

Tomasz Olszowski^{1*}, Andrzej Kłos² i Maria Waclawek²

¹Katedra Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej
Wydział Mechaniczny
Politechnika Opolska
ul. S. Mikołajczyka 5, 45-271 Opole
*email: t.olszowski@po.opole.pl

²Katedra Biotechnologii i Biologii Molekularnej
Uniwersytet Opolski
ul. kard. B. Kominka 4, 45-032 Opole
email: aklos@uni.opole.pl

WPŁYW RUCHU SAMOCHODOWEGO NA DEPOZYCJĘ ZANIECZYSZCZEŃ W POBLIŻU SZLAKÓW KOMUNIKACYJNYCH

IMPACT ON TRAFFIC CAR DEPOSITION OF POLLUTANTS NEAR ROUTES

Abstrakt: Przedstawiono wstępne wyniki badań wpływu ruchu samochodowego na lokalne zmiany depozycji zanieczyszczeń (SO₂, NO₂, Cd, Cu, Ni, Pb i Zn) w pobliżu szlaków komunikacyjnych. Stężenia SO₂ i NO₂ oznaczano zmodyfikowaną metodą pasywną Amaya. Do oceny depozycji metali ciężkich wykorzystano lichenomonitoring aktywny, polegający na ekspozycji transplantowanych porostów w pobliżu drogi. Badania prowadzono w administracyjnych granicach miasta Opole przy obwodnicy północnej, będącej częścią drogi krajowej łączącej autostradę A4 m.in. z drogą w kierunku na Warszawę. Wykazano, że stężenia SO₂ i NO₂ w powietrzu zmniejszają się wraz z odległością od drogi. Wykazano także zwiększoną akumulację w porostach Cd, Cu i Pb.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia komunikacyjne, monitoring pasywny, lichenomonitoring aktywny

Abstract: The initial results of investigations concerning the impact of traffic on local changes in deposition of pollutants (SO₂, NO₂, Cd, Cu, Ni, Pb and Zn) in the vicinity of roads were described. The SO₂ and NO₂ concentrations were determined using a modified passive Amaya method. To assess the deposition of heavy metals the active lichenomonitoring method was used which involves exposure of transplanted lichens in the vicinity of the road. The study was conducted in the administrative limits of the city of Opole in the northern beltway, which is part of the national road linking the A4 highway with the road towards Warsaw. It has been shown that the concentrations of SO₂ and NO₂ in the air decreased with distance from the road. The increased concentrations of Cd, Cu and Pb accumulated in lichens were observed.

Keywords: traffic pollution, passive monitoring, active lichenomonitoring

Postępujący rozwój cywilizacyjny od przeszło dwóch stuleci powoduje ciągłą degradację wszystkich komponentów środowiska naturalnego. Szczególnie dewastowanym elementem środowiska jest powietrze atmosferyczne. Jest to najbardziej dyspersyjna faza, a zawarte w niej toksyczne związki chemiczne migrują poprzez depozycję suchą i moką do pozostałych elementów środowiska.

W celu oznaczenia stężeń substancji antropogennych zawartych w powietrzu atmosferycznym wykorzystywane są metody bezpośredniej lub pośredniej analizy fizykochemicznej. Referencyjną bezpośrednią metodą pomiarową do oznaczania SO₂ jest automatyczna metoda spektrofotometrii UV [1], a do oznaczania stężeń NO₂ metoda chemiluminescencyjna [2]. Ich wadą są duże nakłady

finansowe, szczególnie w przypadku badań przestrzennych wykonywanych w wielu punktach jednocześnie. Od wielu lat do badań monitoringowych wykorzystywane są metody pośrednie (wskaźnikowe), polegające na proporcjonalnej sorpcji powietrznych polutantów na podłożu absorbera i późniejszej ich analizie przy użyciu metod chromatograficznych lub spektrofotometrycznych. Do oceny zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego SO₂ i NO₂ coraz częściej jest wykorzystywana metoda pasywna charakteryzująca się długoterminową ekspozycją próbników absorbujących [3-5]. Do oceny stężeń SO₂ i NO₂ wykorzystywane są także zmodyfikowane pasywne próbniki Amaya [3]. W Polsce Główny Inspektorat Ochrony Środowiska w około 80% korzysta z metod pasywnych [6].

Od wielu lat do oceny jakości środowiska wykorzystywane są biowskaźniki i biomonitory. Do ich głównych zalet należą: tani i niewymagający specjalnego wykształcenia sposób pobierania próbek oraz fakt, że kumulacja zanieczyszczeń jest efektem oddziaływań tylko tych czynników, które wpływają na równowagę wewnątrz organizmów (homeostazę), wskazując jednocześnie na biodostępność zanieczyszczeń. Najczęściej do oceny zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego wykorzystywane są porosty. Ich przydatność w badaniu jakości środowiska została potwierdzona przez wielu autorów, m.in. [7-9]. Grupą metod lichenomonitoringowych są metody polegające na badaniu pierwiastków śladowych zakumulowanych w strukturze porostów [10-12]. Taka analiza dostarcza wielu informacji dotyczących zanieczyszczeń emitowanych do środowiska [13], pozwala na ocenę zmian jakości środowiska [14, 15] oraz umożliwia wyznaczenie kierunków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń [16]. Do badania zawartości mikro- i makropierwiastków skumulowanych w porostach wykorzystuje się instrumentalne metody analityczne, m.in. atomową spektrometrię absorpcyjną (AAS) [17], spektrometrię masową (MS) [18] i instrumentalną neutronową analizę aktywacyjną (INAA) [19]. Badania lichenomonitoringowe prowadzone są metodą pasywną, która polega na oznaczaniu pierwiastków w porostach zebranych w ich naturalnym środowisku, oraz metodą aktywną, polegającą na ekspozycji porostów transplantowanych z ich naturalnego środowiska [20-22]. Porosty ekspozycje się zazwyczaj na obszarach zurbanizowanych, w miejscach, gdzie wskutek dużego zanieczyszczenia środowiska porosty nie występują [21, 23, 24].

