

PETR HRDLIČKA¹, EMANUEL KULA²,
JADWIGA M. ZĄBECKA³

Zawartość wybranych pierwiastków w liściach brzozy (*Betula verrucosa* Ehrh.) rosnącej na terenach znajdujących się pod wpływem imisji przemysłowych w okolicy Olkusza*

The contents of selected elements in leaves of birch trees
(*Betula verrucosa* Ehrh.) growing in the areas subjected to industrial air
pollution in the Olkusz Region

Abstract: In the areas of the Olkusz Forest District and Rudawy (Czech Republic) a research has been conducted regarding the contents of micro and macroelements, and heavy metals in birch leaves. The investigation has taken place in the forests being subjected in various degrees to contamination by toxic compounds.

Keywords: birch, heavy metals, macroelements, microelements, industrial pollution

Wstęp

Skład chemiczny organów asymilacyjnych drzew może dostarczyć informacji dotyczących odżywiania się drzewostanów i rodzaju skażenia imisjami przemysłowymi środowiska leśnego. Dotychczas brakuje informacji na temat składu oraz kompozycji pierwiastków pokarmowych i pochodzących ze źródeł antropogenicznych w aparacie asymilacyjnym drzew w zależności od rodzaju imisji. W Rudawach (Czechy) prowadzono badania mające na celu ocenę zawartości mikro i makropierwiastków oraz metali ciężkich w liściach brzozy, na obszarze znajdującym się pod długotrwałym wpływem SO₂ [7]. Ponadto informacje na ten temat można znaleźć w pracy Särkelä i Nuorteva [12]. Wymienieni autorzy oceniali zawartość metali ciężkich w liściach brzozy (*Betula pubescens* Ehrh.), z terenów Finlandii będących pod wpływem imisji hutniczych. Stwierdzili wystę-

* Badania zostały wykonane w ramach grantu (526/8GA/0537) finansowanego przez Agencję ds. Grantów Republiki Czeskiej.

powanie wysokiego poziomu kadmu ($0,96 \text{ mg.kg}^{-1}$) i cynku (280 mg.kg^{-1}) w organach asymilacyjnych brzoź.

Analogiczne badania wykonane zostały w okolicy Olkusza, gdzie dominują emisje z hut cynku, w których występuje wysoka zawartość metali ciężkich [11]. Podjęcie badań było również uzasadnione bardzo wysokim stężeniem toksycznych związków w powietrzu atmosferycznym, o czym świadczą wyniki pomiarów wykonane w drugim kwartale 1994 roku (Pb 178 ng.m^{-3} , Cd $5,5 \text{ ng.m}^{-3}$, Mn 31 ng.m^{-3} , fluor $0,92 \text{ ng.m}^{-3}$, NH_3 25 ng.m^{-3} , SO_2 28 ng.m^{-3} , pył 108 ng.m^{-3} i NO_x 31 ng.m^{-3}) [2] oraz poziomem zawartości niektórych metali w igłach sosnowych: 173, 7 mg.kg^{-1} Zn; 1,53 mg.kg^{-1} Cd; 10,5 mg.kg^{-1} Pb; 3,24 mg.kg^{-1} Cu [3].

Celem pracy było określenie zawartości makropierwiastków i mikropierwiastków w liściach brzozy (*Betula verrucosa* Ehrh.) rosnącej na stanowiskach położonych w różnej odległości od zakładów emitujących metale ciężkie w okolicach Olkusza.

Material i metodyka

Na terenie Nadleśnictwa Olkusz założono cztery powierzchnie, położone w różnej odległości od źródeł emisji. Powierzchnie PL1 i PL3 położone były w odległości około 1 km od źródeł emisji. Powierzchnia PL2 – w odległości pięciu km, ale równocześnie w pobliżu zakładów celulozowych w Kluczach. Powierzchnia PL4 znajdowała się w odległości 10 km od hut cynku i ołowiu. Powierzchnię PL4 wyznaczono na obszarze zaliczanym do II strefy uszkodzenia drzewostanów, podczas gdy trzy pierwsze powierzchnie znajdują się w III strefie – uszkodzeń silnych (tab. 1).

Na każdej powierzchni z trzech drzew pobierano po dwie próby gałęzi, z górnej, nasłonecznionej części koron brzoź. Łącznie do badań pobrano 24 próby. Następnie w warunkach laboratoryjnych oddzielono próbki liści od gałęzi. Liście zostały wysuszone w temperaturze 105°C przez trzy godziny. Materiał suchy poddano analizie. Siarkę oznaczono metodą opracowaną przez firmę LECO [5], fosfor spektrofotometrycznie [8], wapń, magnez, potas, mangan, cynk, miedź, ołów, kadm i glin oznaczano metodami AAS lub AES po suchej mineralizacji. Azot był określany klasyczną metodą Kjeldahla z wykorzystaniem systemu firmy TECATOR [6].

