne w tym kwadracie w ogóle nie występują, co ma również znaczenie dla wyników badań (zob.V). Jeżeli nie przeprowadzamy spisu porostów od razu po wybraniu stanowisk, wówczas zaznaczamy ich położenie na mapie lub znakujemy w terenie, np. drzewa obwiązujemy jaskrawymi wstążkami.

Czworokątną powierzchnię rezerwatu „Kaliszak” podzielono siatką 36 prawie równych kwadratów, wykorzystując do tego celu wyłącznie mapę leśną (Ryc.2). W badaniach terenowych posługiwano się punktami orientacyjnymi. W każdym z kwadratów wyznaczono po ok. 10 stanowisk spisu.



Rys. 2. Podział rezerwatu siatką kwadratów.

SPIS WSKAŹNIKOWYCH GATUNKÓW POROSTÓW EPIFITYCZNYCH

Czynność ta może być połączona z poprzednim etapem badań (zostać wykonana na stanowisku porostów, zaraz po jego odkryciu) lub stanowić wyodrębnione w czasie działanie (odszukujemy wtedy wcześniej zaznaczone stanowiska). Okres spisu powinien zamykać się w jednym sezonie (wiosna – jesień) i obejmować dwie fazy: spis podstawowy i spis weryfikujący, powtórzony po upływie 2 miesięcy. Ten drugi służy uzupełnieniu spisu zasadniczego o gatunki pominięte przez niedopatrzenie. Spisuje się gatunki porostów rosnące na pniach i gałęziach drzew na wysokości do 2 metrów oraz na opadłych gałęziach. Identyfikacji (rozpoznania) poszczególnych gatunków porostów ze skali biologicznej Hawkswortha i Rose'a dokonuje się w oparciu o klucze i przewodniki [4,5]. Samodzielne rozpoznanie może być wykonane na miejscu przy użyciu lupy lub w laboratorium, gdy nie potrafi się rozpoznać znalezionej gatunku bez użycia mikroskopu stereoskopowego lub wybarwiających odczynników chemicznych (markerów). Do analizy laboratoryjnej pobiera się z drzewa (z korą lub bez) tylko jedną plechę porostu, którą umieszcza się w celu przechowania w papierowej kopercie. Zakazuje się zrywania chronionych gatunków porostów oraz wszystkich gatunków żyjących w miejscach chronionych – ich rozpoznanie może być wykonane tylko na miejscu. W niektórych przypadkach jest konieczne skonsultowanie się ze specjalistą lichenologiem, który autorytatywnie oznaczy nierozpoznany gatunek porostu. Analiza gatunkowa przeprowadzona w rezerwacie „Kaliszak” dowiodła bytowania w nim 21 gatunków mieszczących się na liście porostów wskaźnikowych w skali biologicznej Hawkswortha i Rose'a (są to gatunki wyróżnione „tłustym” drukiem w Tab. 1).

OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Rezultatem analizy gatunkowej (zob. etap poprzedni) są zestawienia znalezionych i oznaczonych gatunków wskaźnikowych dla każdego kwadratu terenu badań. Kolejnym etapem postępowania jest zastosowanie skali biologicznej Hawkswortha i Rose'a do wyznaczenia przedziałów stężeń SO_2 w atmosferze poszczególnych kwadratów. Na tą operację składają się następujące po sobie działania, ponawiane dla każdego z osobna kwadratu badań.

1. Przyporządkowanie wszystkim znalezionym w kwadracie gatunkom porostów numeru strefy lichenoindykacyjnej odczytanego ze skali Hawkswortha i Rose'a.

