METODY TRANSPLANTACJI POROSTÓW STOSOWANE W BIOMONITORINGU POWIETRZA ATMOSFERYCZNEGO

Małgorzata Anna Jóźwiak, Marek Jóźwiak, Mirosław Szwed

Jóźwiak M.A, Jóźwiak M., Szwed M., 2010: Metody transplantacji porostów stosowane w biomonitoringu powietrza atmosferycznego (*Methods of the transplant of lichens applied in atmospheric air biomonitoring)* Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Vol. 11, s. 15-23, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

Zarys treści: Do najbardziej popularnych bioindykatorów zaliczyć należy porosty. Badania stanu sanitarnego powietrza atmosferycznego przy ich użyciu prowadzone są od wielu lat w różnych regionach świata (Sloof, 1995, Gonzales i wsp., 1998; Conti, 2001, 2004; Budka i wsp., 2002; Carreras, Pignata, 2002; Poličnik i wsp., 2004; Godinho i wsp., 2004; Białońska, 2005). Porosty znalazły zastosowanie w kontroli zanieczyszczeń, takich jak: pył o średnicy nie większej niż 20 μm, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, tlenki siarki, tlenki azotu oraz metale ciężkie. Zadecydowały o tym ich wyjątkowe własności do kumulowania zanieczyszczeń w głębi plechy oraz powszechność występowania na Ziemi. Jedną z metod użycia porostów w badaniach biomonitoringowych jest transplantacja rdzennych (autochtonicznych) gatunków z obszarów o małym zanieczyszczeniu (puszcze, parki narodowe, obszary wiejskie zachowujące pierwotny charakter krajobrazu) na tereny, gdzie porosty nie występują w ilościach naturalnych (pustynie porostowe) lub ich populacje w sposób znaczący są ograniczone ze względu na zanieczyszczenia wynikające z działalności człowieka (Szczepaniak, Bziuk, 2003). Analiza chemiczna skumulowanych zanieczyszczeń w plechach porostów może być wykonywana za pomocą spektrofotometru absorpcji atomowej (ASA), a możliwość transplantacji pozwala bezpośrednio ocenić stan środowiska na danym obszarze.

Słowa klucze: transplantacja, bioindykator, akumulacja zanieczyszczeń, plecha, środowisko.
Key words: *transplantation, bioindicator, accumulate pollution, thallus, habitat.*

Małgorzata Anna Jóźwiak, Marek Jóźwiak, Mirosław Szwed, Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska UJK, Kielce, tel. 0048 41 349-64-27, fax. 0048 41 349-64-18, e-mail: malgorzata.jozwiak@vp.pl

1. Wprowadzenie

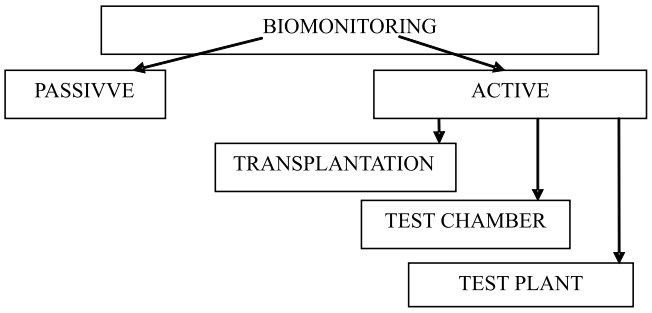
Pierwsze badania biomonitoringowe z użyciem porostów, stwarzające podwaliny teoretyczne i opracowujące metody badań, miały miejsce w latach 60. ubiegłego stulecia (Brodo, 1961).

Organizmy te wykorzystuje się do bioindykacji w różnych regionach świata: Holandia (Sloof, 1995), Finlandia (Garty i in., 1997), Argentyna (González i in., 1998; Carreras, Pignata, 2002; Calvelo, Liberatore, 2004), USA (Malkholm, Bennett, 1998), Niemcy (Jensen i in., 1999), Włochy (Conti, Cecchetti, 2001; Conti i in., 2004,), Polska (Budka i in., 2002; Białońska, 2005; Sawicka-Kapusta i in., 2005, 2007; Jóźwiak, 2007), Chile (Cortés, 2003), Portugalia (Godinho i in., 2004), Słowenia (Poličnik i in., 2004,), Israel (Garty i in., 2004).

Wraz z rozwojem metod analitycznych coraz częściej wykorzystywana jest metoda transplantacji (Burton, 1986, Jeran i in., 1995; Calatayud i in., 2000; Conti, Cecchetti, 2001; Sawicka-Kapusta i in., 2005; Jóźwiak, 2007).

Eksperymenty dotyczące transplantacji porostów, tj. przenoszenia ich z obszarów o małym zanieczysz-

czeniu (puszcze, parki narodowe, obszary wiejskie zachowujące pierwotny charakter krajobrazu) na tereny, gdzie porosty nie występują w naturalnych skupiskach (pustynie porostowe) lub ich populacje są w znaczny sposób ograniczone ze względu na wpływy antropogeniczne, rozpoczęto w końcu XIX wieku. Badania polegały wówczas na obserwacji morfologicznej, makroskopowej i ubytków w plechach (Brodo, 1961). Przenoszenie żywych plech w tereny zanieczyszczone, ich ekspozycja w wytypowanych punktach w zależności od źródeł emisji, a następnie późniejsza analiza składu chemicznego pozwala na określenie stopnia skażenia powietrza z punktu widzenia ochrony zdrowia człowieka. Dlatego techniki transplantacyjne, chociaż wymagające ciągłego doskonalenia metodycznego, znalazły istotne miejsce w biomonitoringu (ryc. 1) i są jednym z lepszych sposobów na długoterminową kontrolę środowiska.