TABELA 1
Położenie powierzchni w drzewostanach Nadleśnictwa Olkusz
TABLE 1
Parcels locations in the forests of the Olkusz Forest District

Położenie (oddział) Location (ward)	Nr powierzchni Parcel no.	Odległość od źródła emisji Distance from source of emission
Bukowno (92)	PL1	1 km
Bolesław (227)	PL3	1 km
Klucze (19)	PL2	5 km
Olkusz (68)	PL4	10 km

TABELA 2
Klasy zawartości pierwiastków w liściach
TABLE 2
Elements content classes in birch leaves

Zawartość Contents	Klasa Class	S [g.kg ⁻¹]	N [g.kg ⁻¹]	P [g.kg ⁻¹]
Niedostateczna (insufficient)	1	<1,55	<25	<1,5
Optymalna (optimal)	2	1,55–2,09	25-40	1,5-3
Nadmierna (excessive)	3	>2,09	>40	>3
Zawartość Contents	Klasa Class	Ca [g.kg ⁻¹]	Mg [g.kg ⁻¹]	K [g.kg ⁻¹]
Niedostateczna (insufficient)	1	<3	<1,5	<10
Optymalna (optimal)	2	3-15	1.5-3	10-15
Nadmierna (excessive)	3	>15	>3	>15
Zawartość Contents	Klasa Class	Mn [mg.kg ⁻¹]	Zn [mg.kg ⁻¹]	Cu [mg.kg ⁻¹]
Niedostateczna (insufficient)	1	<30	<15	<6
Optymalna (optimal)	2	30-100	15-50	6-12
Nadmierna (excessive)	3	>100	>50	>12
Zawartość Contents	Klasa Class	Pb [mg.kg ⁻¹]	Cd [mg.kg ⁻¹]	Al [mg.kg ⁻¹]
Śladowa (trace)	1	<2	<0.1	<103
Normalna (normal)	2	2-10	0.1-0.2	103-120
Ponad normalna (over normal)	3	>10	>0.2	>120

Zawartość pierwiastków była porównywana z poziomami makro- i mikropierwiastków znajdujących się na powierzchniach nie skażonych emisjami. Poziom pierwiastków stanowiących obce elementy w materiale roślinnym porównywano z wartościami, które są uznawane w literaturze za niegroźne dla życia drzew. Dla mikropierwiastków (N, P, K, Ca, Mg) i mikropierwiastków (Cu, Mn, Zn) były wykorzystane wartości dla brzozy podane przez Bergmanna [1]. Pozostałe pierwiastki (Pb, Cd, Al i S), ze względu na brak danych dla brzozy, porównywano z danymi dla buka wyznaczonymi przez Bergmanna [1]. Podobnie oceniano zawartość Pb i Cd [10] oraz Al i S [4].

Stężenie substancji odżywczych (makro i mikropierwiastków) wykazane w literaturze były podzielone na kategorie i zaliczone do trzech klas (tab. 2). Średnie wartości pierwiastków otrzymane ze wszystkich czterech powierzchni porównano z wartościami uzyskanymi tymi samymi metodami przez Hrdličkę i Kulę [7] z terenu Rudaw. Aby określić podobieństwo zawartości pierwiastków w liściach pochodzących z kolejnych powierzchni, uzyskane wyniki z poszczególnych prób i powierzchni poddano statystycznej analizie skupień posługując się programem UNISTAT.

