

ROLA NATURALNYCH ZAPÓR W ROZPRZESTRZENIANIU SIĘ ZANIECZYSZCZEŃ KOMUNIKACYJNYCH POCHODZĄCYCH Z EMISJI LINIOWEJ

Małgorzata Anna Jóźwiak, Bartosz Jachymczyk

Jóźwiak M.A., Jachymczyk B., 2011: Rola naturalnych zapór w rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń komunikacyjnych pochodzących z emisji liniowej (*The role of natural barriers in the spread of transport pollution from the emission line*), *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, Vol. 12, s. 51–58, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

Zarys treści: Trasy komunikacyjne obsadzone są zielenią w celu zwiększenia atrakcyjności krajobrazu, wykorzystania naturalnych zadrzewień i zakrzewień do wymiany mas powietrza, wyciszania hałasu, zatrzymywania wód opadowych oraz ochrony przed spalinami i zanieczyszczeniami motoryzacyjnymi. W wielu sytuacjach trasy szybkiego ruchu przebiegają przez położone po obu stronach jezdni naturalne kompleksy leśne. Intensywność eksploatacyjna tras jest bardzo duża, co powoduje wzmożoną emisję zanieczyszczeń pochodzących z całkowitego i niecałkowitego spalania paliw ropopochodnych oraz tarcia opon o powierzchnię jezdni asfaltowych. Zanieczyszczeniami tymi są: dwutlenek siarki (SO_2), dwutlenek węgla (CO_2), tlenek węgla (CO), tlenki azotu (NO_x), czteroetylen ołowiu, niemetanowe lotne związki organiczne (NMLZO), WWA, aldehydy, dioksyny, pyły, metale ciężkie, w tym chrom, kadm, ołów.

Celem przeprowadzonych badań jest wykazanie roli zadrzewień rosnących wzdłuż tras szybkiego ruchu jako naturalnej bariery w rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń pochodzących z emisji liniowej. W zastosowanej metodzie wykorzystano bioindykator *Hypogymnia phosodes* – porost wskaźnikowy, który transplantomano w wyznaczonych punktach badawczych.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie powietrza, biomonitoring, porosty, transplantacja.

Key words: air pollution, biomonitoring, lichens, transplantation.

Małgorzata Anna Jóźwiak, Bartosz Jachymczyk, 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

Zadrzewienia przydrożne pełnią różne zadania – od estetycznych po ochronne, a także strategiczne (Świdorska, 2008).

Te wielorakie funkcje to podkreślanie linearności krajobrazu, akcentowanie zakrętów i rozwidleń, tworzenie izolacji przeciwwietrznych, usprawnienie wymiany mas powietrza, ograniczenie hałasu drogowego, zatrzymywanie wód opadowych, wzbogacanie powietrza w wilgoć i tlen, zmniejszanie amplitudy temperatur, tworzenie siedlisk dla życia, zatrzymywanie kurzu, ochrona przed spalinami i zanieczyszczeniami motoryzacyjnymi (Haber,

Urbański, 2010; Szopińska, Zygmunt-Rubaszek, 2009; Wolski, 2008).

Jedną z metod oceny skażenia środowiska jest biologiczna ocena jego stanu, określana jako bioindykacja (Jóźwiak, 2009). Polega ona na reakcji organizmów żywych (bioindykatorów) na zmiany w środowisku. Metoda bioindykacji służy monitorowaniu skażeń oraz zanieczyszczeń przemysłowych i komunikacyjnych (Jóźwiak, 2010).

Powszechnie stosowane bioindykatory, rejestrujące długotrwałą emisję zanieczyszczeń do powietrza, to porosty (Sawicka-Kapusta i in., 2010; Zimny, 2006). Zastosowanie tych organizmów w bioindykacji potwierdzają w swoich badaniach Søchting (1995) oraz Glavich, Ge-

iser (2008), oceniając zdolności kumulacyjne porostów w odniesieniu do siarki, azotu i metali ciężkich w plechach. W prowadzonych przez Vingiani i in. (2004) badaniach z zastosowaniem *Physcia adscendens* analizowana była koncentracja NO_x w obszarze aglomeracji włoskiego Neapolu. Badania prowadzone wzdłuż tras szybkiego ruchu z wykorzystaniem metod transplantacyjnych prowadzone były również przez zespół Gomberta (2003) i wykazały zdolności kumulacyjne porostu *Hypogymnia physodes*. Cuny, Van Haluwyn i Pesch (2001) z wykorzystaniem metod biomonitoringu analizowali występowanie i kumulację zanieczyszczeń wzdłuż tras szybkiego ruchu we Francji.

Najczęściej stosowanym bioindykatorem w Polsce, w obszarach o zróżnicowanym zanieczyszczeniu, jest pustułka pęcherzykowata (*Hypogymnia physodes*) (Jóźwiak i in., 2010; Wójciak, 2007).