Ryc. 1. Miejsce transplantacji w badaniach biomonitoringowych (Szczepaniak, Bziuk, 2003)
Fig. 1. Place of transplantation in biomonitoring (Szczepaniak, Bziuk, 2003)

2. Gatunki stosowane w metodzie transplantacji

Transplantacja w wytypowanych obszarach umożliwia prowadzenie obserwacji specyficznych zmian morfologicznych oraz analizę chemiczną plech porostowych eksponowanych na określony typ zanieczyszczeń. Zanieczyszczenia mogą pochodzić z obszarów zurbanizowanych, tras szybkiego ruchu, obszarów przemysłowych oraz z elektrociepłowni, zakładów chemicznych i rafinerii.

Biowskaźnikami transplantacyjnymi są najczęściej porosty nitkowate lub listkowate, co wynika z ich większej wrażliwości w stosunku do krzaczkowatych i skorupiastych. Do badań stosowanych na świecie najczęściej wykorzystywane są:

Hypogymnia physodes (L.) Nyl. – transplantowana w strefach zurbanizowanych w południowowschodniej Polsce (miasto Kielce) i parkach narodowych (ŚPN), Krakowskim Okręgu Przemysłowym (Białońska, 2005; Budka i in., 2002; Jóźwiak, 2007; Sawicka-Kapusta, Zakrzewska, 2002), w Słowenii – transplantowana w pobliżu zakładów chemicznych i huty (Poličnik i in., 2004), oraz w środkowym Uralu wokół kopalni (Scheidegger, Mikhailova, 2001);

Usnea amblyoclada (*Mill. Arg.*) *Zahlbr.* – w Argentynie, transplantowana wokół przemysłowej aglomeracji Cordoby w pobliżu cementowni utylizującej odpady niebezpieczne (Carreras, Pignata, 2002);

Evernia prunastri (L.) Ach. – transplantowana we Włoszech do trzech różnie przekształconych przez człowieka obszarów: miejskich (Cassino), wiejskich (S. Elia Fiumerapido) i przemysłowych (Piemont S. Germano) (Conti i in., 2004) oraz w Portugalii (Godinho i in., 2004);

Parmelia caperata (L.) Ach., 1803 – transplantowana w przemysłowym mieście Sines w Portugalii (Godinho i in., 2004);

Parmelia sulcata Taylor. – w Holandii, Niemczech, Belgii, transplantowana w terenach przemysłowych – zagłębie Ruhry, aglomeracji Rotterdamu, niemiecko-belgijskiej strefy uprzemysłowionej (Sloof, 1995);

Punctelia subrudecta (*Nyl.*) *Krog.* – w Argentynie, transplantowana w pobliżu elektrowni w mieście Cordoba (González C.M., Pignata M.L., 1997);

Ramalina lacera (*With.) J.R. Laundon.* – w Izraelu, transplantowana wokół elektrowni węglowych (Garty, 1988);

Ramalina ecklonii (*Sprengel*) *G. Meyer & Flotow* – w Argentynie, transplantowana wzdłuż tras komunikacyjnych o różnym obciążeniu ruchem samochodowym (González i in., 1998);

Ramalina duriaei (De Not.) Bagl. – w Izraelu, transplantowana wzdłuż tras szybkiego ruchu położonych w sąsiedztwie siedzib ludzkich (Garty, 1988);

Pseudevernia furfuracea (L.) *Zopf.* – we Włoszech i w Szwajcarii (Trietiach i in., 2007);

Nephroma antarcticum(Jacq.) Nyl. – w Patagonii, transplantowana w dwóch miastach: San Carlos de Bariloche, miasto turystyczne, Villa Regina, miasto w otoczeniu terenów rolniczych, znajdujące się w prowincji Río Negro (Calvelo, Liberatore, 2004).

Wszystkie wymienione porosty zajmują zatem czołowe miejsca na skali lichenoindykacyjnej, spełniając w ten sposób warunki stawiane bioindykatorom.

3. Metody transplantacji porostów

W metodach transplantacji wykorzystuje się różne techniki i projektuje specjalne konstrukcje w celu optymalizacji ekspozycji plech. Często stosowaną metodą jest rozwieszanie na gałęziach nylonowych sieci z umieszczonymi w nich porostami. Tak wystawiane próbki transplantowano w Argentynie. Siatki lub nylonowe torby podwieszano na wysokości 3 m n.p.g (González, Pignata, 1997) (ryc. 2).

Metodę tę zastosowano również w Argentynie i Włoszech w latach 2002 i 2004, zmieniając wysokość ekspozycji i zawieszając próbki na wysokości 1,5–2,0 m n.p.g. (Carreras, Pignata, 2002; Calvelo, Liberatore, 2004; Conti i wsp., 2004).

Inna metoda wykorzystuje druciane, rozłożone siatki pokryte PCV, które mocowane są na drzewach na wysokości 1,5–2,0 m n.p.g. Metodę tę stosuje się w Niemczech (Häffner i in., 2001). Transplanty próbek porostów eksponuje się również za pomocą lin PCV umieszczonych na wysokości 2.5–3.0 m n.p.g. Metodę tę stosowano w Izraelu (Garty i wsp., 1997).