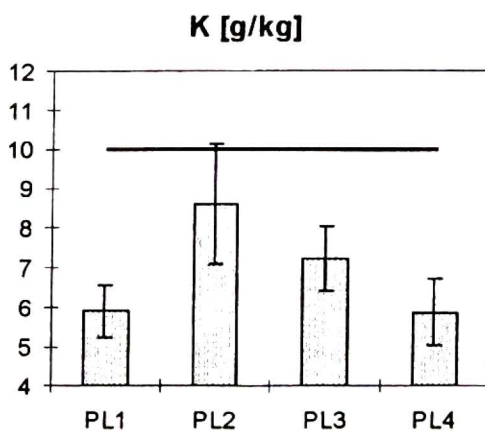
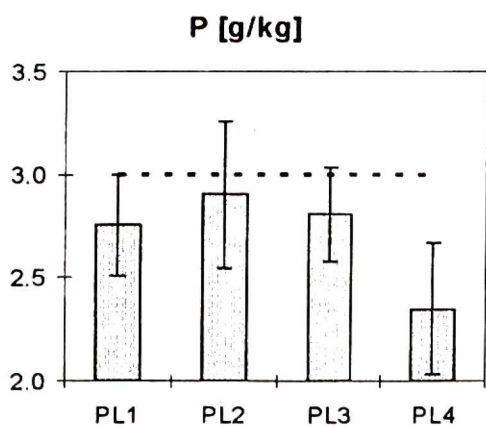
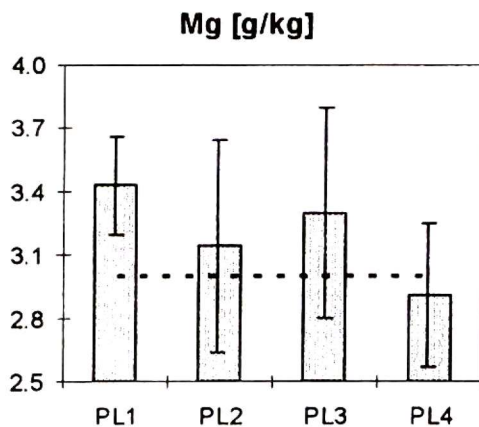
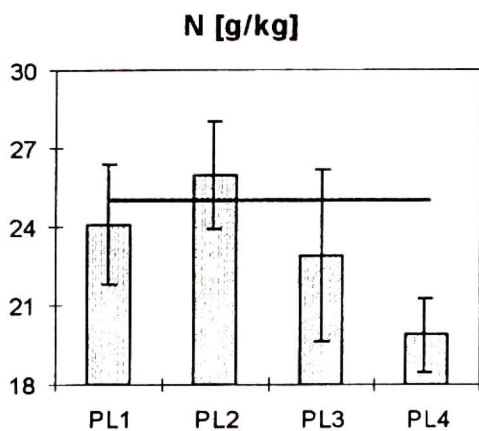
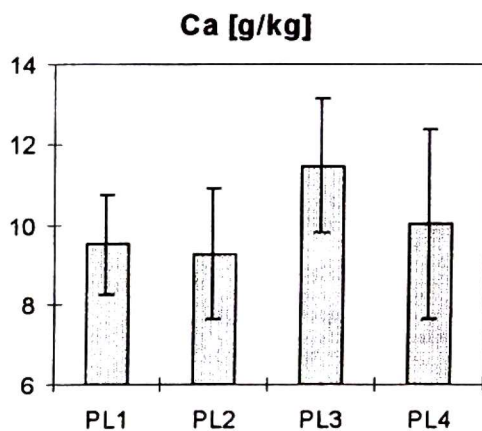
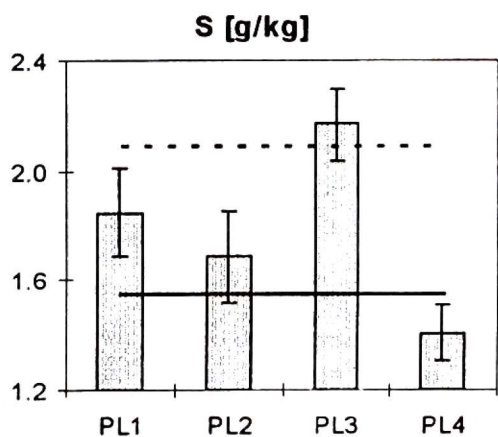
Wyniki i dyskusja

Zawartości pierwiastków w pobranych próbach z asymilacyjnych organów brzozy (na poziomie istotności $\alpha=0,05$) dowodzą, że pod Olkuszem występuje optymalna zawartość siarki ($1,78\pm 0,13 \text{ g.kg}^{-1}$), fosforu ($2,70\pm 0,16 \text{ g.kg}^{-1}$), wapnia ($10,06\pm 0,90 \text{ g.kg}^{-1}$), optymalna i ponad optymalna zawartość magnezu ($3,19\pm 0,20 \text{ g.kg}^{-1}$), niedostateczna zawartość azotu ($23,22\pm 1,42 \text{ g.kg}^{-1}$), potasu ($6,90\pm 0,66 \text{ g.kg}^{-1}$) i miedzi ($4,61\pm 0,25 \text{ mg.kg}^{-1}$) a przede wszystkim cynku ($712,1\pm 116,9 \text{ mg.kg}^{-1}$). Zawartość glinu ($70,4\pm 5,7 \text{ mg.kg}^{-1}$) jest poniżej zawartości normalnej, natomiast zawartość ołowiu ($19,90\pm 5,32 \text{ mg.kg}^{-1}$) i kadmu ($2,24\pm 0,54 \text{ g.kg}^{-1}$) powyżej zawartości przyjętej za normalną (ryc. 1 i 2).