Jednym z czynników powodujących wzbogacenie powietrza atmosferycznego m.in. w tlenki azotu, ditlenek siarki oraz niektóre metale ciężkie, np. kadm, jest transport drogowy. Ponadto wskutek ruchu samochodowego powstają lokalne zawirowania powietrza, co w efekcie powoduje wprowadzenie do atmosfery pyłów nagromadzonych w bliskiej odległości od drogi. Badania wpływu transportu drogowego na jakość powietrza atmosferycznego były wielokrotnie opisywane w literaturze, np. [25-27]. W wielu przypadkach, oprócz metod fizykochemicznych, stosowano aktywny biomonitoring [16]. Zazwyczaj tego rodzaju badania były prowadzone na obszarach miejskich i przemysłowych, na których emisja komunikacyjna stanowi jeden z elementów wpływających na jakość powietrza atmosferycznego, przy czym wykonywane były także badania dotyczące oceny wpływu szlaków transportowych na bliskie otoczenie [28].

Celem prowadzonych przez nas badań, których wstępne wyniki zaprezentowano w tej publikacji, jest ocena przydatności pasywnej metody monitoringowej Krochmala i Kaliny [3] oraz aktywnej metody lichenomonitoringowej do wyznaczania zanieczyszczeń uwalnianych do powietrza wskutek ruchu samochodowego. Metodą Krochmala i Kaliny, przy użyciu próbników Amaya, oznaczano stężenia SO_2 i NO_2 , natomiast metodą lichenomonitoringową

badano stężenia wybranych metali ciężkich: Cd, Cu, Ni, Pb i Zn.

Metoda pasywna Krochmala i Kaliny polega na absorpcji SO_2 i NO_2 w roztworze trietanolaminy, którym nasączona jest powierzchnia nośnika (krążka absorbującego). Stwierdzono, że na procesy sorpcji nie mają wpływu inne składniki powietrza [3]. Po ekspozycji krążki absorbujące poddawane są analizie chromatograficznej (chromatografia jonowa). Masa zatrzymanych polutantów jest proporcjonalna do ich stężenia w powietrzu i czasu ekspozycji:

$$x = \frac{1,44 \cdot 10^5 \cdot m}{P \cdot t} \quad (1)$$

gdzie: x - stężenie SO_2 lub NO_2 w powietrzu [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] w temp. 20°C i pod ciśnieniem $1,013 \cdot 10^5$ Pa, m - masa SO_2 lub NO_2 zakumulowana w absorberze [μg], t - czas ekspozycji [min], P - współczynnik wyznaczony empirycznie; dla SO_2 $P = 5,1$, dla NO_2 $P = 1,88 + 0,026 t_p$ (t_p - temperatura w $^\circ\text{C}$) [3].

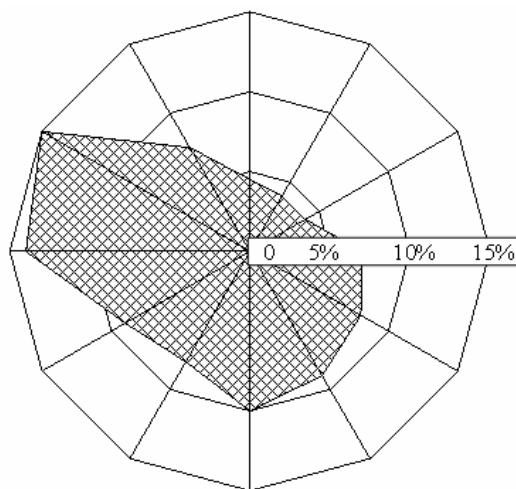
Badania porównawcze metody pasywnej z automatyczną metodą fluorescencyjną wykazały dużą zgodność wyników [4, 5].

Do badań lichenomonitoringowych wykorzystano epifityczne porosty *Hypogymnia physodes* transplantowane na naturalnym podłożu z obszaru Borów Niemodlińskich, położonych na południowy zachód od miasta Opole. W celach porównawczych metale ciężkie oznaczono także w porostach zebranych w Borach Stobrawskich, położonych na północny wschód od miasta Opole.

Badania prowadzono w administracyjnych granicach miasta Opole przy obwodnicy północnej, będącej częścią drogi krajowej łączącej autostradę A4 m.in. z drogą w kierunku na Warszawę.

Charakterystyka obszaru badań

Badania prowadzono przy obwodnicy północnej, w administracyjnych granicach wojewódzkiego miasta Opole (Makroregion 318,5 - Nizina Śląska).