W wyniku rozwoju transportu kołowego oraz infrastruktury drogowej następuje wzrost emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Związki metali ciężkich znajdujące się w pyłe $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} oraz WWA, wykazują właściwości kancerogenne i mutagenne, co powoduje ich negatywny wpływ na organizmy roślin i zwierząt.

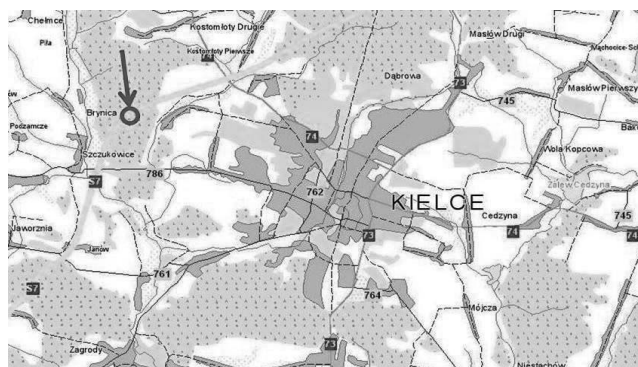
Głównymi zanieczyszczeniami pochodzącymi z transportu samochodowego są: dwutlenek siarki (SO_2), dwutlenek węgla (CO_2), tlenek węgla (CO), tlenki azotu (NO_x), czteroetylenek ołowiu, niemetanowe lotne związki organiczne (NMLZO), WWA, aldehydy, dioksyne, pyły, metale ciężkie, w tym: chrom, kadm, ołów (Grochowicz, Korytkowski, 1996; Juda-Rezler, 2000; Maciak, 1999; Stankiewicz, Berkowska, 1994). Zanieczyszczenia atmosferyczne notowane wzdłuż tras szybkiego ruchu powstają w wyniku całkowitego i niecałkowitego spalania paliw w silnikach samochodowych oraz wskutek tarcia opon o powierzchnię jezdni asfaltowych. Szeroko dokumentowane są badania wskazujące na duże koncentracje manganu stwierdzone w plechach *Parmelia sulcata* transplantowanych wzdłuż dróg, gdzie autorzy wykazują zależności między koncentracją wspomnianego metalu a odległością transplantowanej plechy od źródła emisji liniowej (Affum i in., 2011).

Ilość emitowanych zanieczyszczeń ze źródeł komunikacyjnych zależy od natężenia i płynności ruchu, konstrukcji silnika i jego stanu technicznego, zastosowania dopalaczy i filtrów, rodzaju paliwa oraz pochylenia podłużnego drogi, co w rezultacie wpływa na powstawanie kwaśnych deszczy, smogu oraz efekt cieplarniany (<http://kielce.pios.gov.pl/raporty/>, Juda-Rezler, 2000).

Celem badań jest wykazanie roli lasu jako naturalnej bariery dla zanieczyszczeń komunikacyjnych pochodzących z emisji liniowej.

2. Charakterystyka obszaru badań

Badania przeprowadzono w lesie sosnowym (bór sosnowy suchy) znajdującym się przy drodze ekspresowej S7 (Gdańsk–Rabka) w zachodniej części miasta Kielce (50° 53' N, 20° 32' E) (ryc. 1). Stanowiska badawcze usytuowane były po wschodniej stronie szlaku komunikacyjnego w odległości: bezpośredniej, 50 m, 100 m, 150 m od drogi.



Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań (<http://maps.geoportal.gov.pl/>)

Fig. 1. Location of study area (<http://maps.geoportal.gov.pl/>)

Zbiorowiska borów suchych mają drzewostan zwykle czysto sosnowy, słabo zwarty, dość niski, rozwijają się na glebach o słabej bonitacji. Warstwa krzewów ma znikome zwarcie. Nieduże zwarcie wykazuje też warstwa zielna (10–30%) złożona głównie z krzewinek i traw. Pełne pokrycie wykazuje warstwa mszysta, w której dominują krzaczkowate porosty, przede wszystkim różne gatunki chrobotków. Bogactwo florystyczne jest nieduże. Głównie są to rośliny zarodnikowe (Matuszkiewicz, 2008).

Teren badań znajduje się w odległości ok. 1 km od siedzib mieszkalnych. W pobliżu prowadzonych badań nie występują zakłady przemysłowe oraz pola uprawne.

3. Charakterystyka obiektu badań

Bioindykatorem wykorzystanym do badań jest porost pustułka pęcherzykowata (*Hypogymnia physodes*), należący do rodziny tarczownicowatych (Parmeliaceae) (Jóźwiak, 2007; 2009).

