



Air quality estimation using the lichenindicative method

Daria LEWANDOWSKA¹

¹ tel.: 695293164, e-mail: daria-lewandowska@o2.pl

Abstract

This article discusses the air quality estimation in the municipality of Sadowne (through which the national road No. 50) using the lichenindicative method.

Keywords: lichens, lichen thalli, biomonitoring, air pollution, forest ekosystem

Streszczenie

Ocena jakości powietrza na podstawie metody lichenindykacyjnej.

W artykule przedstawiono ocenę jakości powietrza na terenie gminy Sadowne (przez którą przebiega droga krajowa nr 50) przy pomocy metody lichenindykacyjnej.

Słowa kluczowe: porosty, plecha porostu, biomonitoring, zanieczyszczenie powietrza, ekosystem leśny

1. Wstęp

Szerokie spektrum oddziaływania zanieczyszczeń na organizmy żywe takie jak rośliny, zwierzęta i ludzie było znane od dawna, jednak dopiero w XIX wieku rozpoczęto badania ilościowe dotyczące wzajemnych relacji pomiędzy różnego rodzaju komponentami środowiska. Wówczas pojawiły się teorie dotyczące związku pomiędzy stopniem zanieczyszczenia powietrza w miastach, a występowaniem w nich porostów nadrzewnych.

Podjęcie tego rodzaju badań na różnych terenach wynikało z coraz większej wiedzy uczonych oraz wiązało się z zainteresowaniem społeczeństwa zagrożeniami powodowanymi przez różne zanieczyszczenia. Jednak najważniejszą przyczyną zapoczątkowania takich badań był rozwój cywilizacyjny, obserwowany na całym świecie, wiążący się z powstawaniem coraz większych ilości substancji toksycznych. Pochodzą one głównie z przemysłu, domów, samochodów oraz innych źródeł, a ich migracja staje się widoczna i uciążliwa, w szczególności dla organizmów najbardziej czułych na zmiany składu chemicznego otoczenia, w którym żyją. Takimi organizmami są między innymi porosty (*Lichenes*) wykazujące różne zmiany morfologiczne, anatomiczne lub fizjologiczne pod wpływem oddziaływania zanieczyszczeń powietrza.

Z powodu wyjątkowej wrażliwości porostów, mających również zdolność akumulowania metali ciężkich w swoich plechach, organizmy te zaczęły być wykorzystywane przez naukowców jako bioindykatory [1-3]. W badaniach bioindykacyjnych prowadzonych w różnych częściach Polski, a także na świecie, wykorzystuje się niektóre gatunki porostów w celu oceny jakości powietrza, a także ilości substancji toksycznych występujących na danym terenie [4-7]. Dzięki analizie składu gatunkowego, jakościowego i ilościowego porostów epifitycznych można ocenić jakość powietrza atmosferycznego.

Porosty, jako organizmy pionierskie, są w stanie przeżyć w miejscach, gdzie inne organizmy nie miałyby szans, jednak nie potrafią przystosować się do zmian antropogenicznych środowiska przyrodniczego. Dlatego wraz z rozwojem przemysłu i motoryzacji obserwuje się masowe ich wymieranie w miejscach zwiększonego stężenia zanieczyszczeń. Jest to zawsze dowód na to, że w ekosystemie dochodzi do niekorzystnych zmian. Dlatego warto prowadzić monitoring biologiczny powietrza z wykorzystaniem porostów w pobliżu potencjalnych źródeł emisji

zanieczyszczeń, które mogą wpływać na zdrowie i jakość życia ludzi na danym terenie. Poza tym, biomonitoring jest tańszy od monitoringu technicznego i pozwala na stałą kontrolę miejsc najbardziej narażonych na degradację środowiska [8]. Między innymi właśnie z tych przyczyn porosty są tak dobrym materiałem badawczym wykorzystywanym do oceny zanieczyszczenia środowiska.

Często stosuje się metody badania różnorodności i liczebności porostów, co miało miejsce podczas prac prowadzonych na obszarze Puszczy Niepołomickiej, w Gorczańskim Parku Narodowym, w Bieszczadach i w dolinie Czarnej i Białej Wisłki [9-12]. Porosty wykorzystywano również w biomonitoringu Wysoczyzny Siedleckiej i Białegostoku, co pozwoliło na wyznaczenie stref porostowych tychże terenów [13-14]. Przy użyciu tych organizmów przeprowadzono również wiele badań dotyczących rozprzestrzeniania się emisji zanieczyszczeń z zakładów przemysłowych (np. hut miedzi), a także interesowano się wrażliwością porostów na ditlenek siarki i emisję przemysłową oraz zdolnością akumulacji metali ciężkich [14-17]. Jednak stosunkowo niewiele powstało prac, które pozwoliłyby na ocenę jakości powietrza na podstawie metody lichenoindykacyjnej w pobliżu dróg o dużym natężeniu ruchu komunikacyjnego [18]. W szczególności dotyczy to obszarów o niewielkim wskaźniku urbanizacji, gdzie nie dba się specjalnie o ochronę środowiska.

Celem tej pracy była próba oceny jakości powietrza na terenie gminy Sadowne przy pomocy metody lichenoindykacyjnej. Przez teren gminy przebiega droga krajowa nr 50, która jest najprawdopodobniej głównym źródłem zanieczyszczenia powietrza dla okolicy. Do tej pory na tym obszarze nie prowadzono podobnych badań, a najbliższym miejscem objętym monitoringiem biologicznym z udziałem epifitów jest miasto Białystok, oddalone o około 90 km.

2. Charakterystyka terenu objętego badaniami

Gmina Sadowne (N 52°39', E 21°51') jest gminą wiejską położoną w północnej części powiatu węgrowskiego (województwo mazowieckie). Leży ona 65 km na północny wschód od Warszawy, a od Węgrowa (siedziby władz powiatowych) jest oddalona o około 30 km. Jej wysokości bezwzględne wahają się pomiędzy 91,2 m n.p.m. (w dolinie Bugu) do 123,8 m n.p.m. na południowym wschodzie (na południe od wsi Bojewo) [19]. Przez teren gminy przebiega ważna linia kolejowa relacji Warszawa – Białystok oraz droga krajowa nr 50 relacji Mińsk Mazowiecki – Łochów – Ostrów Mazowiecka. Gmina zajmuje powierzchnię 144,72 km², a w jej skład wchodzi 23 sołectwa, gdzie mieszka około 6104 osób [20]. Użytki rolne, gdzie dominują głównie bardzo słabe gleby klas V i VI, stanowią 6296 ha [21-22].

Na terenie gminy Sadowne dominują wiatry zachodnie i południowo – zachodnie, które latem powodują ochłodzenie i deszcz, a w zimie – odwilż i ocieplenie [21, 23]. Niektóre źródła podają, że częste są także wiatry północno - zachodnie, a najrzadziej notowane są wiatry z kierunku północno – wschodniego [19, 24]. Średnia roczna prędkość wiatru wynosi 3,5 m/s, chociaż można spotkać również informacje o prędkości wiatru równej 3 m/s [19, 21 i 24]. Można więc powiedzieć, iż teren jest dobrze przewietrzany, a jego rzeźba i pokrycie wpływają na kierunek oraz prędkość wiatru, od których zależy rozmieszczenie i stężenie substancji zanieczyszczających powietrze atmosferyczne. Średnio w roku jest 20 dni z wiatrem silnym (pochodzącym głównie z kierunku zachodniego) o prędkości dochodzącej do 10 m/s. Udział ciszy w ogólnej liczbie obserwacji wynosi na tym obszarze 20% w roku i jest największy latem i jesienią.

W porównaniu z innymi gminami powiatu, gmina Sadowne charakteryzuje się stosunkowo wysokim wskaźnikiem lesistości [21]. Powierzchnia lasów powiatu węgrowskiego wynosi 32049 ha, z czego powierzchnia lasów państwowych na terenie gminy Sadowne wynosi 1942 ha, natomiast lasy które nie są własnością Skarbu Państwa zajmują powierzchnię 1878 ha [23].