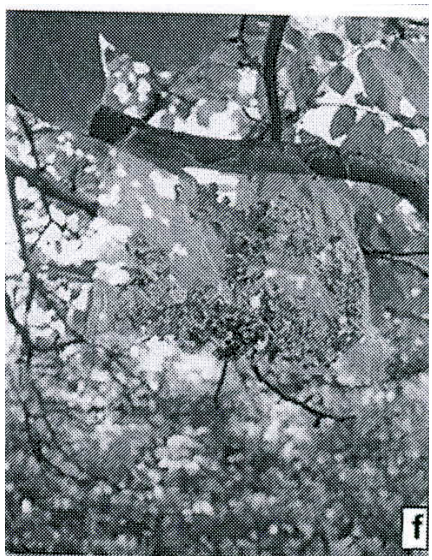
Porosty nawlekane są również na nylonowe żyłki, które następnie rozmieszczone są w odległości 3 cm na poprzecznej deseczce. Poprzedzielane przezroczystymi tubkami z PCV, umieszczane są na wysokości 3 m n.p.g. Metodę taką stosowano w Norwegii i północno-wschodniej Szwecji (ryc. 3).

Konstruowane są także specjalnie zadaszone, drewniane panele mocowane wzdłuż pni drzew z umocowanymi na panelu porostami, które umieszcza się około 1,60 m n.p.g (Cuny i in., 2000) (ryc. 4).

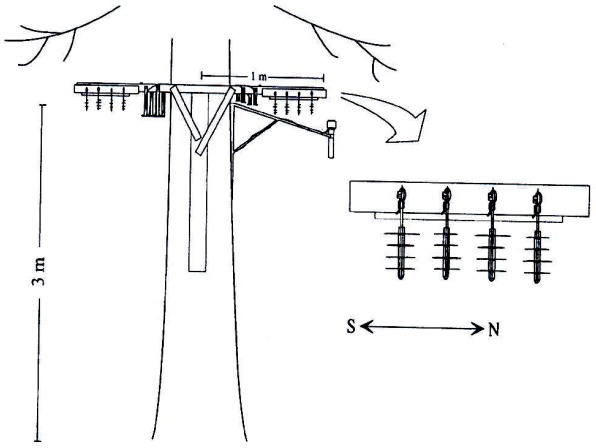
Wykorzystywać można sieci poliamidowe, zwracając uwagę na wielkość oczek, tak by sposób ekspozycji nie stanowił przeszkody przy osadzaniu zanieczyszczeń. W Portugalii stosuje się sieci o porowatości 61 µm (Godinho i in., 2004).

Freitas i wsp. (2007) do ekspozycji porostów wykorzystali szalki Petri'ego o średnicy 47 mm, umieszczane na wysokości 1,5 m n.p.g. na specjalnie skonstruowanych zadaszonych stelażach (ryc. 5)

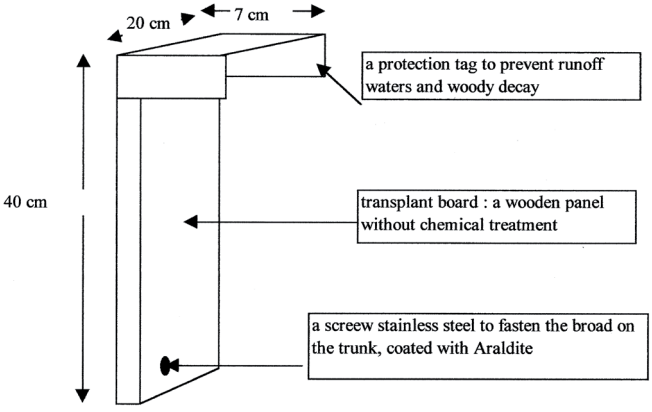
W Polsce na przestrzeni lat 1969–2007 sposób ekspozycji porostów ulegał zmianom. Pierwsze transplanty stanowiły wycięte wraz z porostem krążki kory, które mocowano bezpośrednio na pniach drzew, później, w celu wyeliminowania ewentualnego wpływu podłoża, stosowano deseczki z przyczepionymi do nich krążkami kory (Schönbeck, 1969). Deseczki mocowano na wysokości od 2 m n.p.g. do 8 m n.p.g (Borowiec, Marska, 1982; Fabiszewski i in., 1983; Pustelniak 1991, Kepel, 1999). Metoda transplantacji zaproponowana przez Sawicką-Kapustę i Zakrzewską (2002) na



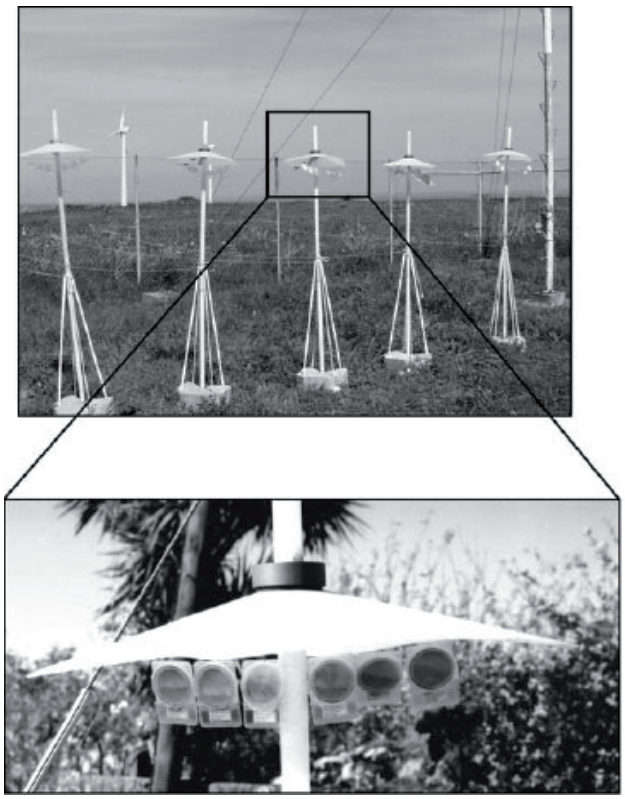
Ryc. 2. Nylonowe torby z próbkami porostowymi
Fig. 2. Nylon bags with lichen samples