Rys. 1. Róża wiatrów dla miasta Opole
Fig. 1. Wind rose for the city of Opole

Dobowe natężenie ruchu samochodowego w czasie ekspozycji to ok. 20 tys. pojazdów. Obszar charakteryzuje się klimatem umiarkowanym ciepłym, ze średnioroczną temperaturą 8,3°C i średniorocznymi opadami rzędu 650 mm. W czasie ekspozycji (od listopada do marca) opady atmosferyczne są o ok. 40% mniejsze od średniorocznych. Na rysunku 1 przedstawiono roczną różę wiatrów sporządzoną w 2007 r. dla miasta Opole przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej we Wrocławiu.

Tabela 1. Stężenia Cd, Cu, Pb i Zn w wybranych materiałach stosowanych w nawożeniu gleby

Table 1. The concentrations of Cd, Cu, Pb and Zn in selected materials used in the fertilization of the soil

Zawartość Cd, Pb, Cu i Zn [$\mu\text{g/g}$ s.m.] w różnych materiałach stosowanych do nawożenia gleby [29]				
Analit:	Cd	Cu	Pb	Zn
Nawozy:				
- azotowe	0,05÷9	1÷15	2÷120	1÷40
- fosforowe	0,5÷45	1÷300	4÷1000	50÷1500
- wapniowe	0,1÷15	1÷800	5÷600	16÷4000
- obornik	0,3÷0,8	2÷60	0,4÷16	15÷340
Osady ściekowe	2÷10	50÷800	2÷500	700÷2000

Obszar, na którym rozmieszczono próbki porostów i próbniki Amaya, jest pod wpływem emisji miejskiej (ok. 6 km od centrum miasta) i przemysłowej (m. in. przemysł cementowo-wapienniczy i energetyczny). Obwodnica w 80% przebiega przez tereny rolne. Lokalnie aerozol atmosferyczny może być wzbogacany w anality

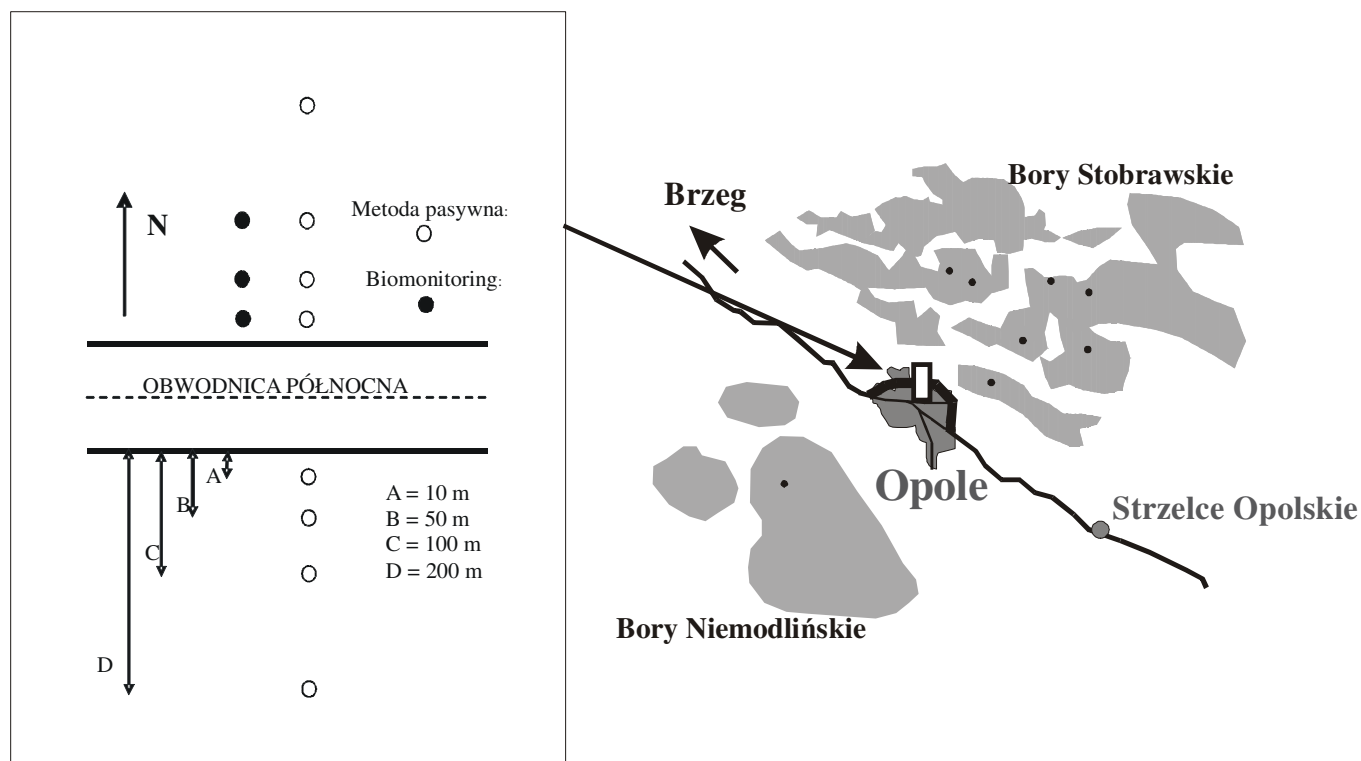
unoszone z gleby w postaci pyłu. W tabeli 1 podano stężenia Cd, Cu, Pb i Zn w wybranych materiałach stosowanych w nawożeniu gleby.