Po włączeniu wyników analizowanych prób do odpowiadających im trzech klas zawartości (ryc. 3) stwierdzono, że wapń, fosfor, mangan i siarka najczęściej mieściły się w klasie optymalnych wartości. Miedź, potas i azot znajdowały się w klasie niedostatecznej, a cynk – w ponad optymalnej. Dla pierwiastków obcych wyniki kształtowały się następująco: w przypadku glinu wszystkie wartości były w klasie 1 – wartości śladowych; ołów i kadm przeważnie w klasie 3 - wartości nadmiernych. Spośród grupy badanych pierwiastków tylko mangan, mimo że na 3 powierzchniach zawartość jego mieściła się w granicach optymalnych, plasował się dość często w klasie wartości ponad optymalnych. Było to związane z bardzo wysoką zawartością manganu na powierzchni PL4 (ryc. 1).

Na poszczególnych powierzchniach badania wykazały zróżnicowanie zawartości pierwiastków. Jak wynika ze statystycznej analizy (na poziomie istotności $\alpha=0,05$) różnice ujawniły się między powierzchniami dla zawartości: S, N, K, Mn, Zn, Cu, Pb, i Cd. Nie stwierdzono różnic dla P, Ca, Mg i Al. Najmniejsze wartości stwierdzono w pobliżu źródeł imisji. W przypadku siarki na powierzchni PL3, cynku i ołowiu na powierzchni PL1 i PL3 oraz kadmu na PL3. Największe wartości były wykazywane dla siarki, azotu i miedzi na powierzchni PL4, która była najdalej położona od źródła emisji. Cynk oraz ołów i kadm, miały najmniejsze wartości na powierzchni PL2, podczas gdy na powierzchni PL4 oddalonej 10 km od źródeł emisji zawartości tych pierwiastków były wyraźnie podwyższone lub wysokie. Powierzchnia PL4 wyróżniała się też zawartością manganu. Jego wartość była około pięć razy większa w porównaniu z wartością na powierzchni PL1 leżącej w pobliżu źródła emisji.