Ryc. 3. Porosty nawlekane na nylonowe żyłki
Fig. 3. Lichens threaded on nylon strings



Ryc. 4. Drewniane panele z porostami
Fig. 4. Wooden panels with lichens



Ryc. 5. Szalki Petri'ego z porostami, zadaszone i umieszczone na stojakach

Fig. 5. Petri dishes with lichens roofed and placed on the stands

Fot. 1. Gałązki porośnięte plechą porostową, umieszczane w miejscach ekspozycji na pniach drzew (Fot. M. Jóźwiak)

Photo 1. Branches covered with lichen thallus, put in places of exposure on the tree trunks (Photo M. Jóźwiak)

terenie Polski za Jeranem i wsp. (1995) polega na bezpośrednim umieszczaniu gałązek porośniętych plechą porostową *Hypogymnia physodes* na pniach drzew na wysokości około 2,0 m n.p.g. (fot. 1). Metoda ta do dziś jest stosowana w Polsce w ramach Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego.

Szczegółowa metodyka zbioru próbek do transplantacji zakłada wykonanie rozpoznania warunków przyrodniczych, miejsca poboru porostów, określenie parametrów meteorologicznych, glebowych, gatunku drzewa lub rodzaju skały, z którego pochodzą porosty, oraz wysokości ekspozycji nad poziomem gruntu. W celu minimalizacji wpływu warunków terenowych należy je zbierać na wysokości 1–2,5 m po całym obwodzie obiektu (Sloof, 1995).

Dużemu zróżnicowaniu podlega także wielkość próby użyta do transplantacji. Można ją wyrazić w powierzchni (Sloof, 1995) lub świeżej masie (Carreras, Pignata, 2002). Częściej używana jest jednostka masy, bowiem łatwiej zachować jednolitość wszystkich próbek. Masa wyrażana jest jako świeża, której wartość podaje się w momencie dokonania transplantacji (6,0 g) – Carreras, Pignata (2002) i González, Pignata (1997), lub jako masa suchej próby 30-40 g (Contii, 2004), 100 mg (Godinho, 2004) poddawana suszeniu w temp. 35°C przed ich mineralizacją.

Sloof (1995) transplantował próby o powierzchni ok. 9 cm^2. M.C. Freitas (2007) umieszczał je na powierzchni szalek Petrie'go o średnicy 47 mm, a próby o pow. ok. 4 cm^2 stosował Contii (2004). Transplantacja, która odbywa się z użyciem plech porostów epifitycznych, określa długość gałązek z przyczepionymi do ich powierzchni porostami. Cała transplantowana wraz z plechą gałązka ma długość 30 cm (Białońska, 2005; Budka i in., 2002; Sawicka-Kapusta i in., 2002). Transplantowane porosty oddziela się od kory gałęzi czy pni lub też przeszczepia wraz z nimi (Białońska, 2005), a dopiero po ekspozycji odseparowuje od pierwotnego podłoża.

Zróżnicowaniu podlega także ilość prób w danym obszarze oraz sposób ich umieszczenia. Wysokość, na której zawieszano próby wahała się od 1,5–2 m (Pol-

ska, Słowenia) bezpośrednio przytwierdzonych do drzew czy słupów, przez 2 m (Włochy), 3 m (Argentyna), do 3,5 m (Holandia).

Różnicą w metodyce badań jest również czas ekspozycji plech w warunkach zanieczyszczonego powietrza. Waha się on od 1 do 12 miesięcy. Z analizy dostępnej literatury wynika, że najczęściej stosowanym czasem ekspozycji jest okres 6 miesięcy (półrocze ciepłe i zimne). Jednak w obszarach o znacznym zanieczyszczeniu powietrza (okolice hut, rafinerii, zakładów metalurgicznych, cementowni, elektrociepłowni, dużych aglomeracji miejskich) stosuje się krótsze – czteromiesięczne lub trzymiesięczne – okresy ekspozycji.

Różnorodna metodyka transplantacji próbek wykazywała w przeanalizowanych przypadkach cechy wspólne, jak również uwzględniała istotne różnice, podkreślając ich znaczenie dla przebiegu badań. W każdym jednak przypadku zwracano uwagę na małe zanieczyszczenie powietrza w miejscach poboru porostów przeznaczonych do badań.