Średnia roczna depozycja Cd, Cu, Ni, Pb i Zn w powiecie opolskim w 2003 r. wynosiła kolejno w [$\text{g}/(\text{ha}\cdot\text{rok})$]: 3,0, 43, 5,9, 39, 290 [30]. Dane z lat późniejszych nie zostały opublikowane.

Przygotowanie i rozmieszczenie próbników Amaya oraz próbek porostów

Próbniki Amaya oraz próbki porostów (ok. 20 g) umieszczono na tyczkach na wysokości 150 cm, na otwartej przestrzeni w linii prostopadłej do obwodnicy (rys. 2). Na mapie zaznaczono miejsca pobierania próbek do ekspozycji w Borach Niemodlińskich oraz próbek porównawczych w Borach Stobrawskich. Przygotowane w laboratorium [3] wiązki próbników pasywnych (każda wiązka zawierała 5 krążków) po miesięcznej ekspozycji poddawano analizie, a w ich miejsce instalowano nowe wiązki.

Od strony północnej rozmieszczono próbki porostów, które eksponowano w okresie od 08.11.2006 r. do 26.02.2007 r. Do badań biomonitringowych wykorzystano epifityczne porosty *Hypogymnia physodes* transplantowane na naturalnym podłożu (suche gałęzie świerka i modrzewia) z obszaru Borów Niemodlińskich, położonych na południowy zachód od miasta Opole.



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia próbek porostów i próbników Amaya

Fig. 2. Deployment diagram of lichen samples and samplers Amaya

Metody oznaczania polutantów i sposób interpretacji wyników

Stężenie metali ciężkich oznaczano w homogenizowanych 1 g próbkach porostów, przed i po okresie ekspozycji (każdorazowo badano po 7 próbek porostów). Jak wspomniano, w celach porównawczych oznaczono metale ciężkie w porostach zebranych z obszaru Borów Stobrawskich. Ekstrakcję metali ciężkich z porostów prowadzono w roztworze 2% kwasu azotowego (20 cm³), który poddano przez 10 min działaniu ultradźwięków. Skuteczność tej metody ekstrakcji w odniesieniu do porostów wykazał Balarama Krishna [31].

Ditlenki siarki i azotu oznaczano techniką chromatografii jonowej na aparacie DIONEX DX-120. Metale ciężkie oznaczano metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej na aparacie SOLAAR 969 firmy UNICAM.

Akumulację metali ciężkich w porostach zinterpretowano poprzez wyznaczenie współczynnika *EC* (*exposed-to-control*). Jest to stosunek stężenia pierwiastka zakumulowanego w porostach po ekspozycji do stężenia tego pierwiastka przed ekspozycją. Wartość *EC* interpretowana jest w 5-stopniowej skali: 0÷0,25 duży ubytek analitu, 0,25÷0,75 ubytek analitu, 0,75÷1,25 brak zmian, 1,25÷1,75 akumulacja, >1,75 duża akumulacja [11, 32].

Monitoring pasywny zmodyfikowaną metodą Amaya; oznaczanie SO₂ i NO₂

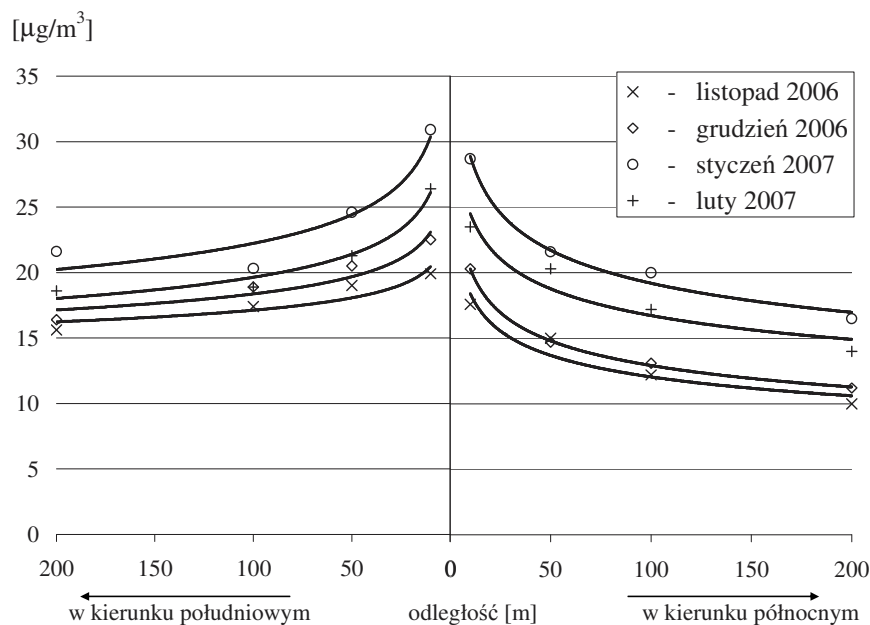
W tabeli 2 przedstawiono wyniki oznaczeń SO₂ i NO₂ w powietrzu po miesięcznych okresach ekspozycji próbników Amaya w miesiącach od listopada 2006 r. do końca lutego 2007 r.

