

## Ocena akumulacji wybranych metali w glebach zbiorowisk żyznej buczyny z podzwiazku *Dentario glandulosae-Fagenion* na terenach chronionych o zróżnicowanej antropopresji

---

Estimate of cumulation of chosen metals in forb rich forest  
subaliances of *Dentario glandulosae-Fagenion* on the  
differential anthropogenic protected terrains

JOANNA PYTEL

**Summary.** The aim of the research was to present the cumulation of metals (Cu, Pb, Zn, Ni, Cd, Fe, Mn, Cr) in a forest stand of a forb-rich beechwood and evaluation of danger for researched ecosystems caused by metalize dust. The researches were taken in 10 differential anthropogenic areas: 9 nature reserves („Segiet”, „Parkowe”, „Smoleń”, „Cisów”, „Wykus”, „Świnia Góra”, „Perzowa Góra”, „Zamczysko”, „Pazurek”) and 1 nature-landscape complex “Repty Park and Drama Valley”.

The metals were marked by Atomic Absorption Spectrometry method. The results from the 0–10 cm surface soil samples were shown.

The results of the researches show that the elements contents in researched areas from Świętokrzyskie Mountains do accumulate analyzed elements in extent that are suitable for plants. It can be accounted as a model for similar researches and confirmed metals concentrations could be concerned as natural and consequent of physiological trees' requests.

**Key words:** accumulation, metals, soil, human impact.

*Dr Joanna Pytel, Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce, Polska; e-mail: askapytel@op.pl*

## WSTĘP

Lasy stanowią niezbędny czynnik równowagi ekologicznej, ciągłości życia, różnorodności krajobrazu, a także przyczyniają się do neutralizacji zanieczyszczeń, przez co przeciwdziałają degradacji środowiska. Zachowanie ekosystemów leśnych jest nieodzownym warunkiem ograniczenia procesów erozji gleb, zachowania zasobów i regulacji stosunków wodnych oraz ochrony krajobrazu (Kawałko i in. 2007). Aby lasy mogły skutecznie i bezpiecznie pełnić wymienione funkcje, niezbędne jest dokładne zbadanie skutków wywieranych przez różnorakie zanieczyszczenia, które nagromadziły się w nich przez dziesiątki lat industrializacji i urbanizacji. Badanie pokrywy glebowej parków krajobrazowych, jako obszarów chronionych, jest sposobem poznania zasad funkcjonowania całego środowiska przyrodniczego na danym terenie, ponieważ gleba stanowi ogniwo łączące elementy biotyczne z przyrodą nieożywioną (Klimowicz i in. 2004). Spośród wszystkich elementów środowiska gleba jest uznawana za najbardziej istotny receptor metali ciężkich. W glebie zanieczyszczenia pozostają przez wiele lat i mogą stanowić tzw. bombę ekologiczną, która po długim okresie „uśpienia”, przy nagłej zmianie warunków środowiskowych, może doprowadzić do katastrofy ekologicznej. W większej mierze dotyczy to gleb leśnych, które zazwyczaj charakteryzują się kwaśnym odczynem, a zabiegi agrotechniczne są prawie niemożliwe (Strzyszc, Magiera 2003/2004). W odróżnieniu od gleb uprawnych są one stosunkowo mało zmieniane przez człowieka. Ich właściwości (w tym odczyn i zdolności buforowe) ukształtowane w ciągu wieków w ścisłym powiązaniu ze wszystkimi elementami środowiska przyrodniczego tylko lokalnie uległy głębokim zmianom spowodowanym antropogeniczną chemizacją (Pokojska 1998). Dlatego gleby leśne mogą stanowić punkt odniesienia („tło”) w porównawczych badaniach ekologicznych i monitoringowych (Kalembasa i in. 2007). Ilość metali ciężkich pochodzących z naturalnego źródła, jakimi są skały macierzyste, na ogół nie zagraża żyzności gleby. Nie pogarsza więc warunków wzrostu roślin i ich jakości. Inaczej sytuacja wygląda, gdy gleba wzbogacana jest w metale ciężkie, niekiedy w ilości wielokrotnie wyższej od ich naturalnej zawartości. Wówczas mogą one wpływać szkodliwie na właściwości biologiczne gleby, działać toksycznie na rośliny oraz powodować skażenie wód gruntowych (Gorlach 1995). Całkowita zawartość pierwiastków śladowych w glebie jest nie tylko pochodną zasobności skały macierzystej. Odzwierciedla również procesy zachodzące w glebie oraz zewnętrzne zjawiska na nią oddziałujące, np. zanieczyszczenia powietrza i zmiany składu opadu atmosferycznych. Procesy te znajdują swoje odbicie w zróżnicowaniu form, w jakich pierwiastki występują w glebie (Kabała i in. 1998). Koncentracje pierwiastków śladowych