Plecha pustułki pęcherzykowatej przyjmuje kształt listkowaty, rozetkowaty lub nieregularny. Jest głęboko wcinana, o budowie heteromerycznej, z korą na górnej i dolnej stronie, luźno przyczepiona do podłoża za pomocą zmarszczek kory dolnej (Fałtynowicz, 1995; Wójciak, 2007). *Hypogymnia physodes* przyjmuje zabarwienie szare lub szarozielonawe. Rośnie na korze drzew szpil-

kowych, liściastych, drewnie, rzadko na ziemi i podłożu skalnym (Wójciak, 2007). W dziesięciostopniowej skali lichenoidykacyjnej zaproponowanej przez Kiskę (1990) zajmuje IV miejsce i jest powszechnie stosowanym porostem bioindykacyjnym. Jej zdolności akumulacyjne zanieczyszczeń atmosferycznych dokumentują liczne prace (Bates, 2004; Bem i in., 2003; Bennett, 1995; Bennett, Wetmore, 1997; Białońska, Dajan, 2005; Białońska i in., 2002; Calvelo, Liberatore, 2004; Carreras, Pignata, 2002; Conti, Cecchetti, 2001; Conti i in., 2004; Garty, Ammann, 1987; Garty i in., 1997).

4. Metodyka

4.1. Badania terenowe

W badaniach wykorzystano metodę transplantacji pustułki pęcherzykowatej. Prowadzone obserwacje dotyczyły klasyfikacji zmian w strukturze morfologicznej plechy transplantowanych porostów i ocenie ich drastyczności w zależności od odległości od źródła emisji z wykorzystaniem naturalnych barier.

Badania przeprowadzono w okresie od kwietnia 2010 roku do marca 2011 roku. Przeanalizowano zmiany w budowie plech porostowych, uwzględniając cztery kwartały roku. W lesie znajdującym się przy drodze ekspresowej S7 (Gdańsk–Rabka) w zachodniej części miasta Kielce wytypowano cztery stanowiska badawcze. Stanowiska znajdowały się po wschodniej stronie szlaku komunikacyjnego w odległości: bezpośredniej, 50 m, 100 m, 150 m od drogi. Transplanty pozyskiwano z Puszczy Boreckiej (północno-wschodnia Polska), z obszaru wskaźnikowo czystego, na 30 cm gałązkach. Gałązki eksponowano na wysokości 1,5–2 m nad powierzchnią gruntu, a ekspozycja przebiegała w czterech cyklach trzymiesięcznych (Jóźwiak i in., 2010). Dla każdej ekspozycji pobierana była próba kontrolna.

W ramach badań terenowych wykonano pomiar natężenia ruchu drogowego na drodze ekspresowej S7, na odcinku węzeł Kostomłoty/Niewachłów (łączący S7 z drogą krajową 74) – węzeł Jaworzna (łączący S7 z drogą wojewódzką 761), rozdzielając pojazdy na osobowe i ciężarowe.

4.2. Badania laboratoryjne

Dokonano analizy zmian morfologicznych w budowie plechy *Hypogymnia physodes*. Notowano: nekrozy, przebarwienia, ubytki brzegowe rozet, wykruszenia całych rozet, wygięcia plechy, zmiany w soraliach wargowych (Jóźwiak, 2007).

Z każdej wyeksponowanej próby kwartalnej wybierano losowo 10 fragmentów plechy o średniej powierzchni 2,5 cm², dokonując obserwacji mikroskopowej. Losowo wybrany fragment plechy fotografowano 3-krotnie (co daje w jednorazowym pomiarze maksymalną ilość obserwacji 30), wychwytyjąc określony typ zmian na jej powierzchni. Łączna liczba dokonanych obserwacji zmian we wszystkich kwartałach wyniosła 120. Próby wykonywano w mikroskopie Nikon SMZ 1500, wykorzystując program NIS-Elements Basic Research. Utrwalono obrazy za pomocą kamery wideo. Wyniki zaobserwowanych zmian zestawiono tabelarycznie.

5. Wyniki

Natężenie ruchu drogowego na odcinku drogi ekspresowej S7, przy którym prowadzone były badania, wynosi 1204 poj.·h⁻¹, w tym 873 samochody osobowe i 331 pojazdy ciężarowe (pomiar własny).

Wyniki badań uszkodzeń porostu *Hypogymnia physodes* zestawiono w tabelach 1–4, podając liczbowo ilość przypadków z widocznymi typami zmian w budowie morfologicznej plech.

Analiza morfologii plech transplantowanych w bezpośredniej odległości od trasy pokazuje dużą drastyczność zmian. Są to rozległe obszary martwicze, liczne ubytki brzegowe plechy, uszkodzenia soraliów wargowych oraz obszarowe zmiany barwne (tab. 1).

Analiza tych samych typów uszkodzeń dokonana w zależności od odległości od źródła emisji z uwzględnieniem ścian drzew jako bariery, wskazuje na spadki ilości uszkodzeń o charakterze nekroz, wykruszeń i wyłamań soraliów z jednoczesnym zachowaniem na podobnym poziomie zmian barwnych. Spadek ilości notowanych nekroz wynosi 18%, ubytków brzegowych wynosi 13%, wykruszeń całych rozet 32%, ubytków w soraliach 31%, podczas gdy przebarwienia plech występujące w wytypowanych do analizy próbkach zachowują podobny poziom na wszystkich stanowiskach badawczych (tab. 1–4).