Transplanty eksponowane na południowo-zachodnim wybrzeżu Atlantyku przez A.C. Freitas (2007) przenoszono z okolic czystego obszaru północnej Portugalii (Baião). Plechy do badań bioindykacyjnych zanieczyszczeń powietrza w uprzemysłowionym obszarze Cordoby, prowadzone przez H.A. Carreras i M.L. Pignata (2002), pozyskiwano z terenu o niskim stopniu zanieczyszczenia oddalonym od punktów badawczych o 70 km na zachód od Cordoby. Podobnie González i Pignata (1997), którzy materiał próby „O" pobierali na północny zachód od Cordoby, blisko miejscowości La Calera. Contii i in. (2004) transplantowali porosty zebrane z obszarów Parku Narodowego Abruzzo (Środkowe Włochy) i przenosili je w obszary centrum miasta i terenów przemysłowych. Próbki porostowe próby „O" zebrane przez Godinho i in. (2004) pozyskane były z środkowej części Portugalii, z terenów wiejskich i naturalnych w sąsiedztwie miasta Tomar. Badania w Słowenii (Poličnik, 2004) odbywały się z wykorzystaniem porostów pobranych z niezanieczyszczonego obszaru Rogla (Pohorje Gory). Badania holenderskie (Sloof, 1995) polegały na transplantowaniu plech z czystej części północno-zachodniej Holandii na obszary mało, jak i bardzo zanieczyszczone. W przypadku badań Budki i in. (2002), Białońskiej (2005) obszarem pozyskiwania plech porostowych do badań bioindykacyjnych była północno-wschodnia Polska. Obszar położony z dala od metropolii i źródeł emisji – Puszcza Borecka, dla Polski uznana jest jako obszar wzorcowo czysty (Degórska i in., 1998; Śnieżek i in., 2006). Puszcza Borecka była również miejscem poboru plech dla próby „O" i późniejszej transplantacji na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego przez Sawicką-Kapustę i wsp. (2002, 2005) i w mieście Kielce (Jóźwiak, 2007; Jóźwiak, Jóźwiak, 2009; Jóźwiak i wsp., 2010).

4. Zakończenie

Analiza i ocena metod transplantacji porostów na podstawie literatury oraz własnych wyników uzyskanych na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego i w obszarach zurbanizowanych regionu świętokrzyskiego pozwala na sformułowanie uwag, które mogą być przydatne w dalszych badaniach. Ich uwzględnienie powinno wpłynąć na poprawę jakości badań i zobiektywizować uzyskiwane wyniki. Przyjęcie jednolitej metody stosowanej w lichenotransplantologii stworzy jednocześnie możliwość porównywania uzyskanych danych z różnych rejonów świata. Wydaje się zatem, że w przyjętej metodyce transplantacyjnej uwzględnić należy:

– Jednolity czas ekspozycji. Dla obszarów z wyraźnie zaznaczonymi porami roku, w cyklu kwartalnym. Uwzględnia on bowiem cyklicznie występujące zmiany klimatyczne. Dla obszarów bez typowo wyróżnionych pór roku można stosować 6-miesięczny cykl ekspozycji. Taki cykl uwzględnia zróżnicowane okresy grzewcze, co przekłada się na wzrost kumulacji zanieczyszczeń w plechach.
– Sposób ekspozycji porostów dotyczący zarówno miejsca mocowania, jak i sposobu uczepu eksponowanej plechy. Istotnym elementem metodycznym, ze względu na ektohydryczność porostów, jest miejsce ekspozycji. Umieszczanie plech pod zadaszeniami, drewnianymi panelami, bezpośrednio w koronach drzew może wpływać na tempo i ilość kumulowanych zanieczyszczeń, na co zwracali uwagę portugalscy badacze, dobierając siatki o porowatości 61 μm (Godinho i in. 2004). Ekspozycja transplantów powinna odbywać się w miejscach odsłoniętych, w których w promieniu 5 m nie powinny występować przeszkody naturalne ani konstrukcje wykonane przez człowieka.
– Sposób uczepu, który powinien pomijać konieczność odrywania plech autochtonicznych od podłoża przed ich transplantacją, nawlekania na linki PCV, przyczepiania do krążków, deseczek lub szalek Petrie'go. Wszystkie ww. metody są stresotwórcze, wpływają na plechy i mogą obniżać ich kondycję fizjologiczną, a co za tym idzie – zwiększać podat-

ność na kumulację toksyn środowiskowych.
Metoda transplantacji stosowana w regionie świętokrzyskim, uwzględniająca przenoszenie porostów na macierzystych gałązkach, pomija wymienione zastrzeżenia i wydaje się najmniej inwazyjna w stosunku do transplantowanego organizmu.

– Ostatnim istotnym elementem jest ujednolicenie wysokości, na jakiej powinny być umieszczane transplanty. Słuszne wydaje się, aby wysokość ekspozycji odnoszona do powierzchni gruntu uwzględniała rodzaj prowadzonych badań. W przypadku analiz powietrza atmosferycznego prowadzonych w obszarach zurbanizowanych, w których głównym emitorem zanieczyszczeń są samochody, ekspozycja transplantu powinna wynosić 2 m n.p.g. W przypadku analiz powietrza prowadzonych na obszarach uprzemysłowionych, gdzie należy spodziewać się emisji punktowej i zdalnej, ekspozycja plechy powinna odbywać się na wysokości 3–4 m n.p.g.

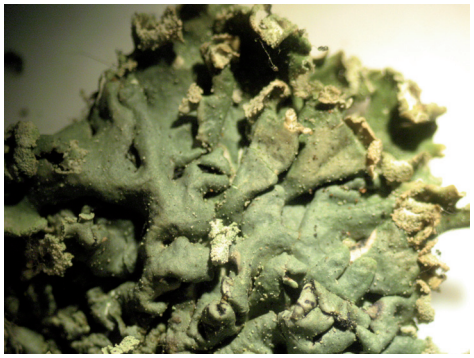
Wymienione zastrzeżenia metodyczne uwzględniono i zastosowano w badaniach powietrza atmosferycznego prowadzonych metodą transplantacji w aglomeracji Kielc przez Katedrę Ochrony i Kształtowania Środowiska. Transplantowany materiał umieszczano na wysokości 2 m n.p.g., na 30-centymetrowych macierzystych gałązkach. Materiał porostowy po okresie ekspozycji poddawano analizie makro- i mikroskopowej.