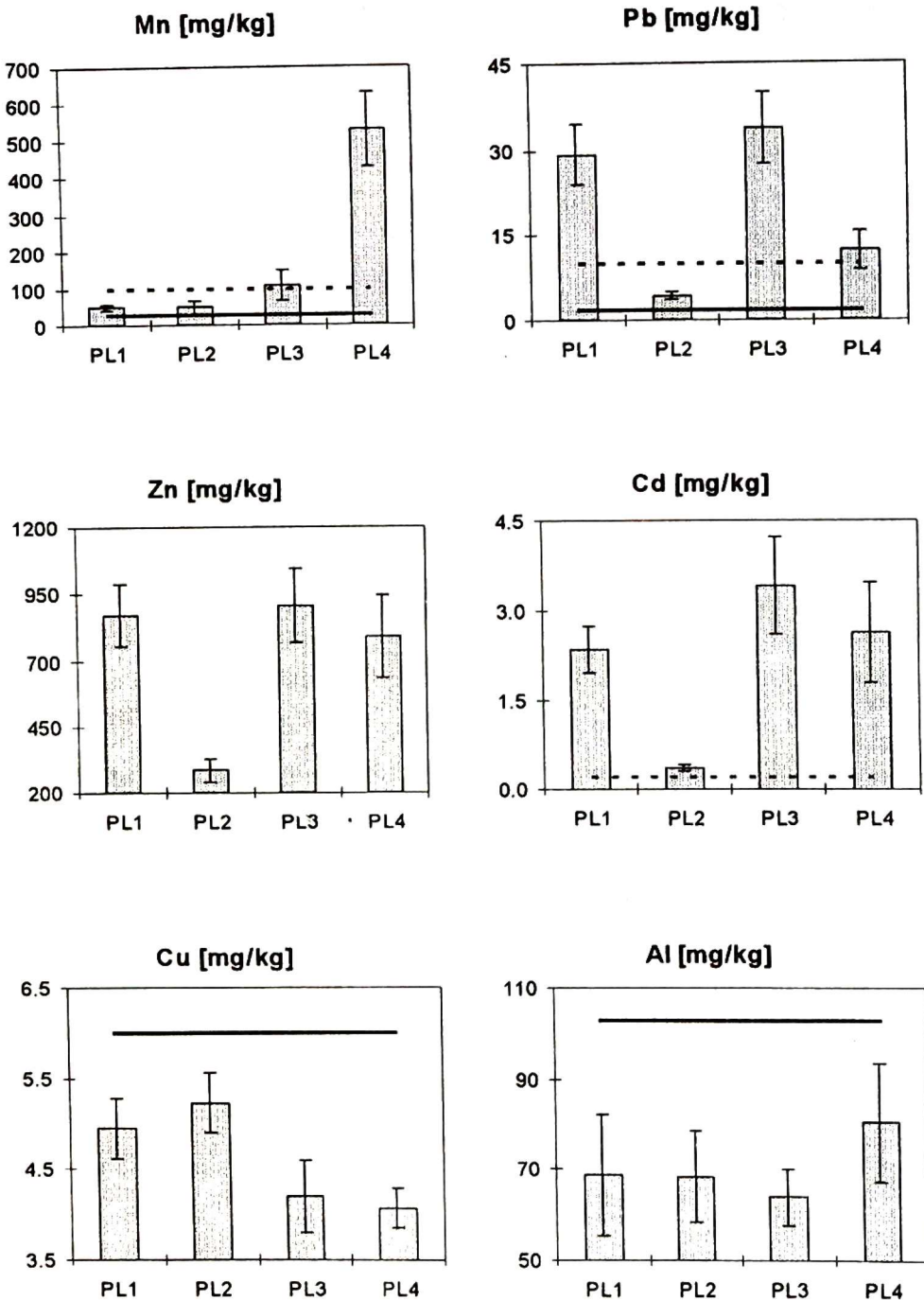
Porównując zawartości pierwiastków w liściach brzozy z rejonu Olkusza z podawanymi przez Kulę i Hrdličkę [9] dla obszaru Rudaw, w którym to obszarze dominują emisje tlenków siarki i ich pochodnych (tab. 3) można stwierdzić wyraźne różnice. Wynikają one z tego, że odmienny rodzaj skażenia powoduje inną zawartość pierwiastków w organach asymilacyjnych brzozy. Siarka w liściach brzozy rosnącej w Rudawach znajdowała się na podwyższonym poziomie i jej zawartość zwiększała się wraz ze wzrostem wysokości n.p.m. [9]. Na terenie Olkusza utrzymywała się natomiast w granicach optymalnej wartości. O ile poziom azotu i potasu w liściach brzozy w Rudawach utrzymywał się w zakresie wartości normalnych, to w rejonie Olkusza zaznaczył się ich wyraźny niedobór. Większe wartości wapnia i magnezu w liściach pochodzących z rejonu Olkusza są prawdopodobnie związane z dostatkami ich w glebie. Z makropierwiastków, tylko fosfor był na obu terenach skażonych różnego rodzaju imisjami w optymalnych klasach wartości. Z mikropierwiastków, miedź wystąpiła na obu terenach w niewielkiej wartości. Znaczne wahania przejawiał



* linia ciągła dla makroelementów oznacza dolną granicę optymalnego przedziału zawartości a linia przerywana oznacza górną granicę