Wyniki zebrane w tabeli 2 przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

Tabela 2. Wyniki oznaczeń SO₂ i NO₂ w powietrzu [μg/m³] po miesięcznych ekspozycjach próbników Amaya

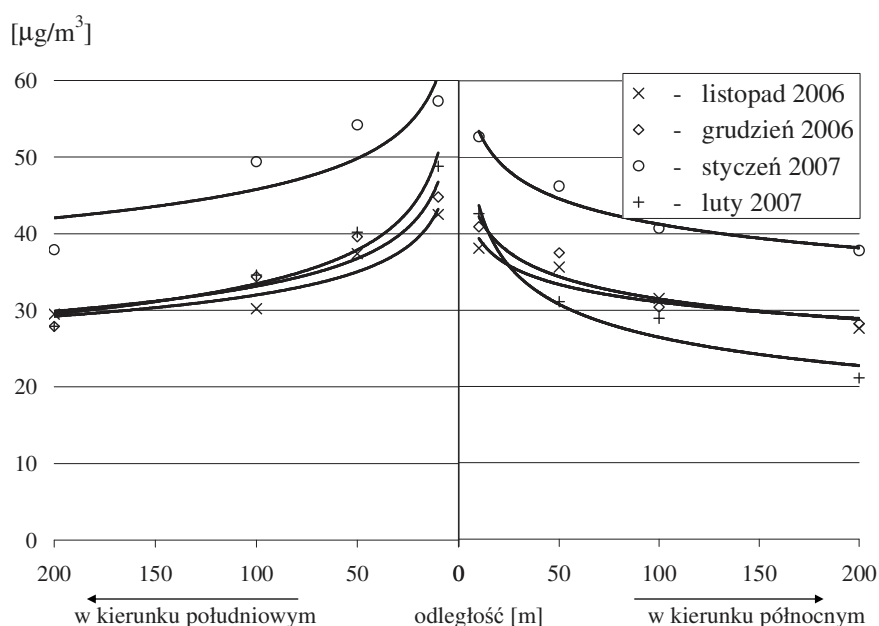
Table 2. Results of determinations of SO₂ and NO₂ in the air [μg/m³] after the monthly exhibitions samplers Amaya

Odległość od drogi [m]	SO ₂ σ < 13,3%	NO ₂ σ < 6,5%	SO ₂ σ < 13,3%	NO ₂ σ < 6,5%	SO ₂ σ < 13,3%	NO ₂ σ < 6,5%	SO ₂ σ < 13,3%	NO ₂ σ < 6,5%	
	listopad 2006		grudzień 2006		styczeń 2007		luty 2007		
w kierunku północnym									
10	17,6	38,1	20,3	40,9	28,7	52,7	23,5	42,6	
50	15,0	35,6	14,7	37,5	21,6	46,2	20,3	31,1	
100	12,2	31,5	13,1	30,4	20,0	40,7	17,2	28,9	
200	10,0	27,6	11,2	28,2	16,5	37,8	14,0	21,1	
w kierunku południowym									
10	19,9	42,5	22,5	44,8	30,9	57,3	26,4	48,8	
50	19,0	37,4	20,5	39,6	24,6	54,2	21,3	40,2	
100	17,4	30,2	18,9	34,4	20,3	49,4	18,9	34,6	
200	15,6	29,5	16,4	27,9	21,6	37,9	18,6	27,9	



Rys. 3. Stężenia SO₂ wyznaczone po miesięcznej ekspozycji próbników Amaya

Fig. 3. Concentrations of SO₂ after one month of samplers Amaya exposure



Rys. 4. Stężenia NO₂ wyznaczone po miesięcznej ekspozycji próbników Amaya

Fig. 4. NO₂ concentration determined after one month of samplers Amaya exposure

Zależności przedstawione na wykresach (rys. rys. 3 i 4) wskazują na malejące wraz z odległością od drogi stężenia SO₂ i NO₂ w powietrzu. Największe stężenia SO₂ i NO₂ odnotowano w styczniu. Prawdopodobną tego przyczyną jest zwiększenie poziomu tła, spowodowane zwiększoną emisją z palenisk domowych [33]. Dane przedstawione na wykresach wskazują także na bardziej łagodniejsze zmiany stężeń rejestrowanych w kierunku południowym, co może mieć związek z intensywnością i kierunkiem wiatrów.

Badania lichenomonitoringowe; oznaczanie Cd, Cu, Ni, Pb i Zn

W tabeli 3 zebrano wyniki badań wybranych metali ciężkich w próbkach porostów przeznaczonych do ekspozycji. Dla porównania podano także wyniki badań metali zakumulowanych w próbkach porostów zebranych w Borach Stobrawskich, położonych w odległości ok. 20 km w kierunku północno-wschodnim od miasta Opole.