Ogólny stan zdrowotny i sanitarny lasów państwowych na tym terenie jest zadowalający. W lasach Nadleśnictwa Łochów, które są rozmieszczone nierównomiernie na terenie gminy, zdecydowanie dominują siedliska borowe. Cała gmina znajduje się w obrębie Nadbużańskiego Parku Krajobrazowego (NPK) i jest zaliczana do tzw. Zielonych Płuc Polski (ZPP), które obejmują swoim zasięgiem około 20% powierzchni Polski.

Na terenie gminy Sadowne w 2002 roku utworzono jedyny, jak do tej pory, rezerwat „Mokry Jegiel”, o powierzchni 116,13 ha [25]. Na jego obszarze występuje oraz gniazduje wiele rzadkich gatunków ptaków, a dominującą formą użytkowania gruntów są lasy. Flora tego rezerwatu charakteryzuje się wysokim stopniem naturalności, a nagromadzenie gatunków zagrożonych i rzadkich jest jej bogactwem.

Jedną z form ochrony przyrody są również pomniki przyrody, a rangę przyrodniczą gminy Sadowne dodatkowo podkreśla fakt, iż jest ona w 100% objęta programem Natura 2000.

Na terenie gminy Sadowne nie ma stacji pomiarowych zanieczyszczenia powietrza, ale porównanie emisji zanieczyszczeń pyłowych i gazowych dla powiatów wchodzących w skład województwa mazowieckiego wykazało, że jakość powietrza atmosferycznego powiatu węgrowskiego jest wysoka [21].

Zgodnie z roczną oceną jakości powietrza województwa mazowieckiego gmina Sadowne należąca do strefy mazowieckiej uzyskała różne klasy stref dla poszczególnych zanieczyszczeń [26]. W większości przypadków strefa mazowiecka została zakwalifikowana do strefy A, w której stężenia zanieczyszczeń nie przekraczają poziomów dopuszczalnych i poziomów docelowych. Natomiast stężenia pyłu PM10, PM2.5, a także benzo/a/pirenu przekraczają poziomy dopuszczalne, ale nie przekraczają poziomów dopuszczalnych powiększonych o margines tolerancji, przez co teren ten został zakwalifikowany do strefy B.

Głównymi emitarami substancji szkodliwych, jakie występują na terenie gminy Sadowne, są paleniska domowe (zabudowa niska) i transport samochodowy, co wiąże się ze zwiększoną emisją związków węgla i siarki [27].

W pewnym stopniu gmina Sadowne może być również narażona na napływ zanieczyszczeń pochodzących z powiatu węgrowskiego i mińskiego oraz aglomeracji warszawskiej z powodu kierunku wiatrów dominujących na tym terenie [21].

Dużym, a może i największym zagrożeniem dla jakości powietrza gminy Sadowne są zanieczyszczenia komunikacyjne pochodzące z drogi krajowej nr 50, przez którą przejeżdża z każdym rokiem coraz więcej pojazdów. Dowodem na zwiększające się natężenie ruchu komunikacyjnego w tym rejonie, są pomiary wykonywane przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad na odcinku Łochów – Ostrów Mazowiecka (tabela 2.1.).

Tabela 2.1. Średni dobowy ruch na odcinku Łochów – Ostrów Mazowiecka w punkcie pomiarowym nr 10706 w: 2000, 2005 i 2010 roku [28-30].

Rok	Pojazdy samochodowe ogółem	Rodzajowa struktura ruchu pojazdów samochodowych							Rowery	Pojazdy zaprzęgowe
		Motocykle	Samochody osobowe, mikrobusy	Lekkie samochody ciężarowe (dostawcze)	Samochody ciężarowe		Autobusy	Ciągniki rolnicze		
					bez przyczepy	z przyczepą				
2000	1989	8	1340	253	181	179	18	10	170	4
2005	3990	16	2318	403	295	938	12	8	151	-
2010	6273	43	2858	510	374	2465	19	4	49	-

Powyższe dane pokazują, iż od 2000 roku ilość pojazdów samochodowych przejeżdżających przez gminę Sadowne w ciągu doby wzrosła. W 2005 roku ilość ta zwiększyła się o ponad 100%, a 5 lat później o ponad 200% w stosunku do 2000 roku.

3. Sposób prowadzenia badań

Badaniami objęto obszar Sadownego i okolic należących pod względem administracyjnym do gminy Sadowne. W czerwcu 2012 roku przebadano łącznie 22 stanowiska w 2 liniach pomiarowych, a w przypadku niektórych stanowisk uwzględniono również obserwacje autora tej pracy z lipca 2010 roku.

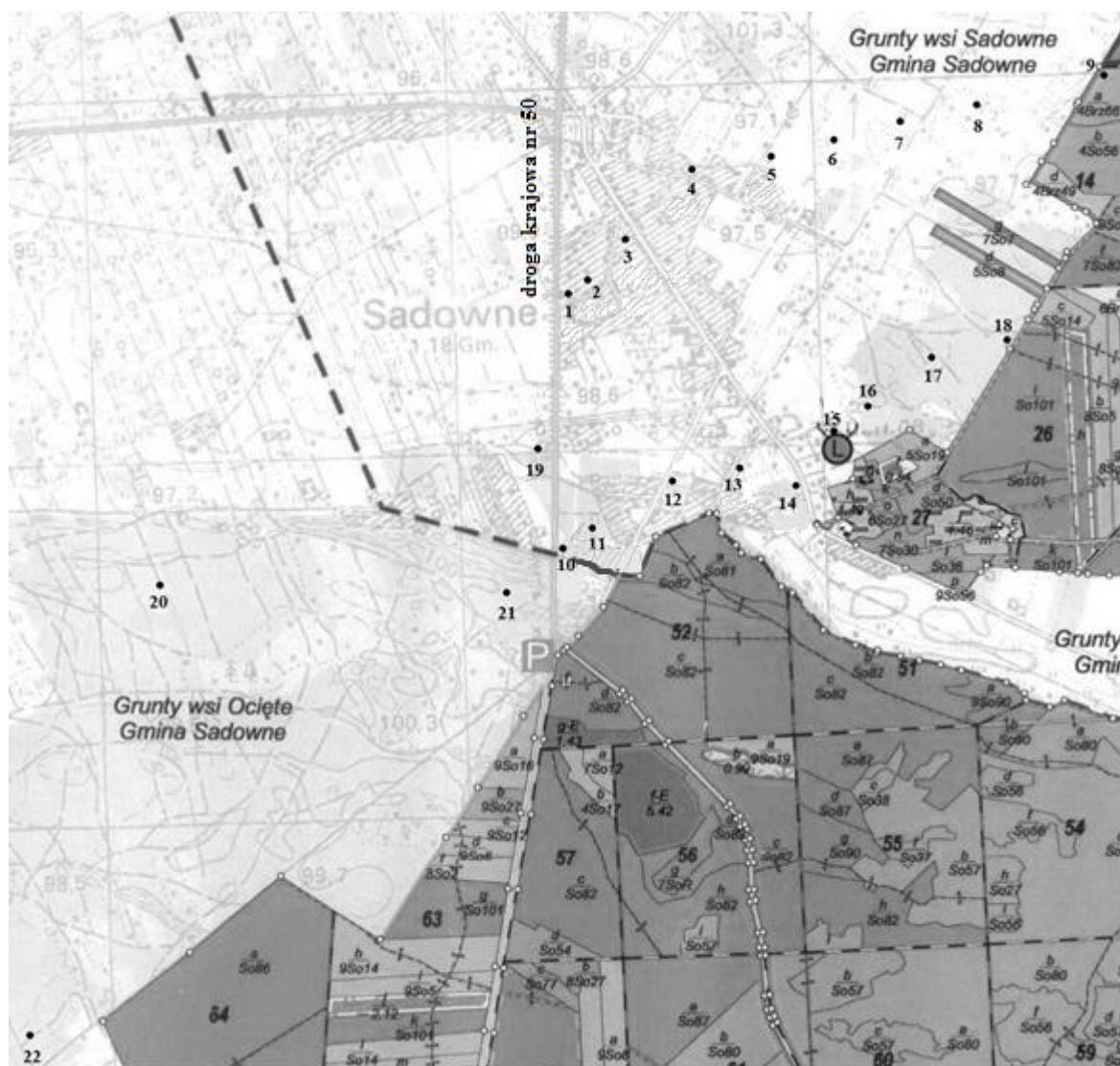
Tabela 3.1. Wykaz stanowisk badawczych.