Obserwacje makroskopowe wykonywano za pomocą mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ 645. Do badania próbek w obrazie mikroskopu elektronowego skaningowego wykonywano skrawki plechy porostu wykazujące zmiany barwne. Obserwacji dokonywano w skaningowym mikroskopie elektronowym FEI QUANTA 200 z mikroanalizatorem typu EDS i cyfrowym zapisem obrazu. Przed przystąpieniem do obserwacji mikroskopowej wybrane skrawki plechy utrwalano w 2-procentowym aldehydzie glutarowym, następnie odwadniano preparat w alkoholu etylowym (30–96%) i w acetonie.

Uzyskane wyniki wskazują na różnice w morfologii, wybarwieniu, stopniu zaawansowania zmian w organizmie bioindykatora (fot. 2, 3, 4, 5, 6) oraz różnice w rodzaju deponowanych zanieczyszczeń (fot. 5, 6, 7, 8), co przypisać należy specyfice miejsca ekspozycji transplantów.

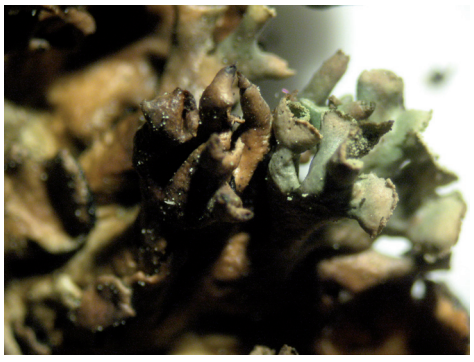
Fot. 2. Zbrązowienia plechy po ekspozycji na osiedlu w Kielcach w odległości 30 m od najbliższych zabudowań (Fot. M.A. Jóźwiak)

Photo 2. Bronzing of thallus after exposure in the housing estate in Kielce in the distance of 30 m form the nearest buildings (Photo M.A. Jóźwiak)



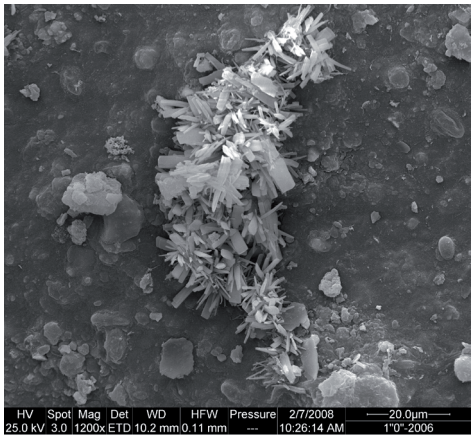
Fot. 3. Nieliczne odbarwienia listków brzegowych plechy eksponowanej w miejscu wypoczynku i rekreacji (Fot. M.A. Jóźwiak)

Photo 3. Few discolorations of marginal lobes of thallus exposed in places of recreation (Photo M.A. Jóźwiak)



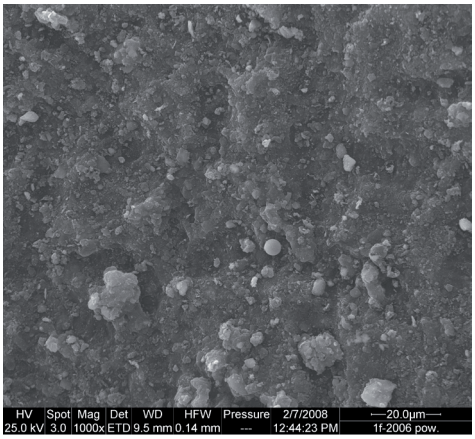
Fot. 4. Zaczernienia i odkształcenia plechy eksponowanej na skrzyżowaniu miejskim (Fot. M.A. Jóźwiak)

Photo 4. Blackening and deformation of thallus exposed at the urban crossroad (Photo M.A. Jóźwiak)



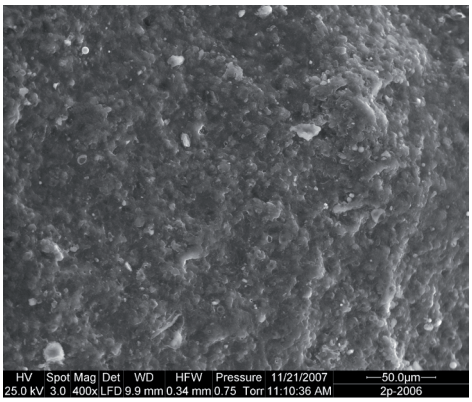
Fot. 5. Zanieczyszczenia mineralne układające się wzdłuż szczelin pseudocyfeli na powierzchni plechy *Hypogymnia physodes* po ekspozycji na skrzyżowaniu w Kielcach (pow. 1200x) (Fot. M.A. Jóźwiak)

Photo 5. Mineral pollution deposited along the cracks on the surface of Hypogymnia physodes thallus after exposure at the crossroad in Kielce (magnification 1200x) (Photo M.A. Jóźwiak)



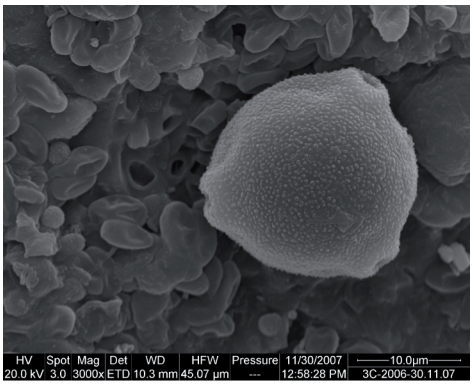
Fot. 6. Zanieczyszczenia przemysłowe na powierzchni plechy *Hypogymnia physodes po* ekspozycji na skrzyżowaniu (pow. 1000x) (Fot. M.A. Jóźwiak)