Tabela 3. Stężenia metali ciężkich zebranych w Borach Niemodlińskich i w Borach Stobrawskich [µg/g s.m.] (±σ - odchylenie standardowe)

Table 3. The concentrations of heavy metals collected in Bory Niemodlińskie and Bory Stobrawskie [µg/g d.m.] (±σ - standard deviation)

Analit	Bory Niemodlińskie (BN)	Bory Stobrawskie (BS)	BS/BN
Cd	0,8 (±0,1)	1,2 (±0,1)	1,50
Cu	6,3 (±0,5)	7,0 (±0,7)	1,33
Ni	6,4 (±0,46)	4,7 (±0,60)	1,46
Pb	10,0 (±0,78)	19,3 (±4,76)	1,74
Zn	84,6 (±6,8)	129,7 (±11,7)	1,73

W tabeli 4 zebrano wyniki oznaczeń metali ciężkich w porostach po okresie ekspozycji.

Tabela 4. Wyniki oznaczeń Cd, Cu, Ni, Pb i Zn w porostach po okresie ekspozycji [µg/g s.m.] (±σ - odchylenie standardowe)

Table 4. Results of determinations of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn in lichens after exposure [µg/g d.m.] (±σ - standard deviation)

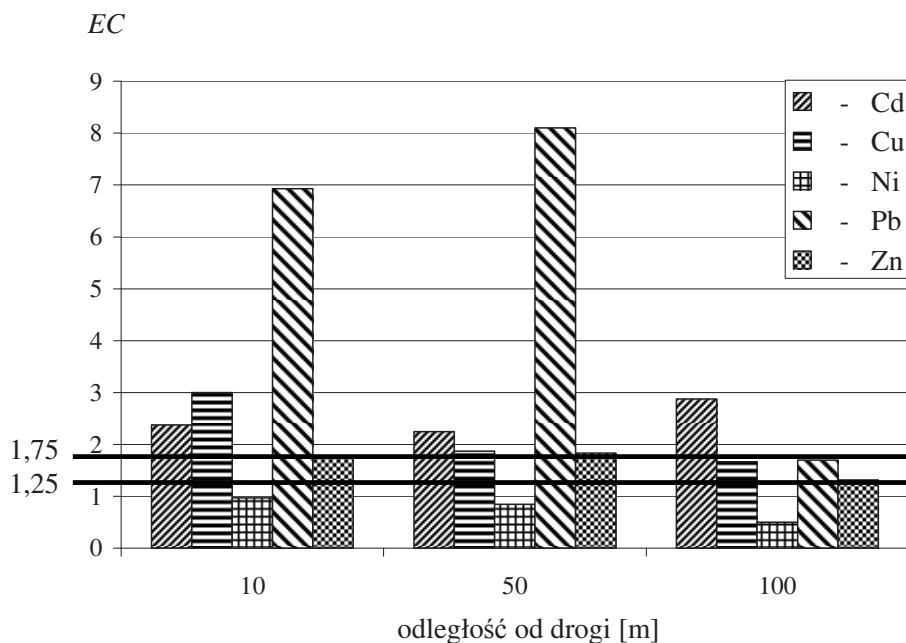
Odległość od drogi [m]	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
10	1,9 (±0,2)	18,9 (±1,5)	6,2 (±0,5)	69,3 (±5,5)	148,0 (±11,8)
50	1,8 (±0,1)	11,8 (±0,9)	5,4 (±0,4)	81,0 (±6,4)	155,3 (±12,4)
100	2,3 (±0,2)	10,5 (±0,8)	3,2 (±0,3)	17,0 (±1,3)	111,3 (±8,9)

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono graficznie wartości współczynnika *EC* odniesione do stężenia analitów w porostach przed okresem ekspozycji oraz do stężenia analitów w porostach rosnących w Borach Stobrawskich położonych w kierunku północno-wschodnim od miasta Opole. Na wykresach zaznaczono wartości *EC*, wskazujące na akumulację (1,25÷1,75) i dużą akumulację (> 1,75) analitów w okresie ekspozycji porostów.

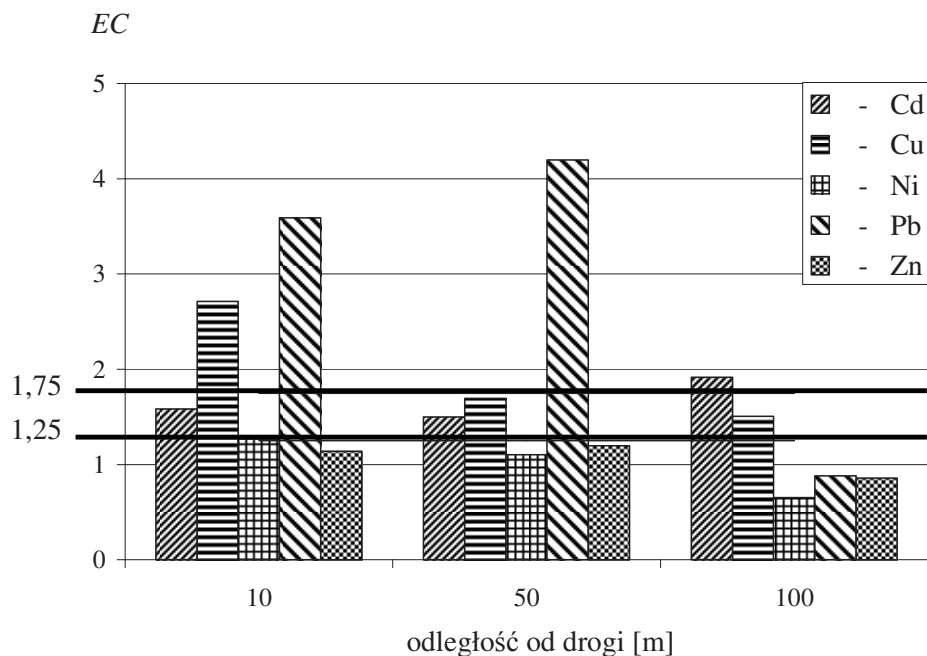
Na podstawie danych przedstawionych na rysunkach 5 i 6 można przypuszczać, że wskutek ruchu samochodowego w porostach zwiększyło się stężenie ołowiu, miedzi i kadmu. Spośród wymienionych analitów, po okresie ekspozycji, w porostach zakumulowało się najwięcej ołowiu. Jego stężenie w próbkach porostów ekspozycyjnych w odległości 10, 50 i 100 m od drogi zwiększyło się ok. 7, 8 i 2 razy (rys. 5), przy czym w porostach ekspozycyjnych w odległości 100 m stężenie ołowiu było porównywalne z jego stężeniem w porostach rosnących w Borach Stobrawskich (rys. 6). W próbkach ekspozycyjnych w odległości 10 i 50 m stężenie miedzi zwiększyło się o ok. 3 i 2 razy, podobnie w porównaniu