Strefą lichenoindykacyjną jest najwyższy dla określonego w skali biologicznej gatunku porostu epifitycznego przedział stężenia SO_2 w powietrzu jego siedliska po przekroczeniu, którego ten gatunek ginie (np. dla gatunku *Parmelia sulcata* wynosi 50 – 100 $\mu\text{g SO}_2 / \text{m}^3$). Skalę biologiczną, dlatego

zbudowano ze stref lichenindykacyjnych (progowych przedziałów stężeń SO_2), ponieważ obserwacje wykazały, że poszczególne osobniki tego samego gatunku zamierały przy innym (jednak zbliżonym) stężeniu SO_2 w powietrzu ich stanowiska. Początkowy i końcowy próg ich ginięcia wyznaczył strefę lichenindykacyjną dla tego gatunku. Te odchylenia uzasadnia się oddziaływaniem zmiennych pośrednich – innych od SO_2 czynników siedliskowych, np. warunków świetlnych.

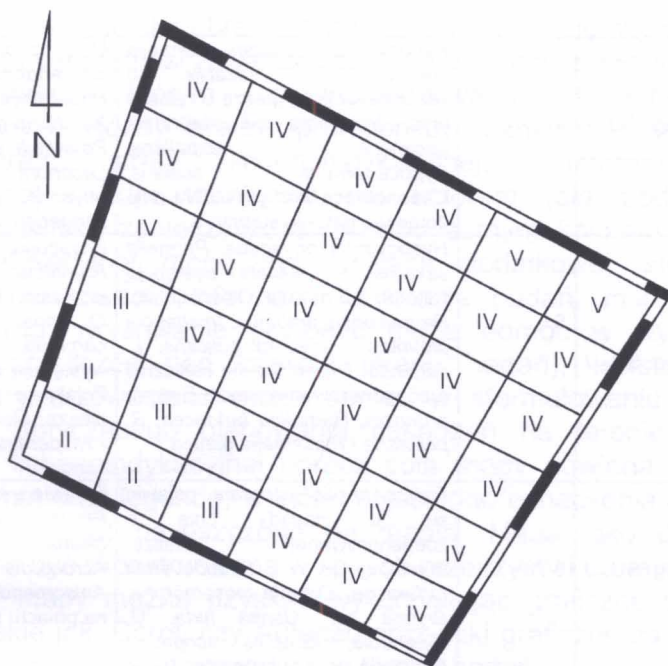
Niektóre gatunki epifityczne porostów są dwukrotnie wymienione w skali biologicznej, ponieważ obok zmiennej zależnej, jaką jest występowanie tych gatunków wskaźnikowych jest brana pod uwagę inna zmienna zależna, jaką jest: morfologia plechy. Przykładem jest *Hypogymnia physodes*, którą przyporządkowano dwóm strefom lichenindykacyjnym (III, IV). Plecha tego gatunku, która jest nie zmieniona wskazuje na IV strefę lichenindykacyjną, natomiast plecha zdegenerowana (przez wyższe stężenie SO_2) wskazuje na III strefę lichenindykacyjną.

Zdarzyć się może, że w kwadracie badań porosty nadrzewne nie występują (na pniach może występować tylko glon *Desmoccocus*). Sytuację taką uwzględnia skala biologiczna Hawkswortha i Rose'a, która tzw. „pustyni porostowej” przypisuje się I strefę lichenindykacyjną.

2. Wskazanie spośród nich gatunku z najwyższym numerem strefy lichenindykacyjnej, czyli tego, który wyznacza przedział poziomów SO_2 w całym kwadracie badań.

3. Zapisanie na mapie roboczej w kwadracie odpowiadającego mu numeru strefy lichenindykacyjnej.

Porosty wskaźnikowe rezerwatu „Kaliszak” określiły cztery strefy lichenindykacyjne: II, III, IV i V (Ryc.3).



Rys. 3. Określenie numeru strefy lichenindykacyjnej na każdej powierzchni badawczej.