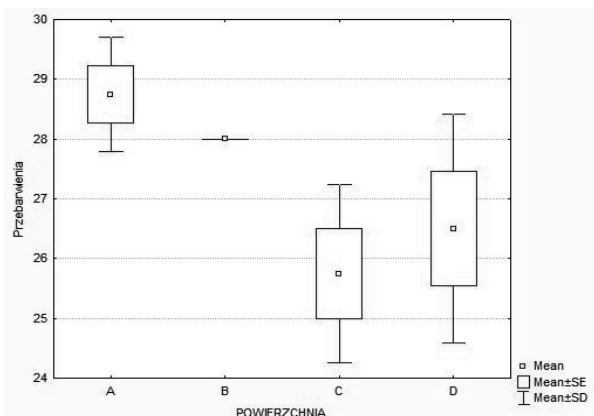
Lokalizacja transplantów w odległości 50 m od źródła emisji liniowej (przesuwając się w głąb lasu) wskazuje, że najwięcej zmian w budowie morfologicznej plech polegało na przebarwieniach, najmniej notowanych zmian to wykruszenia całych rozetek plechy, co może być spowodowane wyciszającą i przeciwwietrzną rolą lasu oraz zmniejszonym ruchem powietrza wewnątrz lasu.

W odległości 100 m od szlaku komunikacyjnego najwięcej utrzymujących się zmian wykazują przebarwienia plechy (tab. 3). Zaskoczeniem jest wzrost zmian w soraliach wynikający głównie z ich wyłamań, nekrotycznych zaczerwień u ich podstawy, co w efekcie zmniejsza poten-

cjał w rozmnażaniu wegetatywnym i uniemożliwia rozprzestrzenianie się taksonu.

Ekspozycja gałązek z plechami *Hypogymnia physodes* w odległości 150 m od źródła emisji liniowej wykazała najmniejsze zmiany w morfologii plech. Głównie były to przebarwienia i ubytki brzegowych dychotomicznie rozgałęzionych rozetek (tab. 4).

Przeprowadzony nieparametryczny test zmienności U Manna-Whitneya zmian morfologicznych, jakie wystąpiły przy ekspozycji plech *Hypogymnia physodes* w zależności od odległości od źródła emisji, wykazał, że istotnie statystycznie są wyniki nekroz i wygięć plechy stwierdzone w bezpośrednim sąsiedztwie drogi (nekrozy: $z = 2,309$ przy $p = 0,028$; wygięcia plechy: $z = 2,165$ przy $p = 0,03$). Istotnie statystycznie były także wyniki przebarwień występujących w odległości 50 m od drogi ($z = 2,165$ przy $p = 0,028$).

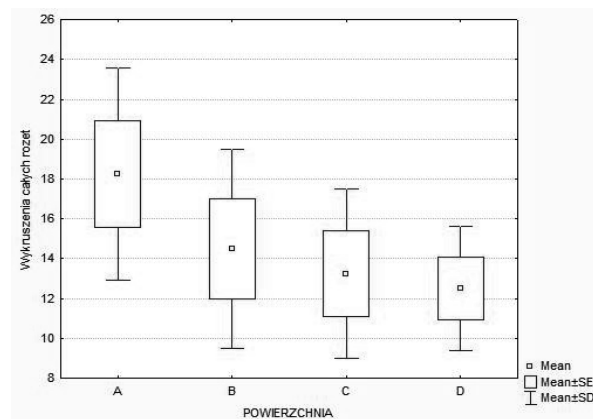


Ryc. 2. Zmiany morfologiczne plech *Hypogymnia physodes* w postaci przebarwień

Fig. 2. Morphological changes of *Hypogymnia physodes* thalli in discoloration figure

W okresie przyjętym do badań najczęściej pojawiającą się zmianą były przebarwienia plech (ryc. 2), występujące licznie na każdej powierzchni, natomiast najrzadziej pojawiały się wykruszenia całych rozetek, z wyraźną tendencją malejącą w miarę oddalania się od źródła emisji (ryc. 3).

W kwartalnym podziale okresu przyjętego do badań (kwiecień 2010 – marzec 2011) stwierdzono, że po ekspozycji porostów w miesiącach kwiecień–czerwiec wystąpiło najmniej zmian (433 przypadki). W pozostałych okresach liczba przypadków zmian wynosiła od 500, po ekspozycji w miesiącach styczeń–marzec, do 542, po ekspozycji w okresie październik–grudzień.