Nr stanowiska	Lokalizacja	Charakterystyka	Gatunek drzewa	Data
1	Sadowne, ul. Mazowiecka 24, przy drodze krajowej nr 50 w sadzie	zabudowa niska i zwarta, ulica asfaltowa i bardzo ruchliwa	grusza pospolita <i>Pyrus communis</i> L.	09.06.2012
2	Sadowne, ul. Mazowiecka 20, w bliskiej odległości drogi krajowej nr 50 w sadzie	zabudowa niska i zwarta, ulica asfaltowa i bardzo ruchliwa	jabłoń domowa <i>Malus domestica</i> Borkh.	09.06.2012
3	Sadowne, ul. Kościuszki 9, sad	zabudowa niska i zwarta, ulica asfaltowa i ruchliwa	jabłoń domowa <i>Malus domestica</i>	09.06.2012
4	Sadowne, ul. Strażacka 14, sad	zabudowa niska i zwarta, ulica asfaltowa i mało ruchliwa	jabłoń domowa <i>Malus domestica</i>	09.06.2012
5	Sadowne, pole przy cmentarzu za zakładami pogrzebowymi	brak zabudowy, ulica polna i mało ruchliwa	wierzba biała <i>Salix alba</i> L.	11.06.2012
6	Sadowne, pole przy Zakładzie Gospodarki Komunalnej	zabudowa niska i pojedyncza, ulica polna i mało ruchliwa	wierzba biała <i>Salix alba</i>	11.06.2012
7	Sadowne, przy końcu ul. Czesława Wycecha, pole	brak zabudowy, ulica polna i nieruchliwa	olsza czarna <i>Alnus glutinosa</i> Gaertn.	12.06.2012
8	Sadowne, przy Kacapskim Kanale	brak zabudowy, teren podmokły i bagnisty	wierzba biała <i>Salix alba</i>	17.06.2012
9	Sadowne, lasy Nadleśnictwa Łochów przy rezerwacie „Mokry Jegiel”	brak zabudowy i dróg	brzoza brodawkowata <i>Betula pendula</i> Roth	17.06.2012
10	Sadowne koło Ociętego, niedaleko ul. Grunwaldzkiej, las przy drodze krajowej nr 50	zabudowa niska i zwarta w odległości ok. 50 m, ulica asfaltowa i bardzo ruchliwa	dąb szypułkowy <i>Quercus robur</i> L.	18.06.2012
11	Sadowne, koło dróżki do Ociętego prowadzącej z ul. Grunwaldzkiej	zabudowa niska i zwarta ok. 20 m dalej, ulica asfaltowa i bardzo ruchliwa	brzoza brodawkowata <i>Betula pendula</i>	18.06.2012
12	Sadowne, ul. Grunwaldzka, pobocze	zabudowa niska (miejscami wysoka) i zwarta, ulica asfaltowa i mało ruchliwa	dąb szypułkowy <i>Quercus robur</i>	18.06.2012
13	Sadowne, ul. Kuźnica, pole przy drodze	zabudowa niska i pojedyncza (miejscami zwarta), ulica mało ruchliwa i zwirowa	wierzba biała <i>Salix alba</i>	18.06.2012
14	Sadowne, ul. Słoneczna, łąka przed basenem	zabudowa niska i zwarta, ulica asfaltowa i ruchliwa	brzoza brodawkowata <i>Betula pendula</i>	19.06.2012
15	Sadowne, przy siedzibie Leśnictwa Sadowne, las	zabudowa niska i pojedyncza, droga leśna i nieruchliwa	brzoza brodawkowata <i>Betula pendula</i>	19.06.2012

Tabela 3.1. Wykaz stanowisk badawczych (c.d.).

Nr stanowiska	Lokalizacja	Charakterystyka	Gatunek drzewa	Data
16	Sadowne, las koło wjazdu do Jegła (od strony leśniczówki i miejsca na ognisko Koła Łowieckiego „Kszyk”)	brak zabudowy, brak ulicy w najbliższym otoczeniu	brzoza brodawkowata <i>Betula pendula</i>	19.06.2012
17	gmina Sadowne, lasy Nadleśnictwa Łochów (Jegiel)	brak zabudowy i ulic w najbliższym otoczeniu	brzoza brodawkowata <i>Betula pendula</i>	20.06.2012
18	gmina Sadowne, lasy Nadleśnictwa Łochów w kierunku rezerwatu „Mokry Jegiel”	brak zabudowy i ulic w najbliższym otoczeniu	brzoza brodawkowata <i>Betula pendula</i>	20.06.2012
19	Sadowne, „Małpi Gaj” od strony stacji benzynowej i pól uprawnych, las	zabudowa niska pojedyncza (od strony pól) i zwarta (od strony „Małpiego Gaju”)	brzoza brodawkowata <i>Betula pendula</i>	22.06.2012
20	Ocięte, las prywatny niedaleko tartaku	zabudowa niska i pojedyncza (odległa ok. 200 m), ulica żwirowa i nieruchliwa	dąb szypułkowy <i>Quercus robur</i>	24.06.2012
21	odcinek drogi Sadowne – Krupińskie, las	brak zabudowy, ulica żwirowa i nieruchliwa	brzoza brodawkowata <i>Betula pendula</i>	24.06.2012
22	Krupińskie, las Zuzanny Zasepy	brak zabudowy, ulica żwirowa i nieruchliwa	dąb szypułkowy <i>Quercus robur</i>	24.06.2012

Punkty badawcze rozlokowano zgodnie z dominującym kierunkiem wiatrów na tym terenie. W każdej z linii pomiarowych, na którą składało się po 11 stanowisk wyznaczono 2 miejsca referencyjne z nawietrznej strony drogi krajowej nr 50, natomiast pozostałe wybrano po zawietrznej stronie tej drogi (rys. 3.1.).



Rys. 3.1. Rozmieszczenie poszczególnych stanowisk badawczych na terenie gminy Sadowne [31].

Podczas prowadzenia prac terenowych posługiwano się zmodyfikowaną metodą florystyczną – wskaźnikową oraz metodą udziału form morfologicznych, a wybór stanowisk badawczych, którymi były drzewa liściaste należące do gatunków autochtonicznych, wynikał m.in. z ich odległości od drogi krajowej nr 50. Wybranie odpowiednich drzew poprzedzono obserwacją najbliższej okolicy. Analizowano ich korę w obrębie potencjalnego miejsca stanowiska pod względem ilości i różnorodności gatunkowej porostów, a następnie wybierano drzewo, które posiadało najbardziej bogatą florę epifityczną (brak porostów również brano pod uwagę).

W trakcie prowadzonego monitoringu na każdym ze stanowisk korzystano ze specjalnie przygotowanych w tym celu tabel, w których zapisywano informacje o porostach tj.:

- orientacyjne pokrycie plech na pniu – z przyczyn praktycznych obserwowano pień do wysokości 2 m, a oceny starano się dokonać z dokładnością do około 5%;
- położenie plech względem stron świata;
- przedział wysokości, w którym znaleziono plechy danego gatunku;
- zdrowotność plech;
- inne uwagi mogące pomóc w interpretacji materiału badawczego.

Przy pomocy odpowiednich kluczy i atlasów [32-34] oznaczono występujące gatunki nadrzewne, dzięki którym można było określić strefy lichenindykacyjne tego terenu zgodnie z przyjętą skalą [35].

4. Wyniki i dyskusja

Tabela 4.1. Porosty występujące na korze poszczególnych stanowisk badawczych (puste miejsca oznaczają brak porostów).