Tabela 1. Skala porostów epifitycznych Hawkswortha i Rose'a (1970) dostosowana do flory polskiej (Kiszka 1989) [3]

Nr strefy lichenindykacyjnej	St. Skali	Kora kwaśna i słabo kwaśna	Kora neutralna i zasadowa
I 170 – 200 $\mu\text{g SO}_2 / \text{m}^3$	0	Epifitów brak	Epifitów brak
	1	<i>Desmoccocus viridis</i> s. 1 występuje u nasady pnia	<i>Desmoccocus viridis</i> s. 1. rozciąga się wyżej pnia
II 100 – 170 $\mu\text{g SO}_2 / \text{m}^3$	2	<i>Desmoccocus viridis</i> rozciąga się w górę pnia. <i>Lecanora conizaeoides</i> ograniczony do nasady pnia. Rzadko wyst.: <i>Scoliciosporum chlorococcum</i> , <i>Bacidia phacodes</i> i <i>Leparia incana</i>	<i>Lecanora conizaeoides</i> występuje często. Okazjonalnie pojawia się <i>Lecanora expallens</i> , <i>L. sarcopis</i> , <i>Scoliciosporum chlorococcum</i> , <i>Buellia punctata</i> i <i>Leparia incana</i>
	3	<i>Lecanora conizaeoides</i> często nawet w górę pnia. U nasady pnia: <i>Cladonia coniocrea</i> , rzadziej <i>C. macilentia</i> , <i>C. bacillaris</i> . Występuje też: <i>Scoliciosporum chlorococcum</i> , <i>Bacidia phacodes</i> , <i>Trapeliopsis flexuosa</i> i <i>Leparia incana</i>	<i>Lecanora conizaeoides</i> i <i>Buellia punctata</i> obficie. W mniejszej ilości: <i>L. sarcopis</i> , <i>L. expallens</i> , <i>Scoliciosporum chlorococcum</i> . U nasady pnia zdegenerowane plechy <i>Physcia adscendens</i> .