Ryc. 3. Zmiany morfologiczne plech *Hypogymnia physodes* w postaci wykruszeń całych rozetek

Fig. 3. Morphological changes of *Hypogymnia physodes* thalli in chipping of whole rosettes figure

6. Zakończenie

Biomonitoring ma na celu szybkie diagnozowanie zmian zachodzących w organizmach wskaźnikowych. Obserwacja transformacji morfologicznej, zachodząca pod wpływem zmian środowiskowych w organizmach o dobrze znanych cechach, takich jak: kształt, kolor, wielkość, obecność charakterystycznych struktur, prowadzona wprost w warunkach terenowych, powinna stanowić podstawę do wnioskowania o zmianach w biotopie i umożliwiać ocenę stanu sanitarnego środowiska. Dalsze analizy badawcze prowadzone w warunkach laboratoryjnych określać mogą bowiem przyczynę zmian stwierdzanych makroskopowo, a analiza statystyczna ułatwia wnioskowanie dotyczące ilości, częstości i występujących zależności między poszczególnymi, badanymi parametrami. Sprawność terenowa badacza, wyrażona umiejętnością szybkiej oceny organoleptycznej (makroskopowej), potwierdzona następnie w warunkach laboratoryjnych w postaci dokumentu fotograficznego, analizy chemiczne odbarwionych plech i ocena statystyczna natężenia zmian występujących w kolejnych terminach badań to podstawowe założenia prowadzonych badań.

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki Nr NN305 298040.

Project were sponsored by National Science Centre No NN 305 298040.

Tab. 1. Częstotliwości zmian w budowie morfologicznej plech w odległości bezpośredniej od źródła emisji
 Tab. 1. Frequency of changes in thallus morphology from the direct distance of emission source

Kwartał roku <i>Quarter of the year</i>	Typ zmian <i>Type of change</i>						Razem <i>Total</i>
	Nekrozy <i>Necrosis</i>	Przebarwienia <i>Discoloration</i>	Ubytki brzegowe rozet <i>Losses boundary rosettes</i>	Wykruszenia całych rozet <i>Chipping of whole rosettes</i>	Wygięcia plechy <i>Thallus bends</i>	Zmiany w soraliach wargowych <i>Changes in the labial soralia</i>	
I	23	28	20	12	18	15	116
II	29	29	24	21	20	24	147
III	25	30	27	24	24	28	158
IV	26	28	22	16	22	21	135
Razem <i>Total</i>	103	115	93	73	84	88	X

Tab. 2. Częstotliwości zmian w budowie morfologicznej plech w odległości 50 m od źródła emisji
 Tab. 2. Frequency of changes in thallus morphology from the 50 meters of emission source

Kwartał roku <i>Quarter of the year</i>	Typ zmian <i>Type of change</i>						Razem <i>Total</i>
	Nekrozy <i>Necrosis</i>	Przebarwienia <i>Discoloration</i>	Ubytki brzegowe rozet <i>Losses boundary rosettes</i>	Wykruszenia całych rozet <i>Chipping of whole rosettes</i>	Wygięcia plechy <i>Thallus bends</i>	Zmiany w soraliach wargowych <i>Changes in the labial soralia</i>	
I	25	28	19	9	15	14	110
II	27	28	18	13	21	21	128
III	25	28	26	21	21	26	147
IV	22	28	23	15	19	23	130
Razem <i>Total</i>	99	112	86	58	76	84	X

Tab. 3. Częstotliwości zmian w budowie morfologicznej plech w odległości 100 m od źródła emisji
 Tab. 3. Frequency of changes in thallus morphology from the 100 meters of emission source

Kwartał roku <i>Quarter of the year</i>	Typ zmian <i>Type of change</i>						Razem <i>Total</i>
	Nekrozy <i>Necrosis</i>	Przebarwienia <i>Discoloration</i>	Ubytki brzegowe rozet <i>Losses boundary rosettes</i>	Wykruszenia całych rozet <i>Chipping of whole rosettes</i>	Wygięcia plechy <i>Thallus bends</i>	Zmiany w soraliach wargowych <i>Changes in the labial soralia</i>	
I	26	27	17	7	14	13	104
II	21	25	23	16	18	20	123
III	23	27	17	16	19	19	121
IV	23	24	20	14	21	16	118
Razem <i>Total</i>	93	103	77	53	72	68	X

Tab. 4. Częstotliwości zmian w budowie morfologicznej plech w odległości 150 m od źródła emisji
 Tab. 4. Frequency of changes in thallus morphology from the 150 meters of emission source

Kwartal roku <i>Quarter of the year</i>	Typ zmian <i>Type of change</i>						Razem <i>Total</i>
	Nekrozy <i>Necrosis</i>	Przebarwienia <i>Discoloration</i>	Ubytki brzegowe rozet <i>Losses boundary rosettes</i>	Wykruszenia całych rozet <i>Chipping of whole rosettes</i>	Wygięcia plechy <i>Thallus bends</i>	Zmiany w soraliach wargowych <i>Changes in the labial soralia</i>	
I	22	25	18	11	17	10	103
II	21	29	20	9	17	19	115
III	20	27	23	14	17	15	116
IV	21	25	20	16	18	17	117
Razem <i>Total</i>	84	106	81	50	69	61	X