Gatunek	Numer stanowiska badawczego																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
brodaczka zwyczajna <i>Usnea</i> <i>dasyposa</i> Stirt.																					+	+
chrobotek cienki <i>Cladonia</i> <i>macilenta</i> Hoffm.											+				+	+	+					
chrobotek kieliszkowy <i>Cladonia</i> <i>chlorophaea</i> Spreng.																					+	
chrobotek otwarty <i>Cladonia</i> <i>cenotea</i> Schaer.									+													
chrobotek strzępiasty <i>Cladonia</i> <i>fimbriata</i> Fr.														+								
chrobotek szydłasty <i>Cladonia</i> <i>coniocraea</i> Auct.																			+			
mąkla tamiowa <i>Evernia</i> <i>prunastri</i> Ach.												+					+			+		+
mąklik otrębiasty <i>Pseudevernia</i> <i>furfuracea</i> Zopf.									+													
miscznica brązowa <i>Lecanora</i> <i>pulicaris</i> Ach.							+															
miscznica proszkowata <i>Lecanora</i> <i>conizaeoides</i> Nyl.								+	+		+	+	+	+		+			+	+		+
obrost gwiazdkowaty <i>Physcia</i> <i>stellaris</i> Nyl.		+				+																
obrost zmienny <i>Physcia</i> <i>dubia</i> Lettau				+			+	+														
pustułka pęcherzykowata <i>Hypogymnia</i> <i>physodes</i> Nyl.		+	+		+		+		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	

Tabela 4.1. Porosty występujące na korze poszczególnych stanowisk badawczych (puste miejsca oznaczają brak porostów) (c.d.).

Gatunek	Numer stanowiska badawczego																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
tarczownica bruzdkowana <i>Parmelia sulcata</i> Taylor							+													+		+
złotorost ścienny <i>Xanthoria parietina</i> Th. Fr.		+	+	+	+	+	+	+					+									
Suma	0	3	2	2	2	2	5	3	4	0	3	3	3	3	2	3	3	1	3	4	2	4

Wyniki przeprowadzonej analizy wszystkich stanowisk badawczych pozwoliły na określenie gatunków porostów, jakie na nich występują (tabela 4.1.). Zgodnie z powyższymi danymi na stanowiskach 1 – 18 można łącznie odnaleźć 12 gatunków porostów, a na stanowiskach kontrolnych 7. We wszystkich punktach objętych analizą odnaleziono i zidentyfikowano 15 gatunków tych organizmów.

Najbardziej popularnym porostem na obszarze gminy Sadowne była pustułka pęcherzykowata występująca na 15 stanowiskach (w tym 2 kontrolnych), następnie misecznicza proszkowata obejmująca swoim zasięgiem 10 stanowisk (w tym 3 kontrolne) i złotorost ścienny, którego obecność była charakterystyczna dla 8 stanowisk usytuowanych po zawietrznej stronie. Gatunki te cechują się dosyć szeroką skalą ekologiczną i mogą rosnąć na różnych drzewach, co potwierdza się zarówno na badanym terenie (tabela 4.1.) jak i w innych miejscach. Według badań [36] na terenie Białegostoku do grupy najczęściej notowanych gatunków porostów można zaliczyć m.in.: złotorost ścienny, obrst zmienny, tarczownicę bruzdkowaną i pustułkę pęcherzykowatą. Pierwszy z wymienionych jest gatunkiem rozprzestrzeniającym się w tym mieście i pojawia się on jako jeden z pierwszych na korze drzew przydrożnych i tych, które rosną na osiedlach mieszkaniowych. Wszystkie 4 gatunki należą do III i IV strefy lichenindykacyjnej i są one również charakterystyczne dla obszaru gminy Sadowne objętego badaniami.

Spśród 6 gatunków drzew objętych obserwacją, na wierzbie białej odnaleziono wszystkie 3 najbardziej charakterystyczne gatunki porostów dla tego terenu badań. Z kolei na dębie szypułkowym i brzozie brodawkowatej stwierdzono obecność miseczniczy proszkowatej i pustułki pęcherzykowatej. Pustułka pęcherzykowata występowała również na jabłoni domowej i olszy czarnej, na której można było odnaleźć złotorost ścienny.

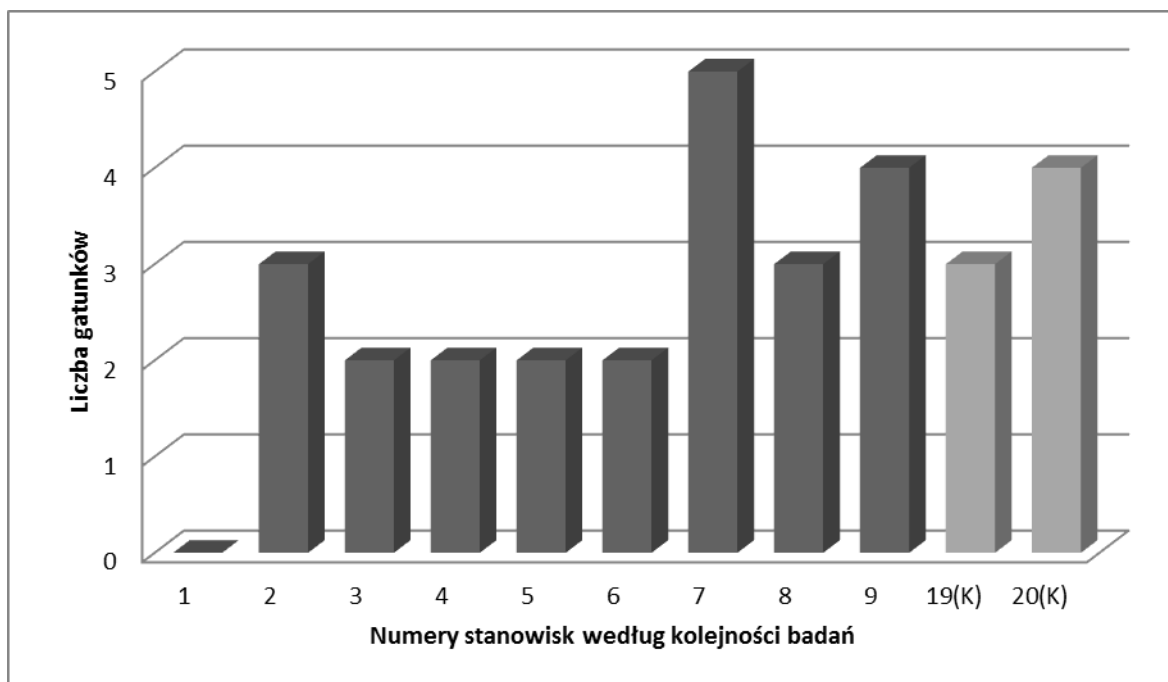
Największą różnorodnością gatunkową porostów charakteryzowała się brzoza brodawkowata, na której łącznie odnaleziono 9 gatunków porostów. Miedzy innymi tylko na niej występował chrobotek cienki, zaliczany do grupy wykazującej wyraźne preferencje do życia na jednym lub kilku gatunkach drzew. Natomiast dąb szypułkowy, olsza czarna i wierzba biała posiadały mniejszą ilość gatunków porostów – występowało na nich maksymalnie 5 gatunków. Na drzewach owocowych zróżnicowanie gatunkowe było najmniejsze, co niekoniecznie miało związek z gatunkiem drzewa, na którym występował dany epifit. Brak porostów lub ich mała ilość, miedzy innymi na drzewach owocowych usytuowanych w pobliżu badanej drogi, mogła być związana z jakością powietrza.

Przeprowadzone badania na terenie Tallina [37], dotyczące wpływu ruchu samochodowego na pH kory drzew i epifity na nich występujące, udowodniły, że zanieczyszczenia pochodzące z transportu drogowego mają wpływ na skład i bogactwo gatunków porostów występujących na lipie drobnolistnej *Tilia cordata* Mill.. Badania te wykazały, że wraz ze zwiększającą się odległością od głównego źródła zanieczyszczenia różnorodność epifitów rośnie na tym gatunku drzewa.

Z kolei na terenie gminy Tierp położonej około 130 km od Sztokholmu wykonano badania, których celem było wyjaśnienie wpływu emisji spalin samochodowych na epifityczne porosty oraz sprawdzenie, czy istnieją różnice w różnorodności porostów nadrzewnych w zależności od ich usytuowania względem źródła zanieczyszczenia, jakim jest autostrada E4 i trasa nr 600 [38]. Okazało się, że w pobliżu drogi nr 600 na której od 2007 roku natężenie ruchu samochodowego uległo zmniejszeniu (prawdopodobnie w wyniku otwarcia autostrady E4) występowała porównywalna ilość epifitów, co na stanowisku referencyjnym, które nie jest objęte wpływami zanieczyszczenia pochodzącego z drogi. Taką sytuację można wyjaśnić poprawą jakości powietrza na tym

obszarze, co sugerują wyniki przeprowadzonych badań. Z kolei teren w pobliżu autostrady E4, oddalony około 4 km od centrum Tierp, charakteryzował się najmniejszą różnorodnością porostów w porównaniu do obszaru referencyjnego i drogi nr 600. Może to wynikać z dużego i szybkiego wzrostu emisji spalin w tej okolicy od 2007 roku, kiedy to została otwarta autostrada E4. Od tej pory notowano tam sześć razy więcej przejeżdżających pojazdów niż na drodze nr 600 położonej 6 km na północ od centrum Tierp.