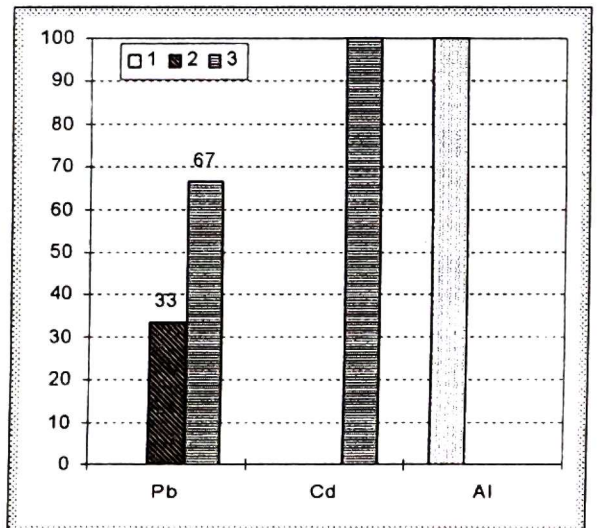
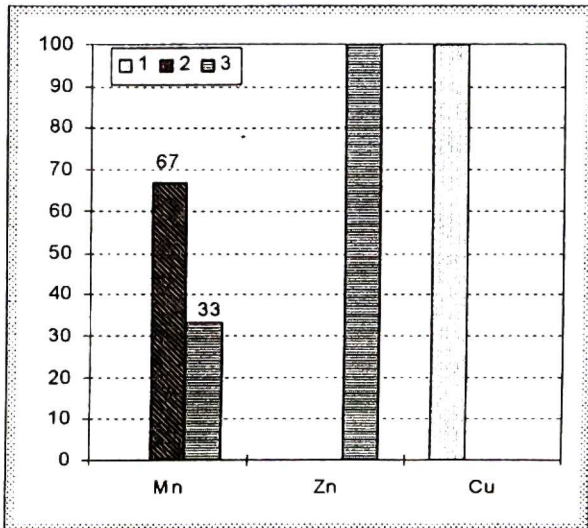
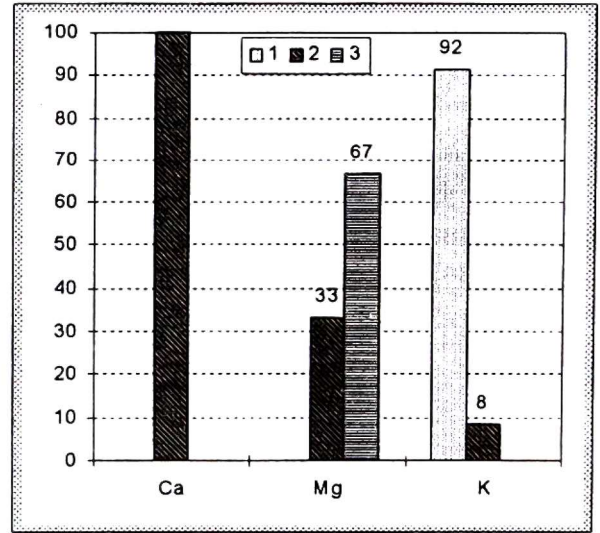
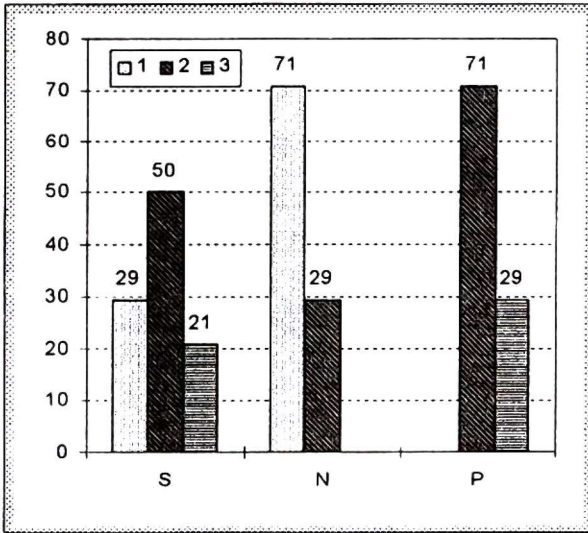
* a continuous line indicates the lower limit of optimal content for macroelements, and the broken line indicates the upper limit

RYC. 1. Zawartość makroelementów w liściach brzozy*
 FIG. 1. Macroelements content in birch leaves*



- * linia ciągła dla mikroelementów oznacza dolną granicę optymalnego przedziału ilości, a dla pierwiastków obcych dolną granicę normalnej zawartości
- * linia przerywana dla mikroelementów oznacza górną granicę optymalnej zawartości, a dla pierwiastków obcych górną granicę zawartości normalnej
- * a continuous line signifies the lower limit of optimal contents for microelements, and the limit of normal contents for foreign elements
- * a broken line indicates the upper limit of optimal contents for microelements, and the upper limit of normal contents for foreign elements

RYC. 2. Zawartość makroelementów i pierwiastków obcych w liściach brzozy*
 FIG. 2. Microelements and foreign elements contents in birch leaves*



* - substancje odżywcze (makro i mikroelementy) o zawartości niedostatecznej - klasa 1; optymalna zawartość - klasa 2; zwiększona zawartość - klasa 3.