III 70 - 100 $\mu\text{g SO}_2 / \text{m}^3$	4	<i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Parmelia saxatilis</i> o zdegenerowanej plesze u nasady pnia. Pojawiają się nielicznie: <i>Lecanora expallens</i> , <i>Hypocenomyce scalaris</i> , <i>Chaenotheca ferruginea</i> . Na pniu dominują gatunki stopnia 3.	U nasady pnia <i>Physcia adscendens</i> , <i>P. tenella</i> , <i>Phaeophyscia orbicularis</i> , <i>Xanthoria parietina</i> , <i>X. polycarpa</i> . Pojawiają się: <i>Physconia grisea</i> , <i>Lecanora chlorotera</i> , <i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Parmelia sulcata</i> o zdegenerowanej plesze.
1. IV 50 - 70 $\mu\text{g SO}_2 / \text{m}^3$	5	<i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Parmelia saxatilis</i> , <i>P. sulcata</i> występują tylko do 2,5 m pnia. Osiedlają się; <i>Parmeliopsis ambigua</i> , <i>Imshaugia aleurites</i> , <i>Lecanora pulicaris</i> , <i>L. carpinea</i> . Pojawiają się nielicznie o zdegenerowanej plesze <i>Evernia prunastri</i> , <i>Ramalina farinacea</i> , <i>R. pollinaria</i> i <i>Platismatia glauca</i> .	<i>Physconia enteroxantha</i> , <i>Ramalina farinacea</i> , <i>Evernia prunastri</i> , <i>Opegrapha rufescens</i> , <i>O. Varia</i> , <i>Lecanora chlorotera</i> , <i>L. carpinea</i> , <i>Physcia stellaris</i> występują z gatunkami stopnia 4. Pojawiają się o zdegenerowanej plesze: <i>Melanella acetabulum</i> , <i>M. exasperatula</i> i <i>Candelaria concolor</i>
V 40 - 50 $\mu\text{g SO}_2 / \text{m}^3$	6	<i>Flavoparmelia caperata</i> pojawia się u nasady pnia o zdegenerowanej plesze. Występują: <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Evernia mesomorpha</i> , <i>Bryoria sp.</i> , <i>Usnea hirta</i> , <i>U. filipendula</i> , <i>Graphis scripta</i> i <i>Punctelia subrudecta</i> o zdegenerowanej plesze. Licznie rosną gatunki z rodzaju <i>Lecanora</i> , <i>Lecidella</i> i <i>Pertusaria</i> .	Pojawiają się: <i>Physconia distorta</i> , <i>Physcia aipolia</i> , <i>Anaptychia ciliaris</i> , <i>Parmelia tiliacea</i> , <i>Acrocordia gemmata</i> , <i>Anisomeridium biforme</i> . Często na pniach; <i>Physcia stellaris</i> i inne.
VI 30 - 40 $\mu\text{g SO}_2 / \text{m}^3$	7	<i>Flavoparmelia caperata</i> , <i>Punctelia subrudecta</i> , <i>Pseudevernia furfuracea</i> częste. Pojawiają się plechy <i>Cetraria olivetorum</i> , <i>C. cetrarioides</i> , <i>Hypotrachyna revoluta</i> , <i>Normandina pulchella</i> , <i>Usnea subfloridana</i> , <i>U. florida</i> i inne gatunki rodzaju <i>Usnea</i> , <i>Ramalina</i> i <i>Bryoria</i>	Dominuje <i>Physconia distorta</i> , <i>Physcia aipolia</i> , <i>Anaptychia ciliaris</i> , <i>Bacidia rubella</i> , <i>Ramalina fastigiata</i> , <i>Acrocordia gemmata</i> oraz szereg gat. o plesze listkowatej, skorupiastej i krzaczkowatej
	8	Pojawiają się plechy <i>Usnea ceratina</i> , <i>Menegazzia terebrata</i> , <i>Hypogymnia vittata</i> , <i>Parmotrema arnoldii</i> . Licznie wyst. Gat. stopnia 7.	Pojawiają się <i>Ramalina fraxinea</i> , <i>Caloplaca cerina</i> , <i>C. herbidella</i> , <i>C. ochroleuca</i> , <i>Gyalecta truncigena</i> i <i>Melanella laciniatula</i> . Liczne są gat.st. 7
VII 0 - 30 $\mu\text{g SO}_2 / \text{m}^3$	9	Pojawiają się plechy: <i>Lobaria pulmonaria</i> , <i>Pachyphiale cornea</i> . Na pniach i gałęziach dominują gat. st. 7 i 8.	Dominuje <i>Ramalina fraxinea</i> . Występuje: <i>Physcia leptalea</i> , <i>Caloplaca aurantiaca</i> i szereg gat. wyżej wymienionych.
	10	Pojawiają się plechy: <i>Lobaria amplissima</i> , <i>L. scrobiculata</i> , gat. rodzajów <i>Sticta</i> , <i>Nephroma</i> i <i>Pannaria</i> . Liczne taksony st. 8 i 9.	Licznie występują bez objawów degeneracji plech gatunki st. 8 i 9.