7. Literatura

- Affum H.A., Oduro-Afriye K., Nartey V.K., Addo M.A., Nyarko B.J.B., Mumuni I.I., Adu P.S., Appiah G.K., Coleman A., 2011: *Lichens as a monitor for atmospheric manganese pollution*, Research Journal of Environmental and Earth Sciences, Vol. 3: 534–540.
- ATSDR, 2000: *Toxicological profile for manganese Atlantic*, G A, US Department of Health and Human services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Bates J.W., 2004: *Efekty oddziaływań na mszaki i porosty*. W: Bell J.N.B., Treshow M. (red.). Zanieczyszczenie powietrza a życie roślin, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa: 345–384.
- Bem H., Gallorini M., Rizzio E., Krzemińska M., 2003: *Comparative studies on the concentrations of some elements in the urban air particulate matter in Lodz City of Poland and in Milan, Italy*, Environment International, Vol. 29: 423–428.
- Bennett J.P., 1995: *Abnormal chemical element concentrations in lichens of Isle Royale National Park*, Environmental and Experimental Botany, Vol. 35: 259–277.
- Bennett J.P., Wetmore C.M., 1997: *Chemical element concentrations in four lichens on a transect entering Voyageurs National Park*, Environmental and Experimental Botany, Vol. 37: 173–185.
- Białońska D., Dayan F.E., 2005: *Chemistry of the lichen Hypogymnia physodes transplanted to an industrial region*, Journal of Chemical Ecology, Vol. 31, No. 12: 2975–2991.
- Białońska D., Zakrzewska M., Sawicka-Kapusta K., 2002: *Zawartość Zn w narządach drobnych ssaków chronicznie narażonych na kadm*. W: Kozłowski S. (red.). Cynk w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne, Zeszyty Naukowe Komitetu „Człowiek i środowisko”, Polska Akademia Nauk, Nr 33: 529–534.
- Calvelo S., Liberatore S., 2004: *Applicability of in situ or transplanted lichens for assessment of atmospheric pollution in Patagonia, Argentina*, Journal of Atmospheric Chemistry, Vol. 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: 77–87.
- Conti M.E., Cecchetti G., 2001: *Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review*, Environmental Pollution, Vol. 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, Vol. 49: 83–94.
- Cuny D., Van Haluwyn C., Pesch R., 2001: *Biomonitoring of trace elements in air and soil compartments along the major motorway in France*, Water, Air Soil Pollution, Vol. 125: 273–289.
- Dobson A.N., Erikson M., Aschner K.M., 2004: *Manganese neurotoxicity*. Ann. NY Acad. Sci., 1012: 115–128.
- Fałtynowicz W., 1995: *Wykorzystanie porostów do oceny zanieczyszczenia powietrza*, Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi, Krosno: 102.
- Garty J., Ammann K., 1987: *The amounts of Ni, Cr, Zn, Pb, Cu, Fe and Mn in some lichens growing in*