Pozostałe obce pierwiastki podzielono na klasy: śladowe występowanie - klasa 1, normalna zawartość - klasa 2, ponad normalne występowanie - klasa 3

* insufficient contents of nutritive substances (macro and microelements) - Class 1; optimal contents - Class 2; increased contents - Class 3

The remaining foreign elements are subdivided into the following classes: trace presence - Class 1, normal contents - Class 2, over normal presence - Class 3

RYC. 3. Rozkład klas zawartości pierwiastków w liściach brzozy wszystkich prób
 FIG. 3. Elements contents classes distribution in birch leaves of all trials*

TABELA 3
Zawartość pierwiastków w liściach brzozy na pow. w Olkuszu i w Rudawach
TABLE 3

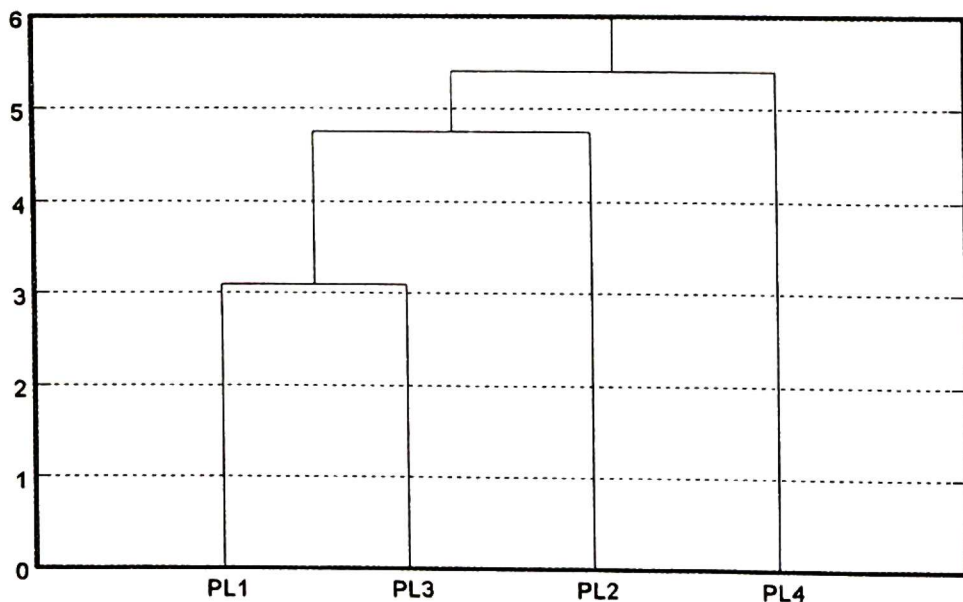
Elements content in birch leaves in the areas of Olkusz and Rudawy

Rejon Region	S	N	P	Ca	Mg	K	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Al
	[g.kg ⁻¹]						[mg.kg ⁻¹]					
Olkusz	1,78	23,22	2,70	10,06	3,19	6,90	184	712	4,61	19,9	2,24	70,4
Rudawy*	2,62	28,61	2,90	7,30	1,93	10,06	1578	189	5,05	1,6	0,30	80,1

*[7 i 9]

mangan; jego zawartość na terenie Rudaw w porównaniu z wartością dla okolicy Olkusza była około 8,5 razy większa. Także zawartość cynku wykazywała różnice; w Rudawach jego wartość była czterokrotnie mniejsza. Glin pozostawał na dopuszczalnym poziomie. Zawartość ołowiu w badanych próbkach z terenu Olkusza była nawet 12,5 razy większa. Podobnie kadm miał wartości 7,4 razy wyższe w porównaniu z wartością w próbkach z terenu Rudaw.

Analizy wskazują na wyraźną zależność między zawartością pierwiastków w liściach brzozy a odległością powierzchni od źródła emisji. Dowodem tego są wyniki analizy skupień (ryc. 4). Powierzchnie PL1 i PL3, znajdujące się pod silnym wpływem emisji, tworzą jedną wspólną grupę. Do nich zbliża się bardziej oddalona, a tym samym mniej skażona imisjami powierzchnia PL2. Powierzchnia ta pozostaje w związku z powierzchnią PL4 najdalej położoną od źródeł emisji.



RYC. 4. Analiza skupień badanych powierzchni
FIG. 4. Concentration analysis of researched parcels

Wnioski

- W aparacie asymilacyjnym brzozy w okolicy Olkusza występuje niedobór azotu, potasu i miedzi, optymalny poziom siarki, fosforu i wapnia, natomiast magnez osiąga poziom optymalny i ponad optymalny. Mangan i cynk przekracza poziom optymalny natomiast zawartość obcych elementów, takich jak glin i kadm jest powyżej norm dopuszczalnych.
- W pobliżu źródeł emisji zawartości pierwiastków: siarki, cynku, ołowiu i kadmu jest najwyższa, natomiast najniższe wartości siarki, azotu i miedzi były na powierzchniach położonych dalej od źródła emisji. Mangan osiąga największą wartość na powierzchni najbardziej oddalonej od źródła emisji.
- W liściach brzozy pochodzącej z okolicy Olkusza i Rudaw występują istotne różnice w zawartości niektórych pierwiastków.