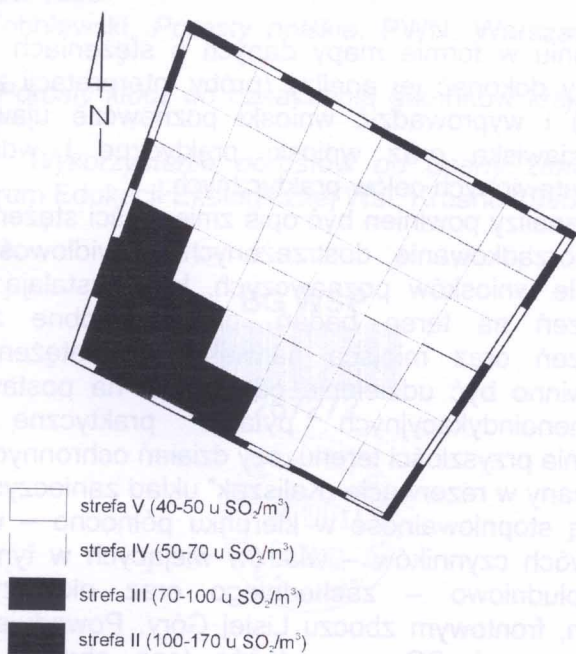
WYKREŚLENIE MAPY LICHENOINDYKACYJNEJ

Wykreślanie mapy lichenindykacyjnej jest czynnością techniczną, której celem jest wizualizacja wyników otrzymanych po zastosowaniu metody lichenindykacyjnej.

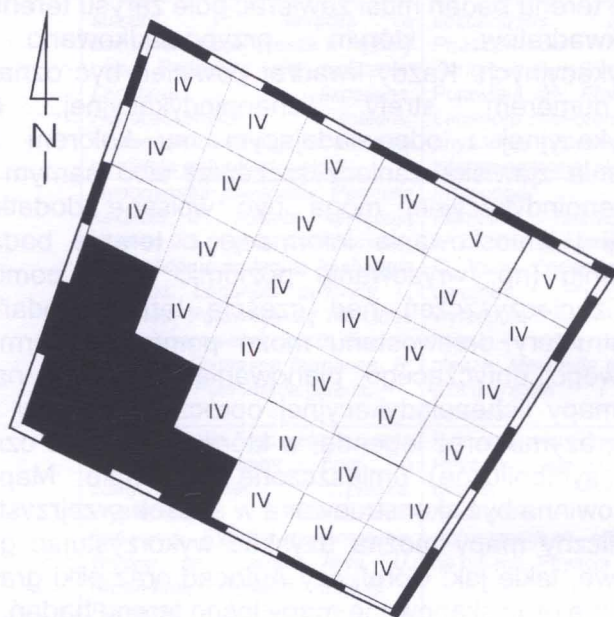
Mapa lichenindykacyjna jako obraz graficzny rozkładania się stężeń SO_2 w atmosferze terenu badań musi zawierać pole zarysu terenu z opisaną na niej siatką kwadratów, którym przyporządkowano numery stref lichenindykacyjnych. Każdy kwadrat powinien być oznaczony, zamiennie: samym numerem strefy lichenindykacyjnej, numerem strefy lichenindykacyjnej i odpowiadającym mu kolorem (dla podkreślenia zróżnicowania zjawiska zanieczyszczenia) albo samym kolorem. W pole mapy lichenindykacyjnej mogą być wpisane dodatkowe, istotne dla interpretacji i wnioskowania informacje o terenie badań, m.in. o jego: ukształtowaniu (np. rysowanie poziomicy może pomóc w wyjaśnieniu kumulacji zanieczyszczeń nad częścią terenu badań), lesistości (np. opisanie struktury drzewostanu może pomóc w sformułowaniu wniosku wdrożeniowego dotyczącego planowania nasadzeń na terenie badań). Struktura mapy lichenindykacyjnej oprócz pola mapy powinna zawierać tytuł, skalę, azymut oraz legendę, w której objaśniono oznaczenia graficzne (barwne i symboliczne) umieszczone na mapie. Mapa jako dokument naukowy powinna być skonstruowana w sposób przejrzysty i czytelny.

Model graficzny mapy można uzyskać wykorzystując graficzne programy komputerowe, takie jak: Corel, czy Autocad oraz pliki graficzne zawierające mapy fizyczne oraz skanowane mapy leśne terenu badań.

Mapa lichenindykacyjna rezerwatu „Kaliszak” obejmuje podstawowe dane o strefach zanieczyszczeń atmosfery przez SO_2 . Zaznaczone różnymi kolorami cztery strefy zanieczyszczeń (Ryc.4,5). obejmują kwadraty terenu badań o wspólnych przedziałach stężeń SO_2 .