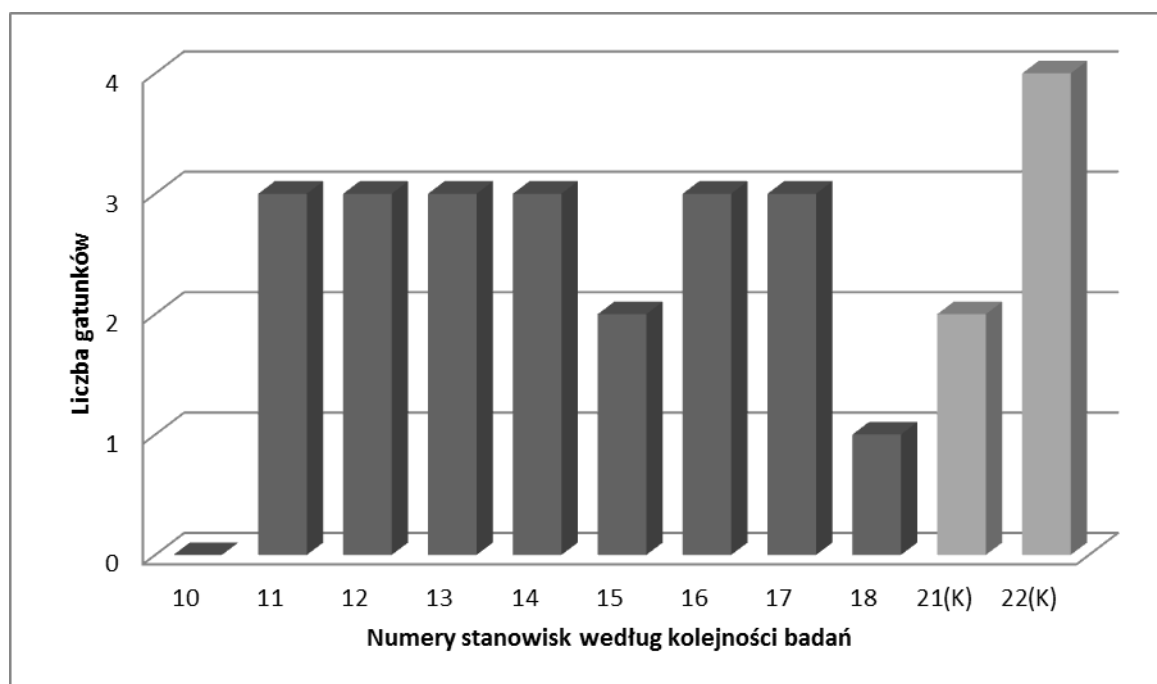
Poniżej na wykresach 4.1. i 4.2. przedstawiono dane uzyskane podczas prowadzonych badań na terenie gminy Sadowne, które dotyczą liczby gatunków porostów występujących na poszczególnych stanowiskach.



Wykres 4.1. Liczba gatunków porostów występujących na poszczególnych stanowiskach pierwszej linii badań (K – stanowisko kontrolne).

Dane z obu linii badawczych pokazują, że stanowiska położone najbliżej drogi krajowej nr 50 po jej zawietrznej stronie były pozbawione jakichkolwiek porostów. Z kolei stanowiska kontrolne usytuowane po nawietrznej stronie w podobnej odległości od jezdni posiadały po 2 – 3 gatunki porostów, których plecha ulegała miejscami przebarwieniom (dotyczyło to głównie pustułki pęcherzykowatej). W miarę oddalania się stanowisk badawczych od drogi (zgodnie z dominującym kierunkiem wiatru na tym terenie) pojawiały się charakterystyczne porosty klasyfikujące poszczególne punkty badań przeważnie do coraz wyższych stref lichenindykacyjnych (tabela 4.2.).

W zależności od gatunku porostu można było dostrzec różny stan zdrowotności jego plech, co było najlepiej widoczne na stanowiskach położonych w pobliżu drogi. Widać to było zwłaszcza na stanowisku 2 usytuowanym w odległości do 100 m od drogi krajowej po jej zawietrznej stronie. W punkcie tym pustułka pęcherzykowata ulegała widocznej degradacji – prawie każdy osobnik dotknięty był jakimś schorzeniem, a jej plecha była często rozerwana i czerniejaca. Z kolei plechy złotorostu ściennego miejscami ulegały nietypowym przebarwieniom, co dotyczyło około 50% osobników występujących w tym miejscu, a plechy obrostu gwiazdkowatego zawiąły się i czerniały na obrzeżach, co również było dowodem na degradację plech.

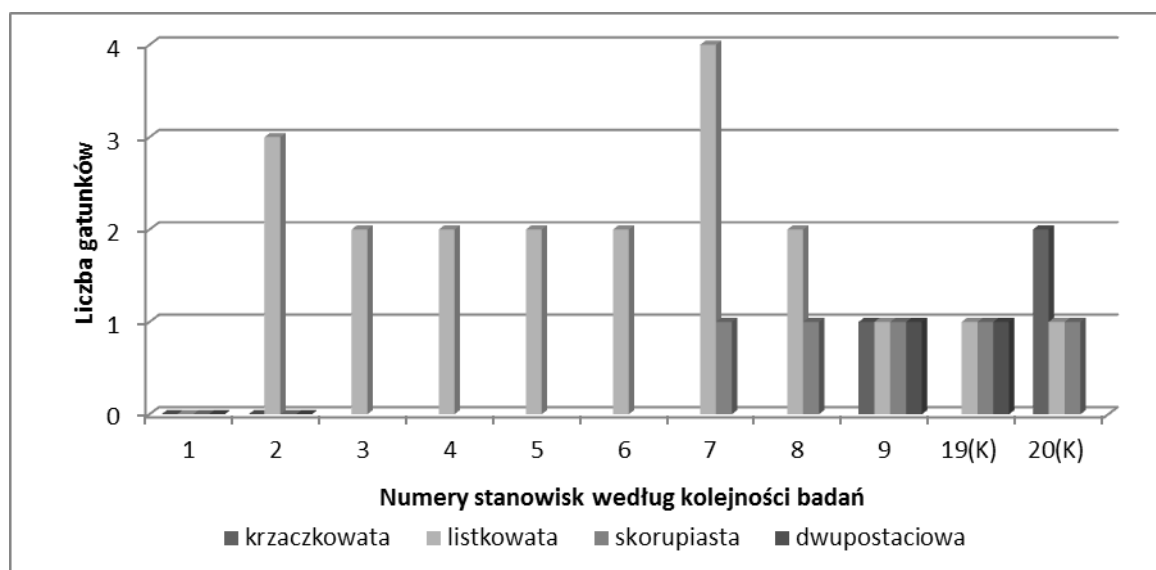


Wykres 4.2. Liczba gatunków porostów występująca na poszczególnych stanowiskach drugiej linii badań (K – stanowisko kontrolne).