w poziomach glebowych są wypadkową składu litologiczno-petrograficznego podłoża skalnego (skał inwitu lub allochtonicznych, pochodzenia wodnolodowcowego), czynników edaficznych oraz zasięgu i składu zanieczyszczeń atmosferycznych (Dunn 1986, 1989; Migaszewski, Gałuszka 1998; Migaszewski i in. 2001). Z zaopatrywania się korzeni roślin w pierwiastki biogenne z roztworu glebowego wynika decydująca rola jego składu chemicznego w kształtowaniu stanów zbiorowisk roślinnych oraz całych ekosystemów leśnych (Kowalkowski 2002). Metale dostające się do gleb mogą ulegać przeróżnym transformacjom. Od odkładania się nierozpuszczalnych związków o stosunkowo nikłym oddziaływaniu na rośliny i mikroorganizmy, do występowania w bardzo aktywnej zjonizowanej formie. Metale mogą tworzyć połączenia chelatowe z substancjami humusowymi, które stanowią ochronę przed toksycznym oddziaływaniem jonów metali (Kabata-Pendias, Pendias 1999). Bioprzyzwajalność metali ciężkich oraz ich migracja w łańcuchu troficznym są uwarunkowane wieloma czynnikami, w tym m.in.: koncentracją i specją chemiczną, pH gleby, warunkami redoks występującymi w glebach, zawartością próchnicy, minerałów ilastych oraz tlenków żelaza, glinu, manganu, a także interakcjami z innymi pierwiastkami (Basta i in. 2005). W środowisku kwaśnym, czy w niekorzystnych warunkach redoks, zwiększa się biodostępność wielu metali ciężkich. Nawet w środowisku uznanym za czyste chemicznie (tj. w warunkach naturalnej fizjologicznej zawartości metali w glebie) rośliny mogą je gromadzić w nadmiarze (Leyral i in. 1997; Niesiobędzka i Krajewska 2007; Jamnická i in. 2007; Gorlach 1995; Kabata-Pendias, Pendias 1999; Laureysens i in. 2004; Basta i in. 2005).

Celem niniejszego opracowania było ustalenie poziomu akumulacji wybranych metali (Cu, Pb, Zn, Ni, Cd, Fe, Mn, Cr) w glebach drzewostanu żyźnej buczyny oraz ocena zagrożenia badanych ekosystemów przez emisje zawierające pyły metalonośne.

#### CHARAKTERYSTYKA TERENÓW BADAŃ ORAZ OBIEKT BADAŃ

Tereny badawcze zostały wyznaczone w obrębie trzech województw: śląskiego, małopolskiego i świętokrzyskiego, na obszarach objętych ochroną prawną. Wybrano obszary chronione ze względu na najlepsze w dzisiejszych warunkach możliwości utrzymania samoregulacji procesów przyrodniczych. Badania przeprowadzono na 10 obszarach chronionych, w tym w dziewięciu rezerwach przyrody: „Segiet”, „Parkowe”, „Smoleń”, „Cisów”, „Wykus”, „Świnia Góra”, „Perzowa Góra”, „Zamczysko”, „Pazurek” oraz w Zespole Przyrodniczo-Krajobrazowym „Park w Reptach i Dolina Dramy”.

Obiektem badań były gleby buczyny karpackiej *Dentario glandulosae-Fagenion*. Według Matuszkiewicza (2006) podzwiązek *Dentario glandulosae-Fagenion* Oberg. et Müller 1984, zaliczany do związku *Fagion sylvaticae* Luquet 1926. Reprezentantami tego podzwiązku są dwa zespoły żyznych buczyn: karpackiej *Dentario glandulosae-Fagetum* i sudeckiej *Dentario enneaphyllidis-Fagetum*.