z porostami rosnącymi w Borach Stobrawskich. We wszystkich miejscach ekspozycji w porostach zakumulował się kadm. Jego stężenie zwiększyło się ok. 2 do 3 razy. W eksponowanych próbkach porostów w porównaniu z porostami rosnącymi w Borach Stobrawskich stężenie

kadm było także większe. Stężenia niklu i cynku są porównywalne w eksponowanych porostach i w porostach rosnących w Borach Stobrawskich (rys. 6), czego prawdopodobną przyczyną jest depozycja, niezależna od ruchu samochodowego.



Rys. 5. Współczynniki EC odniesione do stężenia analitów w porostach przed okresem ekspozycji
Fig. 5. EC ratios related to the concentration of analytes in lichens before the period of exposure



Rys. 6. Współczynniki EC odniesione do stężenia analitów w porostach rosnących w Borach Stobrawskich
Fig. 6. EC ratios related to the concentration of analytes in lichens growing in Bory Stobrawskie

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania wskazują, że wskutek ruchu samochodowego do atmosfery uwalniane są ditlenki siarki i azotu oraz ołów, kadm i miedź, przy czym wzbogacanie aerozolu atmosferycznego metalami ciężkimi może być spowodowane lokalnymi zawirowaniami powietrza, co w konsekwencji powoduje unoszenie wraz z pyłem analitów zakumulowanych w powierzchniowych warstwach gleby.

Badania, których wyniki przedstawiono w tej publikacji, mają charakter wstępny. Odcinek obwodnicy północnej miasta Opole jest nadal monitorowany.