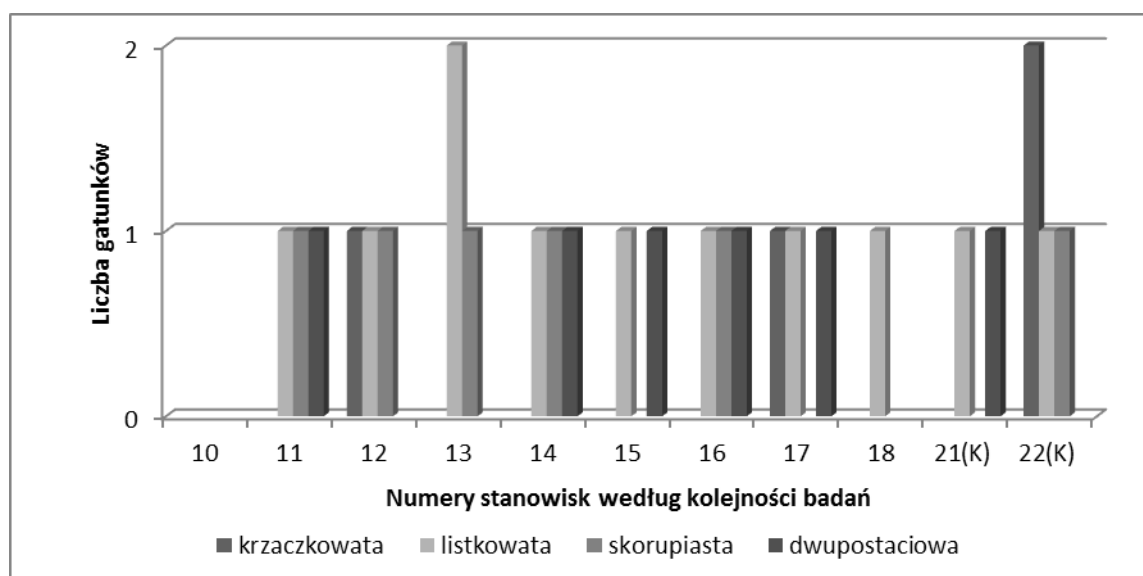
Stanowisko 2 po analizie uzyskanych wyników zostało przyporządkowane do II – III strefy lichenoindykacyjnej. Zgodnie z obserwacjami przeprowadzonymi przez autora tej pracy, 4 lata temu stanowisko to należało do IV strefy lichenoindykacyjnej - zmiana strefy świadczy o pogorszeniu się jakości powietrza na tym terenie w stosunku do lat poprzednich. Wcześniej występowała tutaj pakość pilśniowata *Leptogium saturninum* Nyl. będąca gatunkiem zagrożonym w Polsce, należącym do kategorii EN, a poza tym z łatwością można było dostrzec większą ilość porostów należących do gatunków, które występują tutaj obecnie [39]. Ilość tych porostów na wszystkich drzewach w sadzie uległa zmniejszeniu, podczas gdy jeszcze 4 lata temu pustulka pęcherzykowata i złotrost ścienny obrastały drzewo nawet w 60%. Osobniki te były duże i często narastały jeden na drugi, jednak w ostatnim czasie ulegają one widocznej i miejscami bardzo intensywnej degradacji.

Spośród przebadanych 22 drzew, najlepszym stanem plech cechowały się stanowiska referencyjne 20 i 22. Punkty te położone były w podobnej odległości od drogi krajowej, co stanowiska 9 i 18. Zarówno większa zdrowotność plech i różnorodność gatunków porostów obecnych na stanowiskach referencyjnych pozwoliła je zaklasyfikować o jedną strefę lichenoindykacyjną wyżej niż stanowiska najbardziej oddalone od drogi po jej zawietrznej stronie.

Przedstawiając powyższe dane (wykres 4.1. i 4.2.) w postaci występowania różnych form morfologicznych porostów na terenie badań, zauważono ich stosunkowo duże zróżnicowanie (wykres 4.3. i 4.4.).



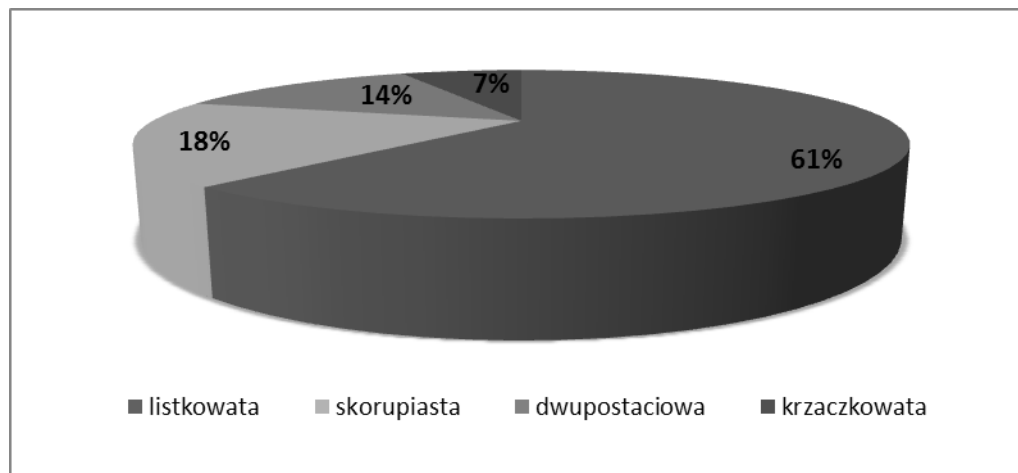
Wykres 4.3. Rodzaje form morfologicznych porostów obecnych na poszczególnych stanowiskach pierwszej linii badań (K – stanowisko kontrolne).



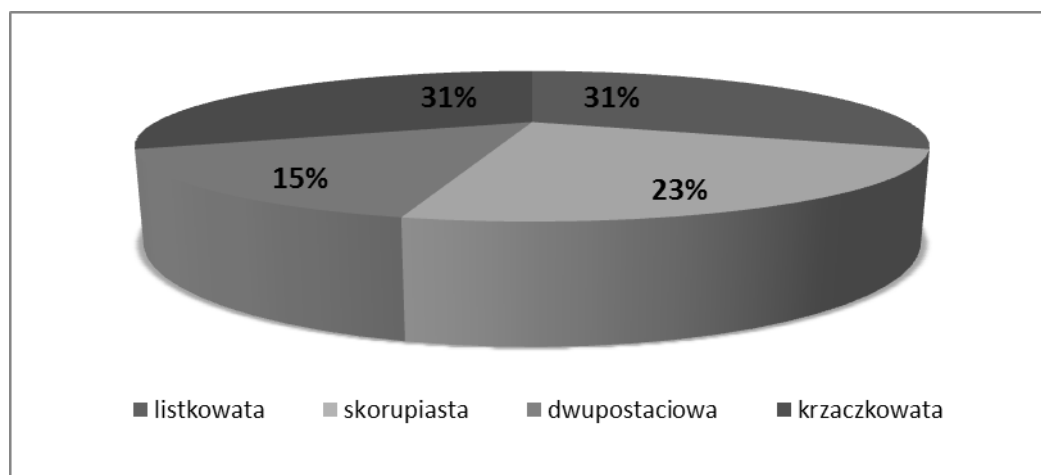
Wykres 4.4. Rodzaje form morfologicznych porostów obecnych na poszczególnych stanowiskach drugiej linii badań (K – stanowisko kontrolne).

Zarówno po stronie zewnętrznej i wewnętrznej występowały porosty w formie krzaczkowatej, listkowatej, skorupiastej i dwupostaciowej. Na prawie wszystkich stanowiskach (z wyjątkiem 1 i 10) obecne były formy listkowate - ich szczególna dominacja pod względem liczby gatunków występujących w danej formie morfologicznej była widoczna po stronie zewnętrznej pierwszej linii badań. Do 6 - ego stanowiska występowały jedynie gatunki listkowate, a na stanowisku 7 i 8 były one obecne wraz z porostami skorupiastymi. Z kolei na stanowisku 9, 19 i 20 widoczne było większe zróżnicowanie form morfologicznych przy zachowaniu podobnej liczby wszystkich gatunków występujących w danym punkcie badań. W drugiej linii badań widoczne było większe zróżnicowanie porostów, jednak liczba gatunków należących do czterech wyżej wymienionych form morfologicznych była mniejsza lub taka sama w stosunku do stanowisk 1 – 9 oraz 19 i 20. W tej linii na trzech stanowiskach (12, 17 i 22) występowały porosty krzaczkowate, natomiast w pierwszej można je było odnaleźć jedynie na dwóch (9 i 20). Wszystkie te punkty znajdowały się w większej odległości od drogi (wyjątkiem było stanowisko 12), a ilość gatunków spośród przebadanych miejsc była największa na stanowiskach kontrolnych.