Rys. 4. Mapa lichenindykacyjna Rezerwatu „Kaliszak”.



Rys. 5. Barwne oznakowanie powierzchni (kwadratów o tych samych wartościach – numerach stref lichenoidykacyjnych).

INTERPRETACJA WYNIKÓW BADAŃ

Po przekazaniu w formie mapy danych o stężeniach SO_2 w atmosferze terenu należy dokonać jej analizy (próby interpretacji zamieszczonych na niej danych) i wyprowadzić wnioski poznawcze ujawniające przyczyny opisanego zjawiska oraz wnioski praktyczne i wdrożeniowe będące realizacją postawionych celów praktycznych.

Początkiem analizy powinien być opis zmienności stężeń SO_2 w przestrzeni terenu i uporządkowanie dostrzeżonych prawidłowości. Pozwoli to na sformułowanie wniosków poznawczych, które ustalają: kierunek napływu zanieczyszczeń na teren badań, prawdopodobne źródła emisji tych zanieczyszczeń oraz miejsca największego natężenia SO_2 . Kolejnym krokiem powinno być udzielenie odpowiedzi na postawione na początku badań lichenoidykacyjnych pytania praktyczne dotyczące, np. prognozowania przyszłości terenu, czy działań ochronnych.

Zaobserwowany w rezerwacie „Kaliszak” układ zanieczyszczeń wskazuje na ich malejącą stopniowalność w kierunku północno – wschodnim, co jest skutkiem dwóch czynników – wiatrów wiejących w tym rejonie głównie z kierunku południowo – zachodniego oraz ekspozycji rezerwatu na południowym, frontowym zboczu Lisiej Góry. Powoduje to nagromadzanie się zanieczyszczeń SO_2 u podnóża tego zbocza i w konsekwencji najsilniejsze zanieczyszczenie południowo – zachodniego narożnika

rezerwatu. Występowanie w rezerwacie ogólnie niskich stref lichenoindykacyjnych (stref o wysokich stężeniach SO_2) sugeruje pokrywanie tego terenu przez dalekie emisje przemysłowe (m.in. z Zagłębia i Górnego Śląska). Punktowa kumulacja zanieczyszczeń w południowo – zachodniej części rezerwatu może być również wynikiem niskiej emisji ze wsi Apolonka oraz zanieczyszczeń docierających z drogi szybkiego ruchu.

PODSUMOWANIE

Metodyka badań lichenoindykacyjnych kończących się wykreślaniem mapy potwierdza, że są one stosunkowo nieskomplikowaną i efektywną metodą badań biomonitoringowych. Podstawą merytoryczną tych badań jest bardzo dobrze opracowany przez Hawkswortha i Rose'a a wzorzec bioindykacyjny – skala porostów epifitycznych oraz dobrze opisana w przewodnikach flora porostowa, co pozwala na ich fachowe przeprowadzenie nawet przez niedoświadczonego badacza.

LITERATURA

1. J. Hereźniak, *Rezerваты przyrody ziemi częstochowskiej*, Liga Ochrony Przyrody, Częstochowa 2002, p: 112 – 117
2. *Plan Urządzenia Rezerwatu „Kaliszak”*, Nadleśnictwo Złoty Potok, 1994
3. J. Kiszka, Wpływ emisji miejsko – przemysłowych na florę porostów Górnego Śląska i okolicy, *Studia Ośrodka Dokumentacji Fizjograficznej* PAN, XXI, Kraków 1993
4. J. Nowak, Z. Tobolewski, *Porosty polskie*, PWN, Warszawa – Kraków 1975
5. Z. Tobolewski, *Porosty klucz do oznaczania gatunków krajowych*, PWN, Warszawa 1972
6. W. Fałtynowicz, *Wykorzystanie porostów do oceny zanieczyszczenia powietrza*, Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi, Krosno 1995

BG WSP



267272