Photo 6. Industrial pollution on the surface of Hypogymnia physodes after exposure at the crossroad (magnification 1000x) (Photo M.A. Jóźwiak)



Fot. 7. Zanieczyszczenia na powierzchni plechy *Hypogymnia physodes* eksponowanej na osiedlach (pow. 400x) (Fot. M.A. Jóźwiak)

Photo 7. Pollution on the surface of Hypogymnia physodes exposed at the housing estates (magnification 400x) (Photo M.A. Jóźwiak)



Fot. 8. Zarodnik roślinny na powierzchni plechy *Hypogymnia physodes* eksponowanej w miejscach wypoczynku (pow. 3000x) (Fot. M.A. Jóźwiak)

Photo 8. Plant spore on the surface of Hypogymnia physodes thallus exposed in recreational places (magnification 3000x) (Photo M.A. Jóźwiak)

5. Literatura

Białońska D., 2005: *Chemistry of the lichen Hypogymnia physodes transplanted to an industrial region.* Journal of Chemical Ecology, Vol. 31, No. 12, p. 2975–2991.

Borowiec S., Marska B., 1982: *Bioindykacyjna ocena zmian czystości powietrza w latach 1976–1980 w okolicy zakładów chemicznych „Police" na podstawie reakcji porostu Hypogymnia physodes (L.) Nyl.,* Zeszyt. Nauk. AR w Szczecinie, Roln. 29 – seria przyrodnicza 95: 13–16.

Brodo I.M., 1961: *Transplanted experiments with corticolus lichens using a new technique.* Ecology 42, p. 838–841.

Budka D., Przybyłowicz W.J., Mesjasz-Przybyłowicz J., Sawicka-Kapusta K., 2002: *Elemental distribution in lichens transplanted to polluted forest sites near Kraków (Poland).* Vol. 189, Issue: 1–4, April, 2002, p. 499–505.

Burton M.A.S., 1986: *Biological monitoring of environmetal contaminants (plants), Raport 32,* GEMS – Monitoring and Assessment Research Centre, King's College London, University of London.

Calatayud A., Temple P. J., Barrend E., 2000: *Chlorophyll a fluorescence emission, xanthophyll cycle activity, and net photosynthetic rate responsesto ozone in some foliose and friutcose lichen species*, W: Photosyntetica 38: 281–286.

Calvelo S., Liberatore S., 2004: *Applicability of In Situ or Transplanted Lichens for Assessment of Atmospheric Pollution in Patagonia, Argentyna*, W: Journal of Atmospheric Chemistry 49: 199–210.

Carreras H.A., Pignata M.L., 2002: *Biomonitoring of heavy metals and air quality in Cordoba City, Argentina, using transplanted lichens.* Environmental Pollution, Vol. 117, Issue: 1, April, 2002, p. 77–87.

Conti M.E., Cecchetti G., 2001: *Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review,* Environmental Pollution 114: 471–492

Conti M.E., Tudino M., Stripeikis J., Cecchetti G., 2004: *Heavy Metal Accumulation in the Lichen Evernia prunastri Transplanted at Urban, Rural and Industrial Sites in Central Italy*. Journal of Atmospheric Chemistry 49: p. 83–94.

Cortés E., 2003: *Investigation of air pollution in Chile using biomonitors,* Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 262, No. 1: 269–276.

Cuny D., van Haluvin Ch., Pesch R., 2000: *Biomonitoring od trace elements in air and soil compartments along the major motorway in France*, W: Water, Air, and Soil Pollution 125.

Fabiszewski J., Brej T., Bielecki K., 1983: *Plant indication examinations on environmental influence of cooper smelter*, Prace Wrocł. Tow. Nauk., Ser. B: 1–100.

Freitas M.C, Pacheco A.M.G. Baptista M.S., Dionisio I., Vasconcelos M.T., Carbal J.P. 2007: *Response of exposed detached lichens to atmospheric elemental deposition,* Ecological Chemistry and Engineering, Vol. 14, No. 7: 631–643.

Garty J., 1987: *Metal amounts in the lichen Ramalina duriaei (De Not) Bagl. transplanted at biomonitoring sites around a new coal-fired power station after 1 year operation.* Eniviron. Res. 43, p. 104–116.

Garty J., 1988: *Correlations between the metal kontent of a transplanted lichen before and after the start-up of coalfired power station in Israel.* Canad.J.Bot., 66, 4: 668–682.

Garty J., Levin T, Lehr H., Tomer S., Hochman A., 2004: *Interactive Effects of UV-B Radiation and Chemical Contamination on Physiological Parameters in the Lichen Ramalina lacer,* Journal of Atmospheric Chemistry 49: 267–289.

Godinho R.M., Freitas M.C., Wolterbeek H.Th., 2004: *Assessment of Lichen Vitality During a Transplantation Experiment to a Polluted Site.* Journal of Atmospheric Chemistry. Vol. 49, Issue: 1-3, November 2004, p. 355–361.

González C.M., Pignata M.L., 1997: *Chemical response of the Lichen Punctelia subrudecta (Nyl.) Krog. transplanted close to a power station in an urban-industrial environment,* Environmental Pollution, Vol. 97, No 3: 195–203.

González C.M., Orellana L.C., Casanovas S.S., Pignata M.L., 1998: *Environmental conditions and chemical response of a transplanted lichen to an urban area.* Vol. 53, Issue: 1, May, 1998, pp. 73–81.