- Switzerland, Environmental and Experimental Botany, Vol. 27: 127–138.
- Garty J., Kauppi M., Kauppi A., 1997:** *The influence of air pollution on the concentration of airborne elements and on the production of stress-ethylene in the lichen Usnea hirta (L.) Weber em. Mot. transplanted in urban sites in Oulu, N. Finland*, Archives of Environmental Contamination and Toxicology, Vol. 32: 285–290.
- Glavich D.A., Geiser L.H., 2008:** *Potential approaches to developing lichen-based critical loads and levels for nitrogen, sulfur and metal-containing atmospheric pollutants in North America*, Bryologist, Vol. 111, No. 4: 638–649.
- Grochowicz E., Korytkowski J., 1996:** *Ochrona powietrza*, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa: 8, 10-12, 17–18.
- Haber Z., Urbański P., 2010:** *Kształtowanie terenów zieleni z elementami ekologii*, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań: 41. <http://kielce.pios.gov.pl/raporty/> (data pozyskania: 23.03.2011).
- <http://maps.geoportal.gov.pl/> (data pozyskania: 15.04.2011).
- Jóźwiak M.A., 2007:** *Kumulacja metali ciężkich i zmiany morfologiczne w plechach porostu Hypogymnia physodes (L.) Nyl.*, Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Nr 8, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce: 51–56.
- Jóźwiak M.A., 2009:** *Możliwości wykorzystania epifitów do oceny zanieczyszczenia powietrza w centralnej części Gór Świętokrzyskich*, Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Nr 10, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce: 57–64.
- Jóźwiak M.A., 2010:** *Biomonitoring środowisk lądowych i wodnych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego Jana Kochanowskiego, Kielce: 23, 81.
- Jóźwiak M.A., Jóźwiak M., Szwed M., 2010:** *Metody transplantacji porostów stosowane w biomonitoringu powietrza atmosferycznego*, Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Vol. 11, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce: 15–23.
- Juda-Rezler K., 2000:** *Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa: 38, 49, 51–52, 59, 63–64, 74, 76, 107–108, 111–112, 120–121, 159–160.
- Maciak F., 1999:** *Ochrona i rekultywacja środowiska*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa: 67.
- Matuszkiewicz J.M., 2008:** *Zespoły leśne Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 81.
- Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Bydłoń G., Hajduk J., 2010:** *Ocena zanieczyszczenia powietrza Stacji Bazowych ZMŚP metalami ciężkimi i dwutlenkiem siarki w latach 2001–2009 z wykorzystaniem porostu Hypogymnia physodes*, Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Vol. 11, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce: 63–71.
- Søchting U., 1995:** *Lichens as monitors of nitrogen deposition*, Cryptogamic Botany. Vol. 5, No. 3: 264–269.
- Stankiewicz D., Berkowska E., 1994:** *Rodzaje zanieczyszczeń emitowanych przez poszczególne środki transportu*. W: Chodyra A. (red.). Transport a ochrona środowiska: materiały z seminarium zorganizowanego w dniu 27 IX 1994 roku, Biuro Studiów i Ekspertyz Kancelaria Sejmu, Warszawa: 133–148.
- Świdowska E., 2008:** *Współczesne tendencje w projektowaniu zieleni przydrożnej*. W: Greinert A., Drozdek M.E. (red.). Od promenady do autostrady: komunikacja z naturą, Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Sulechowie, Sulechów-Kalsk: 136–142.
- Szopińska E., Zygmunt-Rubaszek J., 2009:** *Rozwiązania techniczne w projektowaniu i realizacji zieleni wysokiej w krajobrazie zurbanizowanym*. W: Drozdek M.E., Wojewoda I., Purcel A. (red.). Techniki i technologie dla terenów zieleni, Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Sulechowie, Sulechów-Kalsk: 19–25.
- Vingiani S., Adamo P., Giordano S., 2004:** *Sulphur, nitrogen and carbon content of Sphagnum capillifolium and Pseudevernia furfuracea exposed in bags in the Naples urban area*, Environmental Pollution, Vol. 129, No. 1: 145–158.
- Wójciak H., 2007:** *Porosty, mszaki, paprotniki*, Multico Oficyna Wydawnicza, Warszawa: 22, 24, 124–125.
- Wolski K., 2008:** *Dobór gatunków i charakterystyka materiału roślinnego dla terenów zieleni przy autostradach – wnioski powykonawcze z budowy autostrady A2*. W: Greinert A., Drozdek M. E. (red.). Od promenady do autostrady: komunikacja z naturą, Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Sulechowie, Sulechów-Kalsk: 264–273.
- Zimny H., 2006:** *Ekologiczna ocena stanu środowiska: bioindykacja i biomonitoring*, Agencja Reklamowo-Wydawnicza Arkadiusz Grzegorzcyk, Warszawa: 17.

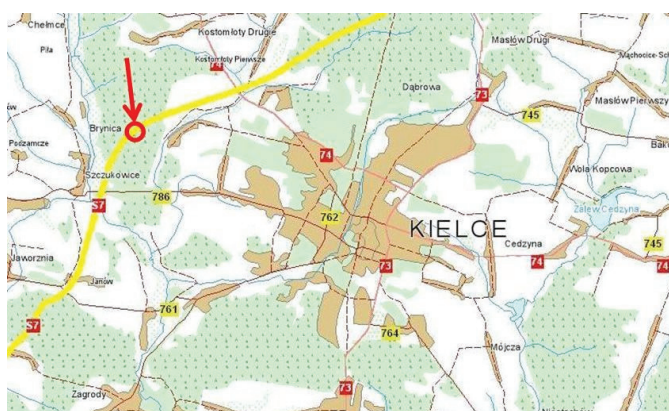
THE ROLE OF NATURAL BARRIERS IN THE SPREAD OF TRANSPORT POLLUTION FROM THE EMISSION LINE

Summary

The transport routes are filled with greenery in order to increase the attractiveness of the landscape, use of natural trees and shrubs for the exchange of air masses, mute noise, retention of rainwater and protection against exhaust and automotive pollution. In many situations, expressways run through, located on both sides of the roadway, natural forests complexes. The intensity of operating routes is very high, resulting in increased emissions of pollutants from complete and incomplete combustion of petroleum fuels and the friction of tires on asphalt road surface. These pollutants are: sulfur dioxide (SO₂), carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x), tetraethyl lead, non-methane volatile organic compounds (NMVOCs), PAHs, aldehydes, dioxins, particulates, heavy metals, including chromium, cadmium, lead. The aim of the study is to demonstrate the role of trees growing along the expressways as a natural barrier to the spread of pollutants from the emission line. In the method bio-indicator *Hypogymnia phosodes* – lichen indicator was used, which was transplanted at the designated points of research.