Ryc. 1. Lokalizacja stanowisk badawczych. Kolejnymi cyframi arabskimi zaznaczono: Świnia Góra (1), Perzowa Góra (2), Zamczysko (3), Cisów (4), Wykus (5) – województwo świętokrzyskie, Repty (6), Parkowe (7), Segiet (8), Smoleń (9) – województwo śląskie, Pazurek (10) – województwo małopolskie.

Źródło: <http://maps.google.com/>.

Fig. 1. Location of the researching positions

Source: <http://maps.google.com/>.

#### DANE MONITORINGOWE O ZANIECZYSZCZENIACH POWIERZCHNI BADAWCZYCH

Badane tereny są narażone na działanie zanieczyszczeń emitowanych przez zlokalizowane w ich pobliżu zakłady przemysłowe. Dane zawarte w tabeli 1 jednoznacznie wskazują, że oprócz lokalnych emitatorów wpływ na stan środowiska mają też zanieczyszczenia pochodzące z ościennych województw. Z takim przypadkiem mamy do czynienia na terenie województwa świętokrzyskiego, gdzie nie ma zakładów produkujących pyły zawierające metale ciężkie, zwłaszcza kadm i cynk. Pomimo to jest obecna emisja zanieczyszczeń zawierająca te pierwiastki.

Tabela 1. Całkowita emisja metali ciężkich z uwzględnieniem zakładów szczególnie uciążliwych w województwach: śląskim, świętokrzyskim i małopolskim wyrażone w kg – w 2002 roku

Table 1. All-out emission of heavy metal with taking into consideration plant (bet) in provinces oppressive particularly Silesian, Świętokrzyskie and in (to) of Lesser Poland Voivodeship express kg in 2002 year

Województwo <i>Province</i>	Całkowita emisja metali ciężkich, kg <i>All-out emission of heavy metal, kg</i>	Chrom <i>Chromium</i>	Cynk <i>Zinc</i>	Kadm <i>Cadmium</i>	Mangan <i>Manganese</i>	Nikiel <i>Nickel</i>	Ołów <i>Lead</i>
śląskie	w danym województwie	22843	341242	8488	40888	37958	156777
	z zakładów szczególnie uciążliwych	4037	51699	1577	1416	198	60960
świętokrzyskie	w danym województwie	2517	25330	1207	5587	7456	9951
	z zakładów szczególnie uciążliwych	7	nw	nw	9	1	3
małopolskie	w danym województwie	7193	114021	3737	16370	18742	55629
	z zakładów szczególnie uciążliwych	1208	5293	110	4865	108	2021

Skróty w tabelach oznaczają: nw – nie wykryto.

In the table shortcut is appoint: nw – now detection.

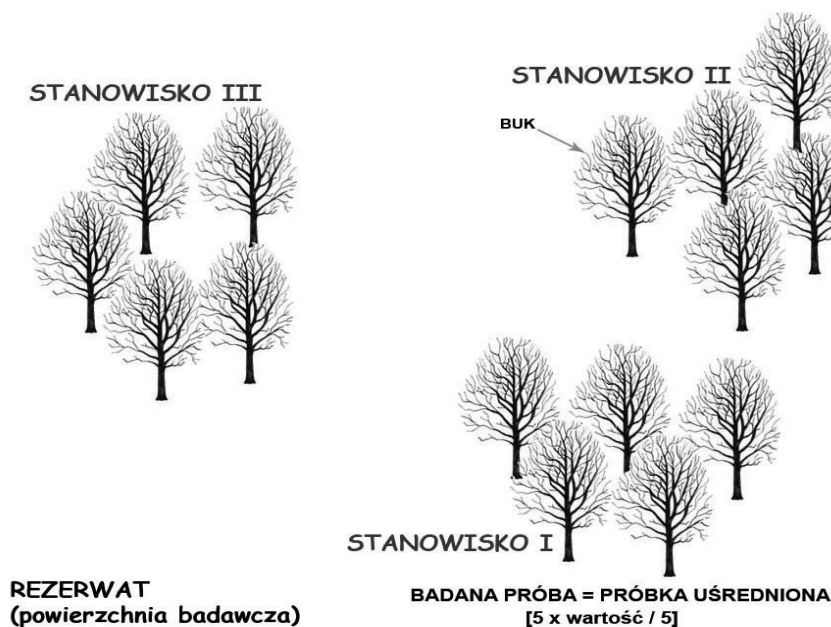
Dane wg: Ochrona środowiska. 2004. Informacje i opracowania statystyczne. Warszawa 2004.

#### MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

W każdym z terenów badawczych („Zamczysko”, „Świnia Góra”, „Perzowa Góra”, „Wykus”, „Cisów”, „Pazurek”, „Smoleń”, „Parkowe”, „Segiet”, „Repty”)

wyznaczono powierzchnię 50 x 50 m (2500 m<sup>2</sup>). Materiał roślinny i glebowy zebrano z każdego kwadratu na przełomie sierpnia i września 2004 roku.

Najwyższa koncentracja metali, głównie ołowiu i manganu gleb ekosystemów leśnych, następuje w poziomie organicznym gleb, co wiąże się m.in. z przyswajaniem tych pierwiastków przez mikroorganizmy, a także przez mezofaunę (Niemyska-Łukaszuk 1992; Ciepał 1999). W związku z tym próbki do badań pobierano z wierzchniej warstwy glebowej (0–10 cm). Próbkę gleby do analiz pobierano z trzech punktów w każdym rezerwacie z poziomu 0–10 cm za pomocą laski glebowej o średnicy 5 cm. Na jedną próbkę średnią składało się 5 pobrań podróbek pochodzących z otoczenia drzew, z którego pobierano materiał roślinny.



Ryc. 2. Schemat poboru próbek gleby (rysunek autorki)

Fig. 2. Soil samples collection diagram (drawing of the author)

Glebę pobierano bez ściółki, a także bez nierozłożonej substancji organicznej (Ostrowska i in. 1991). Każda z próbek glebowych miała wagę około 1 kg, została pobrana do płóciennych worków, a następnie suszona w temperaturze pokojowej (od 20 do 27°C).

Po wysuszeniu usunięto zanieczyszczenia (liście, gałązki) i przesiano glebę przez sito o średnicy oczek 1 mm. Z każdej próbki sporządzono po trzy naważki 10-gramowe, które umieszczono w kolbach stożkowych. Próbki zalano 100 ml 10-procentowego kwasu azotowego, a następnie wytrząsano przez 1 godzinę. Zawartość kolb sączono przez sączek gęsty. W przesączu oznaczano zawartość metali metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej, metodą płomieniową (Ostrowska i in. 1991; Gworek i in. 1999) na aparacie SOLAR M firmy Thermo. Każdą próbkę oznaczaną w kierunku metali wykonano w trzech powtórzeniach. Jakość procesu analizy próbek sprawdzano za pomocą: badania ślepej próbki, badania prób kontrolnych (wzorców), fortyfikowanych próbek ślepych z dodatkiem wzorca, przy granicy wykrywalności na poziomie: Pb – 0,02 mg/dm<sup>3</sup>, Cd – 0,005 mg/dm<sup>3</sup>, Cu – 0,05 mg/dm<sup>3</sup>, Zn – 0,03 mg/dm<sup>3</sup>, Cr – 0,010 mg/dm<sup>3</sup>, Fe – 0,1 mg/dm<sup>3</sup>, Mn – 0,005 mg/dm<sup>3</sup>, Ni – 0,1 mg/dm<sup>3</sup> oraz materiału certyfikowanego: RTC – CRm 051 – GLEBA (o zawartości pierwiastków w materiale: Pb – 44,0 mg/kg, Cd – 42,20 mg/kg, Cu – 58,50 mg/kg, Zn – 44,00 mg/kg, Cr – 246,00 mg/kg, Fe – 4520,0 mg/kg, Mn – 757,0 mg/kg, Ni – 96,8 mg/kg) oraz kontaminowanych materiałów certyfikowanych: RTC – CRm 051 – GLEBA. Przewodność wody używanej do analiz nie przekraczała 25 µS/cm.

#### REZULTATY BADAŃ I DYSKUSJA

Zachowanie się metali ciężkich w glebach jest wypadkową ich właściwości oraz wielu czynników zewnętrznych: klimatycznych, biologicznych i antropogenicznych. Oceniając stopień obciążenia gleby metalami, należy wziąć pod uwagę: pochodzenie, właściwości geochemiczne oraz naturalną zawartość poszczególnych metali w glebach.