Häffner E., Lomsky B., Hynek V., Hallgren J.E., Batic E., Pfanz H., 2001: *Physiological responses of different lichens in a transplant experiment following an SO_2 – gradient.* Water, Air and Soil Pollution, 131: 185–201.

Jensen M., Chakir S., Feige G.B., 1999: *Osmotic and atmospheric degradation effects in the lichens Hypogymnia physodes, Lobaria pulmonaria, and Peltigera aphthosa: an in vivo study of the chlorophyll fluorescence induction*, Photosynthetica 37 (3): 393–404.

Jeran Z., Byrne A.R., Batić F., 1995: *Transplanted epiphytic lichens as biomonitors of air – contamination by natural radionuclides around the Žirowski VRH Uranium Mine, Slovenia.* Lichenologist 27(5): 375–385.

Jóźwiak M., 2007: *Kumulacja metali ciężkich i zmiany morfologiczne porostu Hypogymnia physodes (L.) Nyl*. Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 8/07.

Jóźwiak M.A., Jóźwiak M., **2009**: *Influence of cement industry on accumulation of heavy metals in bioindicators*, Ecological Chemistry and Engineering S, Vol. 16, No 3: 323–334.

Jóźwiak M.A., Jóźwiak M., Kozłowski R., 2010: *Bioindicative assessment methods of urban transport impact on the natural environment*, Monografie Zespołu Systemów Eksploatacji PAN, T. II, 177–199.

Kepel A., 1999: *Porosty Poznania jako wskaźnik zanieczyszczenia atmosfery,* rozpr. doktor., mps, UAM Poznań: 1–237.

Loppi S., Bargagli R., 1996: *Lichen as bioindicators of geothermal air pollution in central Itlay.* Bryologist 99, p. 41–48.

Malkholm M.M., Bennett J.P., 1998: *Mercury accumulation in transplanted Hypogymnia physodes lichens downwind of Wisconsin chloralkali plant*, Water, Air, and Soil Pollution 102: 427–436

Olmez I., Gulovali M.C., Gordon G.E., 1985: *Trace element concentration in lichen near a coal-fired power plant.* Atmos.Environ. 19, p. 1663–1670.

Poličnik H., Batič F., Cvetka R.L., 2004: *Monitoring of Short-TermHeavy Metal Deposition by Accumulation in Epiphytic Lichens (Hypogymnia Physodes (L.) Nyl.)*, Journal of Atmospheric Chemistry. Vol. 49, Issue: 1–3, November 2004, pp. 223–230.

Pustelniak L., 1991: *Application of the transplantation method in studies on the influence of the urban environment upon the vitality of Hypogymnia physodes (L.) Nyl. thalli.* Zeszyt. nauk. Univ. Jagiell., Prace Bot. 22: 193–201.

Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M, 2002: *Zanieczyszczenie powietrza w Świętokrzyskim Parku Narodowym w latach 1991–2001 na podstawie biowskaźnika Hypogymnia physodes.* Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 3/02: 83–86.

Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Gdula-Argasińska J., 2005: *Air pollution in the base stations of the Environmental Integrated Monitoring System in Poland,* Air Pollution XIII: 465–475.

Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M, Bydłoń G., 2007: *Biological monitoring – the useful metod for estimation o fair and environment quality*, Air Pollution XV: 353–362.

Scheidegger C., Mikhailova I., 2001: *Early development of Hypogymnia physodes (L.) Nyl. in response to emissions from a copper smelter.* Lichenologist 33(6): 527–538.

Sloof J.E., 1995: *Lichens as quantitative biomonitors for atmospheric trace-element deposition, usin transplants.* Atmospheric Environment. Vol. 29, Issue: 1, January, 1995, pp. 11–20.

Schönbeck H., 1969: *Eine Methode zur Erfassung der biologishen Wirkung von Luftverunreinigungen durch transplantieren Flechten,* Staub., 29: 14–18.

Seinfeld J.H., Pandis S.N., 2006, *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change,* Wiley&Sons, pp. 1203.

Szczepaniak K., Bziuk M., 2003: *Aspects of the biomonitoring studies using mosses and lichens as indicators of metal pollution.* Environmental Research 93, p. 221–230.

Tretiach M., Adamo P., Bargagli R., Baruffo L., Carletti L., Crisafulli P., Giordano S., Modenesi P., Orlando S., Pittao E., 2007: *Lichen and moss bags as monitoring devices in urban areas. Part I: Influence of exposure on sample vitality.* Environmental Pollution Vol. 146, p. 381–396.

METHODS OF THE TRANSPLANT OF LICHENS APPLIED IN ATMOSPHERIC AIR BIOMONITORING

Summary

Lichens are the most popular bioindicators. They have been used to determine the cleanliness of the air in many different parts of the world for many years (Sloof, 1995; Gonzales i wsp., 1998; Conti, 2001; 2004, Budka i wsp., 2002; Carreras, Pignata, 2002; Poličnik i wsp., 2004, Godinho i wsp., 2004, Białońska, 2005). They are also used to control the level of such pollutants as PM 10 dust and PM 2,5 and PAH, sulphur oxide and heavy metals.

Both their unique ability to accumulate pollution in the depth of thallus and the fact that they grow in many different places in the word are decisive in this matter.

One of the methods of using lichens in bomonitoring is transplantation of native species from places with low level of pollution (national parks, countryside with their natural landscape) to places where lichens are not present in natural amounts (lichen deserts) or their population is limited to a great extend because of pollution caused by human beings (Szczepaniak, Bziuk, 2003). Chemical analysis of accumulated pollutants in lichen thallus is carried out with the use of ASA PHILIPS PU 9100X and the possibility of transplantation allows direct estimation of environment conditions in a given location.