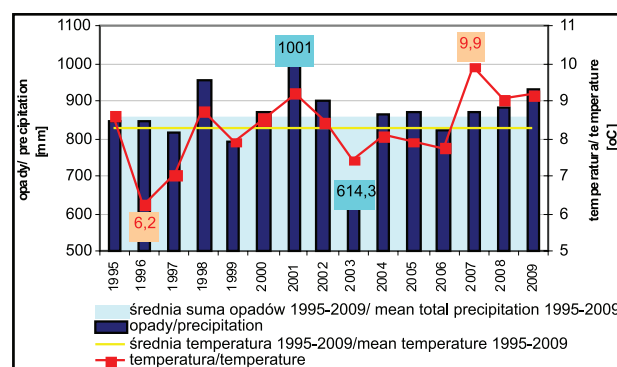
Małgorzata Anna Józwiak, Bartosz Jachymczyk

Małgorzata Kijowska



Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań (<http://maps.geoportal.gov.pl/>)

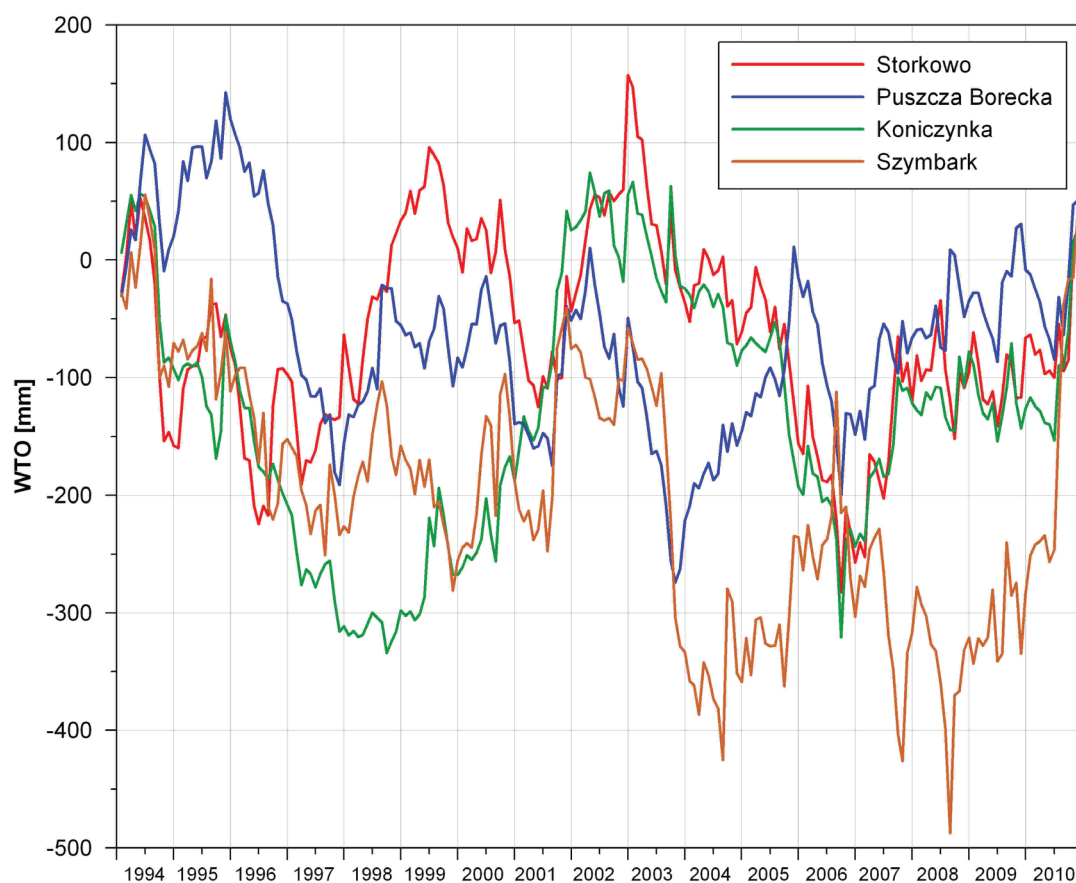
Fig. 1. Location of study area (<http://maps.geoportal.gov.pl/>)



Ryc. 2. Roczne sumy opadów oraz średnia roczna temperatura powietrza na tle wartości średnich w latach hydrologicznych 1995-2009

Fig. 2. Total annual precipitation and mean annual temperature compared to average values in the period 1995-2009

Andrzej Kostrzewski, Józef Szpikowski, Grażyna Szpikowska



Ryc. 3. Wskaźnik tendencji opadowych (WTO) dla wybranych Stacji Bazowych ZMŚP

Fig. 3. The indicator of precipitation trends (WTO) for choose IMNE Base Stations