Wartości graniczne podane w tabeli 2 mogą stanowić odniesienie do stopnia zanieczyszczenia gleb na badanych powierzchniach (Kabata-Pendias, Piotrowska i in. 1995).

Tabela 2. Naturalne zawartości metali i ich wartości graniczne w powierzchniowych warstwach różnych rodzajów gleb

Table 2. Natural contents of metals and in surface different coats of kind of soils values boundary

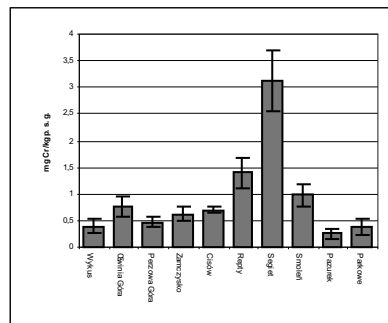
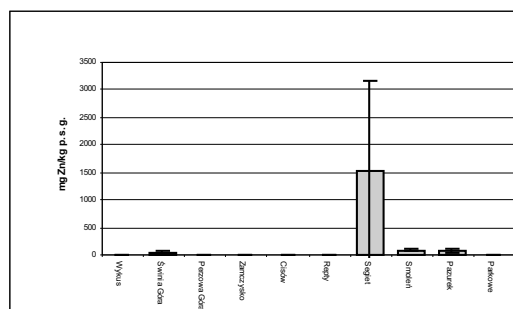
Metal <i>Metal</i>	Naturalna zawartość metali [mg/kg suchej masy] <i>Natural contents of metal</i> [mg of metal/kg of air-dry soil]	Wartości graniczne w glebie dla naturalnych zawartości metali w powierzchniowych warstwach różnych gatunków gleb [mg/kg suchej masy] <i>Boundary values in soil for natural contents of metal</i> <i>in surface different coats of</i> <i>(layers of) sorts of soils [mg of metal/kg of air-dry soil]</i>
Zn	6,6–79,6	59–101
Cr	1,6–30,0	20–43
Ni	1,0–24,0	9,6–33,9
Cu	1,0–19,4	10,2–21,7
Pb	3,1–30,0	22,3–38,9
Mn	30,0–645	412–771
Fe*	0,11–2,24	0,93–3,62
Cd	0,04–0,5	0,42–0,71

\* Wartości dla żelaza podano w procentach.

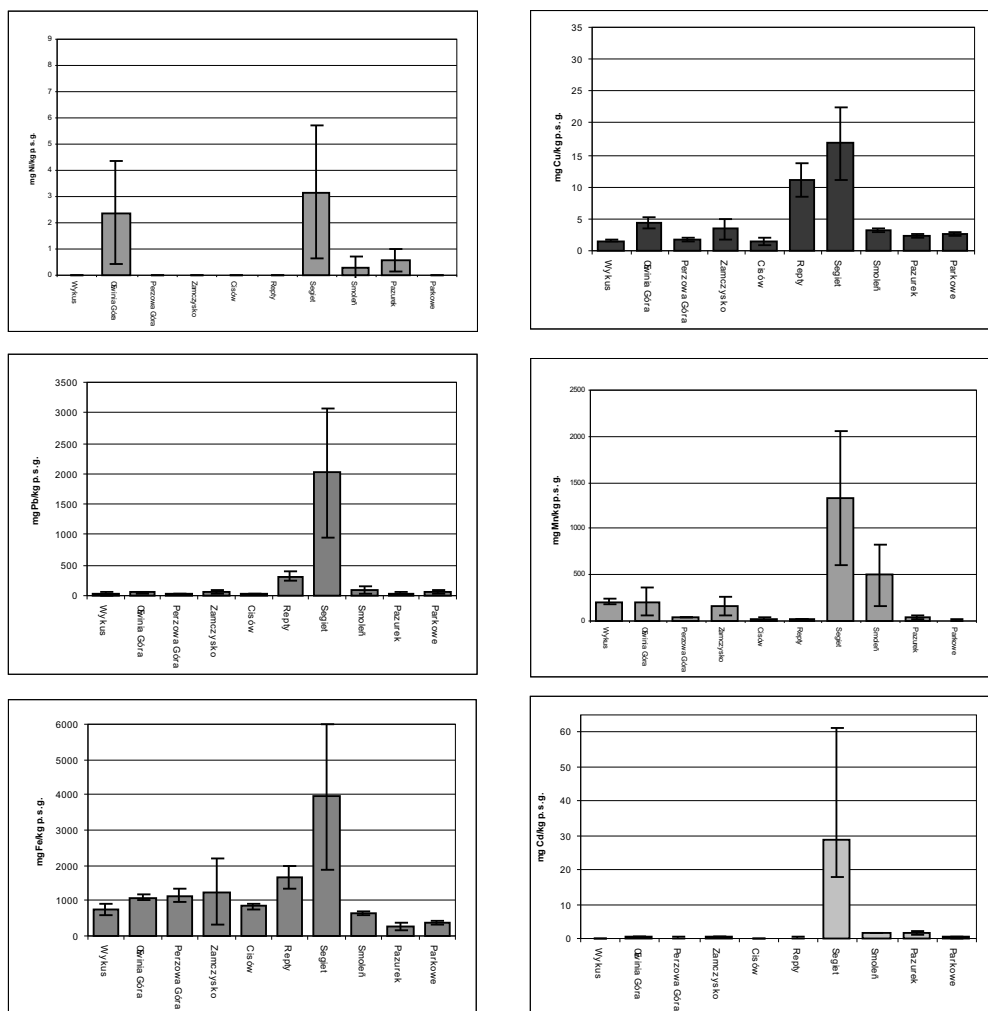
\* The Fe value pass of percent.