¹ *Fakulta agronomická, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita,
Zemědělska 1, 613 00 Brno, Czechy*

² *Fakulta lesnická a dřevařská, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita,
Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czechy*

³ *Zakład Ochrony Lasu, Wydział Leśny, Akademia Rolnicza w Krakowie,
Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków, Polska*

Literatura

1. **Bergmann, W:** Ernährungstörungen bei Kulturpflanzen. (Entstehung, visuelle und analytische Diagnose). VEB Gustav Fischer Verlag, Jena. 1988
2. Biuletyn Służby Monitoringu Powietrza, Nr. 2-3, 1994, pp. 4-5. Katowice, kwiecień - wrzesień 1994.
3. **Dmuchowski, W. Bytnerowicz, A:** Monitoring environmental pollution in Poland by chemical analysis of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. Environ. Poll. 87. 1995.
4. **Hofmann, G. Krauss, H.-H.:** Die Ausscheidung von Ernährungsstufen für die Baumarten Kiefer und Buche auf der Grundlage von Nadel- und Blattanalysen und Anwendungsmöglichkeiten in der Überwachung des ökologischen Waldzustandes. Sozialistische Forstwirtschaft (Berlin) 38. 1988.
5. **Hrdlička, P.:** Obsah celkové síry v jehličí smrkových porostů Beskyd. Acta Univ. Agric. (Brno), Fac. Silv. LXII (1-4). 1993a .
6. **Hrdlička, P.:** Obsah celkového dusíku v jehličí smrkových porostů Beskyd. Acta Univ. Agric. (Brno), Fac. Silv. LXII (1-4). 1993b.
7. **Hrdlička P. Kula E.:** Element content in leaves of birch (*Betula verrucosa* Ehrh.) in an air polluted area. Trees 13. 1998.
8. **Javorský P. Fojtíková D. Kalaš V. Schwarz M.:** Chemické rozbory v zemědělských laboratořích. Díl I. Ministerstvo zemědělství a výživy ČSR, České Budejovice 1987.

9. **Kula, E. Hrdlička, P.:** Studium poškození březových porostů v imisní oblasti. Část: Stav výživy náhradních porostů břízy v imisní oblasti Krušných hor. Výzkumná zpráva. Lesnická a dřevařská fakulta MZLU, Brno. 1996.
10. **Pfanz, H. Lomský, B. Hynek, V. Vollrath, B. Oppmann, B. Materna, J:** Obsah živin a fotosyntéza u listů buku (*Fagus sylvatica* L.) odebraných z porostů rostoucích na stanovištích s různým zatížením SO₂. Lesnictví, 39, 6. 1993.
11. **Przybylski T.:** Zagrożenie środowiska przyrodniczego w województwie Katowickim. Biblioteczka fundacji ekologicznej Silesia. Katowice. 1991.
12. **Särkelä, M. Nuorteva, P.:** Levels of aluminium, zinc, cadmium and mercury in some indicators plants growing in unpolluted Finnish Lapland. Ann. Bot. Fennici, 24. 1987.

Summary

The contents of selected elements in leaves of birch trees (*Betula verrucosa* Ehrh.) growing in the areas subjected to industrial air pollution in the Olkusz Region

In the areas of the Olkusz Forest District subjected to industrial air pollution originating from zinc and lead foundries of the Cracow Industrial Region there were conducted chemical analyses of the *Betula verrucosa* Ehrh. leaves. Samples were taken from four parcels located in different distances from the sources of pollution, i.e. 1 km, 5 km and 10 km. Examined were the contents of macroelements, microelements and heavy metals. The results indicate that the contents of a certain number of elements were different depending on the distance from the source of pollution. The contents of N, K and Cu in leaves were usually insufficient, the contents of S, P and Ca – optimal, Mg and Mn – optimal or over optimal, and the contents of Zn – over optimal. The content of Al was below its normal level, the contents of Pb and Cd were usually excessive. The comparison of the elements contents in birch leaves originating from the areas of Olkusz and those received from the Rudawy (Czech Republic) region indicates their strong differentiation in relation to the contents of Pb, Mg, Cd and Zn. It proves that different types of toxicity present in the regions of Olkusz and Rudawy have impact on the elements contents in the assimilative organs of birch trees.