Ogólne porównanie wszystkich stanowisk pod względem morfologicznym usytuowanych po nawierzchni i zewnętrznej stronie drogi, pokazało odmienny udział poszczególnych form plech porostów (wykres 4.5. i 4.6.).



Wykres 4.5. Procentowy udział form morfologicznych porostów na stanowiskach badawczych po zewnętrznej stronie drogi.



Wykres 4.6. Procentowy udział form morfologicznych porostów na stanowiskach kontrolnych po zewnętrznej stronie drogi.

Na stanowiskach 1 – 18 dominowały porosty o plechach listkowatych (61%), natomiast pozostałą część stanowiły formy skorupiaste (18%), plechy dwupostaciowe (14%) i porosty krzaczkowate (7%). Z kolei na stanowiskach referencyjnych większość porostów należała do form najbardziej wrażliwych na zanieczyszczenia - były to przede wszystkim gatunki krzaczkowate (31%), ale i listkowate (31%) posiadające plechy najsilniej rozbudowane i odstające od podłoża. Tak duży udział przede wszystkim form krzaczkowatych świadczy o lepszej jakości powietrza w strefie stanowisk referencyjnych niż w punktach badawczych usytuowanych w strefie oddziaływania badanej drogi.

Plechki porostowe jako wskaźnik wpływu ruchu samochodowego na jakość powietrza, wykorzystano również w badaniach w okolicy Krakowa [40]. Badania te były wykonane przy pomocy metody transplantacyjnej z użyciem plech pustułki pęcherzykowej pochodzących ze stanowiska referencyjnego (Puszczy Boreckiej), które następnie zostały usytuowane w 3 miejscach w pobliżu Krakowa. Analiza zawartości metali ciężkich w strukturze plech porostów umieszczonych w tych punktach badawczych w porównaniu do stanowiska referencyjnego, dały podstawy sądzić iż jednym ze źródeł metali ciężkich obecnych w powietrzu atmosferycznym na tym terenie jest transport samochodowy.

Na terenie gminy Sadowne porosty objęte ochroną występowały jedynie po nawietrznej stronie drogi. Należały one do gatunku brodaczka zwyczajna, który jest objęty ochroną częściową, a także zaliczany do kategorii VU [39, 41]. Gatunek tego porostu występował jedynie na stanowiskach referencyjnych nr 20 i 22.

Na podstawie analizy wszystkich danych zamieszczonych w tym artykule, zgromadzonego materiału badawczego i danych zebranych podczas badań terenowych, (m.in.: położenie plech względem stron świata i wysokość występowania, a także zdrowotność plech poszczególnych gatunków) ostatecznie wyznaczono następujące strefy lichenindykacyjne dla stanowisk objętych badaniami na terenie gminy Sadowne (tabela 4.2.).

Tabela 4.2. Strefy lichenindykacyjne wyznaczone dla stanowisk badawczych.

1 LINIA BADAŃ		2 LINIA BADAŃ	
Nr stanowiska	Strefa	Nr stanowiska	Strefa
1	I	10	I
2	II - III	11	II – III
3	III - IV	12	IV – V
4	III - IV	13	IV
5	III – IV	14	IV
6	III - IV	15	IV
7	IV	16	IV
8	III – IV	17	IV - V
9	V	18	IV
19 (K)	IV	21 (K)	IV
20 (K)	V - VI	22 (K)	V

Strefy lichenindykacyjne przyporządkowane poszczególnym stanowiskom były różne i zależne od odległości od drogi krajowej nr 50 i strony po której się znajdowały. Zarówno w pierwszej jak i drugiej linii badań stwierdzono zależność polegającą na tym, że po zawietrznej stronie wraz ze zwiększającą się odległością od drogi strefy przyporządkowane stanowiskom badawczym wskazywały najczęściej na coraz lepszą jakość powietrza atmosferycznego. Poza tym na stanowiskach drugiej linii badań strefy były często wyższe lub takie same, jak na stanowiskach pierwszej linii, położonych w podobnej odległości od drogi krajowej. Mogło to mieć związek z większą ilością terenów zielonych (lasów) w drugiej linii badań, które mogły częściowo akumulować w swojej strukturze zanieczyszczenia obecne w powietrzu atmosferycznym, zmniejszając tym samym ich oddziaływanie na porosty.

Dla pierwszych stanowisk charakterystyczne były najniższe strefy lichenindykacyjne (I – III), co najprawdopodobniej było wynikiem oddziaływania zanieczyszczeń pochodzących z drogi, które były nawiewane zgodnie z kierunkiem najczęściej wiejących wiatrów (z kierunku zachodniego i południowo – zachodniego). Natomiast stanowiska najbardziej oddalone od drogi (po tej samej stronie) wykazywały o wiele lepszą jakość powietrza w stosunku do bliżej położonych stanowisk i należały do IV i V strefy lichenindykacyjnej, które były dominujące po stronie nawietrznej. Na stanowiskach kontrolnych położonych najbliżej drogi występowała IV strefa lichenindykacyjna, natomiast w punktach najbardziej oddalonych od drogi była obecna strefa V-VI i V, co świadczyło o braku oddziaływania w tych miejscach badanego źródła zanieczyszczenia.

Na terenie Białegostoku przeprowadzone badania wykazały, że najgorsza kondycja plech pęcherzykowatej była stwierdzana na stanowiskach rozciągających się od centrum miasta ku południowemu – wschodowi i północnemu – zachodowi [42]. Według autora tych badań wysoce prawdopodobne jest, iż to zjawisko jest związane z wiatrami zachodnimi dominującymi na tym terenie, które są odpowiedzialne za transport w powietrzu zanieczyszczeń pochodzących z: zakładów przemysłowych, Elektrociepłowni Białystok S.A., terenów o gęstej zabudowie i sieci dróg o dużym natężeniu ruchu samochodowego.

Analizując ostatecznie wyniki zawarte w tej pracy należy powiedzieć, że plechy porostowe stwierdzone po obu stronach badanej drogi krajowej nr 50 świadczą o wyraźnym pogorszeniu jakości powietrza po stronie zawietrznej od drogi, a więc o jej negatywnym wpływie na stan czystości powietrza. Jakość powietrza na jaką wskazuje zastosowana w pracy metoda lichenindykacyjna jest mniej zadowolająca niż można by się tego

spodziewać na terenie o stosunkowo niskim stopniu zurbanizowania i wysokim stopniu zalesienia. Postępujący proces degradacji plech zaobserwowany przez autora pracy już 4 lata temu, również dobrze nie rokuje co do jakości powietrza na tym terenie w nadchodzących latach.

5. Wnioski

1. Dużym zagrożeniem dla jakości powietrza gminy Sadowne są zanieczyszczenia komunikacyjne pochodzące z drogi krajowej nr 50, wpływające na skład i bogactwo gatunków porostów występujących na tym terenie.
2. Im dalej od drogi krajowej nr 50, tym na lepszą jakość powietrza wskazuje skala porostowa.
3. Kierunek i prędkość wiatru wpływają, na migrację zanieczyszczeń w powietrzu przez co, jego jakość jest lepsza po nawietrznej stronie drogi.
4. Jakość powietrza w pobliżu drogi krajowej nr 50 ulega pogorszeniu wraz ze zwiększającym się na niej natężeniem ruchu.
5. Zanieczyszczenie powietrza ma większe znaczenie dla życia porostów niż gatunek drzewa, na którym występują.
6. Obecność terenów zielonych (lasów) przyczynia się do zmniejszenia szkodliwego wpływu ruchu samochodowego na plechy porostowe.