Źródło: Kabata-Pendias, Piotrowska i in. 1995.

Średnie stężenia ( $\bar{X}$ ) analizowanych metali w glebie oraz wartości odchylenia standardowego (SD) przedstawia rycina 3.







Ryc. 3. Zawartość badanych metali w wierzchniej warstwie (0–10 cm) gleby w badanych rezerwach [mg metalu/kg powietrznie suchej gleby]

Fig. 3. Researched metals cumulation in chosen reserves surface soil (0–10 cm) [mg of metal/kg of air-dry soil]

Cynk należy do grupy pierwiastków niosących ze sobą duże ryzyko zachwiania równowagi chemicznej w biosferze, ponieważ posiada dużą zdolność kumulacji w środowisku. Jest jednym z najbardziej ruchliwych metali w glebie. Wpływają na to zarówno jego formy wymienne, jak i związki z substancją orga-

niczną. Pierwiastek ten występuje w glebach w formach łatwo rozpuszczalnych (Dmuchański, Sołtykiewicz 2007).

Naturalna zawartość cynku w glebie waha się od 6,6 do 79,6 mg/kg, przy czym maksymalna wartość graniczna naturalnej zawartości to 101 mg/kg. Koncentracja cynku na dwóch powierzchniach badawczych „Segiet” i „Smoleń” przekracza naturalną zawartość w glebie, przy czym stężenie w rezerwacie „Smoleń” (89,333 mg/kg) mieści się poniżej wartości granicznej. Natomiast obciążenie cynkiem gleby na powierzchni badawczej „Segiet” (1533,333 mg/kg) klasyfikuje ją do III klasy zanieczyszczeń tym pierwiastkiem. Jeśli chodzi o pozostałe stanowiska badawcze, to zawartość cynku mieści się w granicach naturalnej koncentracji tego metalu w glebie. Pod względem zanieczyszczenia cynkiem uzyskane wyniki są niższe od koncentracji tego metalu przedstawionych przez Łukasik (2006): w rezerwacie „Segiet” (156 mg/kg), w rezerwacie „Parkowe” (36 mg/kg), w rezerwacie „Pazurek” (103 mg/kg) oraz „Repty” (112 mg/kg). Uzyskane wyniki (podane w analogicznej kolejności) wynosiły: „Segiet” (1533,333 mg/kg), „Parkowe” (11,811 mg/kg), „Pazurek” (66,666 mg/kg) oraz „Repty” (15,822 mg/kg). Dziesięciokrotnie wyższa koncentracja cynku w rezerwacie „Segiet” uzyskana w niniejszej pracy w porównaniu z badaniami prowadzonymi przez Łukasik (2006) może wynikać z tego, że analizowane próbki gleb pochodziły ze stanowisk wyznaczonych na terenach, na których pozyskiwano od średniowiecza rudy srebra, ołowiu i cynku, czego pozostałością są liczne leje, zapadliska po szybach i hałdy. Za wyjątkiem koncentracji cynku oznaczonego na powierzchni „Segiet” uzyskane wyniki były kilkakrotnie niższe od uzyskanych przez Łukasik (2006) w roku 2002 i 2003. Z kolei Ciepał (1999) podaje, że w glebach rezerwatu „Smoleń” zawartość cynku wynosiła od 30 do 120 mg/kg suchej masy, co wskazuje na podobny poziom zanieczyszczenia gleb dla tego obszaru jak w niniejszym opracowaniu. Wysoką zawartość cynku w glebach stwierdzono w rejonach uprzemysłowionych („Segiet” – 1533,333 mg/kg), natomiast w rejonach, gdzie brak jest hutnictwa metali oraz przemysłu energetycznego jego ilość mieściła się w zakresie naturalnej zawartości. Spełniała również wymagania wyznaczone dla gleb z obszarów chronionych, zawartych w Dzienniku Ustaw 02.165.1359.2002.