Literatura

- [1] Ambient air - Determination of sulfur dioxide - Ultraviolet fluorescence method. ISO/DIS 10498.
- [2] Powietrze atmosferyczne - Oznaczanie stężenia masowego tlenków azotu - Metoda chemiluminescencyjna. PN-ISO 7996:2001.
- [3] Krochmal D. i Kalina A.: *A method of nitrogen dioxide and sulphur dioxide determination in ambient air by use of a passive samplers and ion chromatography*. Atmos. Environ., 1997, **31**(20), 3473-3479.
- [4] Mitosek G., Walczewski J. i Tomaszewska A.M.: Wskazówki do modernizacji monitoringu jakości powietrza pod kątem dostosowania systemu do wymagań przepisów UE ze szczególnym uwzględnieniem dużych miast. Bibl. Monit. Środow., GIOŚ, Warszawa 2000.
- [5] Plaisance H., Sagnier I., Saison J.Y., Galloo J.C. i Guillermo R.: *Performances and application of a passive sampling method for the simultaneous determination of nitrogen dioxide and sulfur dioxide in ambient air*. Environ. Monit. Assess., 2002, **79**(3), 301-315.
- [6] Stan środowiska w Polsce na tle celów i priorytetów Unii Europejskiej. Raport wskaźnikowy - Polska 2004. GIOŚ, Warszawa 2005.
- [7] Freitas M.C., Reis M.A., Marques A.P. i Wolterbeek H.Th.: *Use of lichen transplants in atmospheric deposition studies*. J. Radioanal. Nucl. Chem., 2001, **249**(2), 301-315.
- [8] Conti M.E. i Cecchetti G.: *Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment - a review*. Environ. Pollut., 2001, **114**, 471-492.
- [9] Seaward M.R.D.: *Biomonitoring of environmental pollution: an appraisal of their effectiveness*. Ecol. Chem. Eng., 2006, **13**(3-4), 193-199.
- [10] Rajfur M., Kłos A., Waclawek M. i Waclawek W.: *Heavy metals sorption in lichen Hypogymnia physodes*. Ecol. Chem. Eng., 2005, **12**(12), 1343-1351.
- [11] Kłos A., Rajfur M., Waclawek W. i Waclawek M.: *Badanie pierwiastków śladowych zakumulowanych na porostach*. Ecol. Chem. Eng., 2005, **12**(S2), 155-178.
- [12] Kłos A., Rajfur M., Waclawek M. i Waclawek W.: *Wykorzystanie porostów do oceny zanieczyszczenia obszarów leśnych metalami ciężkimi*. Proc. XV Central European Conference ECOpole'06 (19-21.10.2005, Jamrozowa Polana), Opole 2006, 207-210.
- [13] Bergamaschi L., Rizzio E., Giaveri G., Loppi S. i Gallorini M.: *Comparison between the accumulation capacity of four lichen species transplanted to a urban site*. Environ. Pollut., 2007, **148**, 468-476.
- [14] Loppi S. i Frati L.: *Lichen diversity and lichen transplants as monitors of air pollution in a rural area of central Italy*. Environ. Monit. Assess., 2006, **114**, 361-375.
- [15] Plocnik H., Batic F. i Ribaric L.C.: *Monitoring of short-term heavy metal deposition by accumulation in epiphytic lichens (Hypogymnia physodes)*. J. Atmos. Chem., 2004, **49**, 223-230.
- [16] Viskari E.L., Reikila R., Roy S., Lehto O., Ruuskanen J. i Karenlampi L.: *Airborne pollutants along a roadside: Assessment using snow analyses and moss bags*. Environ. Pollut., 1997, **97**(1-2), 153-160.
- [17] Szarek-Lukaszewska M., Grodzińska K. i Braniewski S.: *Heavy metal concentration in the moss Pleurozium schreberi in the Niepołomice Forest, Poland: changes during 20 years*. Environ. Monit. Assess., 2002, **79**(3), 231-237.
- [18] Zechmeister H.G., Hagedorfer H., Hohenwallner D., Hanus-Ilmar A. i Riss A.: *Analyses of platinum group elements in mosses as indicators of road traffic emissions in Austria*. Atmos. Environ., 2006, **40**, 7720-7732.
- [19] Ermakova E.V., Frontasyeva M.V., Pavlov S.S., Povtoreiko E.A., Steinnes E. i Cheremisina Ye N.: *Air pollution studies in Central Russia (Tver and Yaroslavl Regions) using the moss biomonitoring technique and neutron activation analysis*. J. Atmos. Chem., 2004, **49**, 549-561.
- [20] Sloof J.E.: *Lichens as a quantitative biomonitors for atmospheric trace-elements deposition, using transplants*. Atmos. Environ., 1995, **29**, 11-20.
- [21] Loppi S. i Corsini A.: *Diversity of epiphytic lichens and metal contents of Parmelia caperata thalli as monitors of air pollution in the town of Pistoia (C Italy)*. Environ. Monit. Assess., 2003, **86**, 289-301.
- [22] Bari A., Rosso A., Minciardi M.R., Troiani F. i Piervittori R.: *Analysis of heavy metals in atmospheric particulates in relation to their bioaccumulation in explanted Pseudevernia furfuracea thalli*. Environ. Monit. Assess., 2001, **69**, 205-220.
- [23] Fenger J.: *Urban air quality*. Atmos. Environ., 1999, **33**, 4877-4900.
- [24] Garty J., Wiessman L., Cohen Y., Karnieli A. i Orlovsky L.: *Transplanted lichens in and around the Mount Carmel National Park and the Haifa bay industrial region in Israel: Physiological and chemical responses*. Environ. Res., 2001, **A85**, 159-176.
- [25] Hoek G., Brunekreef B., Goldbohm S., Fischer P. i Van den Brandt P.A.: *Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study*. Lancet, 2002, **360**, 1203-1209.
- [26] Kakulu S.E.: *Trace metal concentration in roadside surface soil and tree bark: a measurement of local atmospheric pollution in Abuja, Nigeria*. Environ. Monit. Assess., 2003, **89**, 233-242.
- [27] Johnston W.R. i Harrison R.M.: *Deposition of metallic and organic pollutants alongside the M6 motorway*. Sci. Total Environ., 1984, **33**, 119-127.
- [28] Panek E. i Targońska J.: *The effect of plant cover and distance from the road on spatial distribution of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) concentration in roadside plants between Kraków and Zakopane*. Polish J. Environ. Stud., 2007, **16**(3B), 376-380.
- [29] Domagała-Świątkiewicz I.: *Jak zapobiegać skażeniu roślin metalami ciężkimi?* Gardener, 2003, **2**, 58-59.
- [30] Stan środowiska w województwie opolskim w roku 2003. Bibl. Monit. Środow., Opole 2004.
- [31] Balarama Krishna M.V. i Arunachalam J.: *Ultrasound-assisted extraction procedure for the fast estimation of major, minor and trace elements in lichen and moss samples by ICP-MS and ICP-AES*. Anal. Chim. Act., 2004, **522**, 179-187.
- [32] Frati L., Brunialti G. i Loppi S.: *Problems related to lichen transplants to monitor trace element deposition in repeated surveys: a case study from central Italy*. J. Atmos. Chem., 2005, **52**, 221-230.
- [33] Olszowski T.: *Distributions of SO₂ and NO₂ Concentration within administrative borders of Opole*. Polish J. Environ. Stud., 2007, **16**(3B), 371-375.