Literatura

1. Ferry B.W., Baddeley M.S., Hawksworth D.L. 1973. Air Pollution and Lichens, London, Athlone Press, 389 s.
2. Hawksworth D.L., Rose F. 1976. Lichens as pollution monitors, London, Studies in Biology, 60 s.
3. Rose C.I., Hawksworth D.L. 1981. Lichen recolonization in London's cleaner air. *Nature*, 289: 289 - 292.
4. Bennett J.P., Dibben M.J., Lyman K.J. 1996. Element concentrations in the lichen *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. after 3 years of transplanting along Lake Michigan. *Environmental and Experimental Botany*, 36(3): 255-259, 261-270.
5. Freitas M.C., Reis M.A., Marques A.P., Wolterbeek H.Th. 2001. Use of lichen transplants in atmospheric deposition studies. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 249(2): 307-315.
6. Józwiak M.A. 2009. Możliwości wykorzystania epifitów do oceny zanieczyszczenia powietrza w centralnej części Gór Świętokrzyskich. *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, 10: 57-64.
7. Bielec D. 2011. Lichenoindykacja Bielska-Białej – syntetyczne strefy porostowe. *Nauka Przyroda Technologie*, 5(4).
8. Indulski J.A. 1993. Kryteria Zdrowotne Środowiska tom 51, Łódź, Instytut Medycyny Pracy, 185 s. ISBN 83-0867-227-3.
9. Czarnota P. 1995. Zawartość mikro- i makropierwiastków w plechach *Hypogymnia physodes* w Gorczańskim Parku Narodowym – próba lichenoindykacji. *Parki Narodowe i Rezerwaty Przyrody*, 14(3): 69-88.
10. Godzik B., Kiszka J. 1998. Concentration of heavy metals in thalluses of *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. in the Czarna Wiselka and in the Biała Wiselka catchments (Western Carpathians). *Studia Naturae*, 44: 73-80.
11. Kościelniak R. 1999. Wpływ czynników antropogenicznych na florę porostów Bieszczadów Niskich w Karpatach, Kraków, WSP Kraków.
12. Godzik B., Szarek – Łukaszewska G. 2005. Plant bioindicators in the environmental monitoring. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, 12: 677-693.
13. Jastrzębska B. 2002. Porosty (Lichenes) Wysoczyzny Siedleckiej, Studium florystyczno – ekologiczne, Siedlce, Akademia Podlaska.

14. Matwiejuk A. 2004. Wpływ czynników antropogenicznych na porosty Białegostoku, Białystok, Uniwersytet w Białymstoku.
15. Marska B. 1982. Wpływ emisji przemysłowych na porost *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. eksponowany w tablicach wokół zakładów chemicznych „Police”. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Szczecinie, 95: 79-87.
16. Fabiszewski J., Brej T., Bielecki K. 1983. Fitoindykacja wpływu huty miedzi na środowisko biologiczne, Wrocław, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, 109 s. ISBN 8304013533.
17. Miszalski M., Niewiadomska E. 1993. Comparison of sulphite oxidation mechanisms in the lichen species. *New Phytologist*, 123(2): 345-349.
18. Kłós A. 2009. Porosty w biomonitoringu środowiska, Opole, Wydawnictwo Uniwersytetu Opolskiego, 187 s. ISBN 978-83-7395-260-7.
19. Kot H., Ciosek M., Ćwikliński E., Rogowiec M., Branowska J. 1990. Powszechna inwentaryzacja przyrodnicza. Gmina Sadowne, woj. siedleckie. Stan na 31.12.1990, Siedlce, Zakład Usług Badawczo-Planistycznych „Kobra”, 74 s.
20. GUS, Bank Danych Lokalnych 2012, www.stat.gov.pl/bdl/.
21. Zwierzyński M., Niewiarowicz J., Połujan M., Bieleń R. 2004. Program ochrony środowiska dla gminy Sadowne na lata 2004-2011, Sadowne, Przedsiębiorstwo geologiczne „POLGEOL” S.A., 121 s.
22. GUS, Bank Danych Lokalnych 2010, www.stat.gov.pl/bdl/.
23. Wydział Inwestycji i Rozwoju Starostwa Powiatowego w Węgrowie. 2007. Strategia rozwoju powiatu węgrowskiego na lata 2007 – 2015, Węgrów, Zarząd powiatu węgrowskiego, 179 s.
24. Rutkowski A., Kot H., Kasprzykowski Zb., Kot E., Kuć D., Kierzkowska A., Cieszkowski Zb., Chojecka A., Starczewski M., Kisieliński D. 1999. Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gm. Sadowne. Cz. 1. - Uwarunkowania, Siedlce, Fundacja Rozwoju Regionu Podlaskiego "Ekoland", Centrum Edukacyjno-Konsultingowe, 108 s.
25. Wierzbka M., Marciniuk P., Sikorski P., Kurach M. 2008. Charakterystyka flory naczyniowej rezerwatu „Mokry Jegiel” i jego otoczenia. *Parki Narodowe i Rezerваты Przyrody*, 27(1): 33-52.
26. Trębińska E., Barańska K., Klech T. 2012. Roczna ocena jakości powietrza w województwie mazowieckim (raport za rok 2011), Warszawa, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Warszawie, 98 s.
27. Rutkowski A., Kot H., Kasprzykowski Zb., Kot E., Kuć D., Kierzkowska A., Cieszkowski Zb., Chojecka A., Starczewski M., Kisieliński D. 1999. Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gm. Sadowne. Cz. 2. – Kierunki zagospodarowania przestrzennego, Siedlce, Fundacja Rozwoju Regionu Podlaskiego „Ekoland”, Centrum Edukacyjno-Konsultingowe, 52 s.
28. GDDKIA, Generalny pomiar ruchu w 2000 roku – średni dobowy ruch w punktach pomiarowych w 2000 roku, http://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/g/GENERALNY_POMIAR_RUCH_U_2000/0.1.3.2_SDR_w_pkt_pomiarowych_w_2000_roku.pdf.
29. GDDKIA, Generalny pomiar ruchu w 2005 roku – średni dobowy ruch w punktach pomiarowych w 2005 roku, http://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/g/GENERALNY_POMIAR_RUCH_U_2005/0.1.2.2_SDR_w_pkt_pomiarowych_w_2005_roku.pdf.
30. GDDKIA, Generalny pomiar ruchu w 2010 roku – średni dobowy ruch (SDR) w 2010 roku, http://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/g/GENERALNY_POMIAR_RUCHU_2010/0.1.1.4_SDR_w_pkt_pomiarowych_w_2010_roku.pdf.
31. Nadleśnictwo Łochów. 2012. Mapa drzewostanowa leśnictw: Sadowne, Zieleniec, Wielgie (skala 1:10000).
32. Fałtynowicz W. 1995. Wykorzystanie porostów do oceny zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, Krosno, Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi, 141 s.

33. Bruno P., Muhle K., Muhle H. 1998. Porosty, mchy, paprotniki, Warszawa, Wydawnictwo Świat Książki, 286 s. ISBN 8372270619.
 34. Wójciak H. 2007. Porosty, mszaki paprotniki, Warszawa, MULTICO Oficyna Wydawnicza, 361 s. ISBN 978-83-7073-552-4.
 35. Kiszka J. 1989. Lichenoindication in the Przemyśl District. W: The East Carpathians 19th International Phytogeographical Excursion, July 7-26, 1989, Kraków, Instytut Botaniki PAN, 42-48.
 36. Matwiejuk A. 2007. Porosty Białegostoku: analiza florystyczno – ekologiczna, Białystok, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, 143 s. ISBN 83-88771-75-9.
 37. Marmor L., Randlane T. 2007. Effects of road traffic on bark pH and epiphytic lichens in Talinn. *Folia Cryptogamica Estonica*, 37(2): 23-37.
 38. Okuyama C. 2012. Epiphytic lichens associated with different traffic intensities along the highway E4, Uppsala, Department of Ecology, 39 s.
 39. Cieśliński S., Czyżewska K., Fabiszewski J. 2006. Red list of the lichens in Poland. Czerwona lista porostów w Polsce. S. 71-89 [w:] Mirek Z., Zarzycki K., Wojewoda W., Szelaż Z. (red.) Red list of plants and fungi In Poland. Czerwona lista roślin i grzybów Polski. Instytut Botaniki im. W. Szafera, PAN, Kraków.
 40. Budka D., Przybyłowicz W. J., Mesjasz – Przybyłowicz J., Sawicka – Kapusta K. 2002. Elemental distribution in lichens transplanted to polluted forest sites near Kraków (Poland). *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 189(1-4): 499-505.
 41. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 października 2014 r. w sprawie ochrony gatunkowej grzybów (Dz. U. 2014 poz. 1408).
 42. Matwiejuk A. 2007. Porosty Białegostoku jako wskaźniki zanieczyszczenia atmosfery, Białystok, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, 102 s. ISBN 83-88771-81-7.
-