**Chrom** w glebie w warunkach naturalnych łatwo przechodzi w formy trudno dostępne dla roślin, dzięki czemu ograniczony jest jego toksyczny wpływ na zbiorowiska roślinne. Na ogół obecność chromu w glebach jest pochodną zawartości tego pierwiastka w skałach macierzystych. Oprócz pierwotnego źródła chromu, jakim są minerały, może on być pochodzenia antropogenicznego – źródło chromu stanowi przede wszystkim przemysł metalurgiczny, farbiarski

i garbarski oraz składowanie odpadów przemysłowych (Kabata-Pendias 1999). Naturalna zawartość chromu (Kabata-Pendias i wsp. 1995) wynosi od 1,6 mg/kg do 30 mg/kg, a wartość maksymalna dla terenów chronionych to 50 mg/kg. Pozwala to zakwalifikować wszystkie wyniki analizowanych próbek (od 0,388 mg/kg do 3,111 mg/kg) do wartości naturalnych dla tego pierwiastka.

Za główne źródło zanieczyszczeń **niklem** uważa się przede wszystkim przemysł hutniczy oraz spalanie węgla i paliw płynnych (Szatanik-Kloc 2004). Zawartość niklu ogólnego w badanych glebach nie przekraczała jego wartości naturalnej wynoszącej od 1,0 do 24 mg/kg. Zawartość tego pierwiastka w badanych próbkach glebowych spełniała również standardy określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (DzU 02.165.1359). W sześciu przypadkach („Wykus”, „Perzowa Góra”, „Zamczysko”, „Cisów” – województwo świętokrzyskie, „Repty” i „Parkowe” – województwo śląskie) nie wykryto obecności tego pierwiastka w analizowanych próbkach. Wyniki te są podobne do otrzymanych przez Malinowskiego (2007) badającego zawartość niklu w glebach Parku Narodowego „Ujście Warty”. Autor ten podał w swojej pracy wielkości stężeń niklu nieprzekraczające wartości naturalnych, czyli 1,0–24,0 mg/kg.

Zawartość **miedzi** w glebach zależy ściśle od rodzaju i składu granulometrycznego gleby (Kabata-Pendias i in. 1995). Podstawowym źródłem zanieczyszczenia gleb tym pierwiastkiem jest hutnictwo miedzi, a także nieumiejętne stosowanie mikronawozów (Kawałko i in. 2007). Obecność miedzi w analizowanych glebach zawiera się w przedziale od 1,466 mg/kg do 16,822 mg/kg. Wszystkie wyniki uzyskane w niniejszej pracy mieszczą się w zakresie naturalnej koncentracji (1,0–19,4 mg/kg) miedzi w wierzchnich warstwach gleb Polski (Kabata-Pendias i in. 1995). W badaniach Łukasik (2006), która badała rezerваты na Wyżynie Śląsko-Krakowskiej, uzyskano podobne wyniki. Ta autorka również nie stwierdziła przekroczenia naturalnej ilości miedzi w badanych próbkach. Uzyskała wyniki od 4,5 mg/kg do 14 mg/kg na obszarach rezerwatów „Pazurek”, „Repty”, „Segiet” i „Parkowe”.

Ze względu na słabą migrację **ołowiu** jego naturalne rozmieszczenie w profilu glebowym odzwierciedla zawartość w skałach macierzystych i służy często jako wskaźnik prospekcji geochemicznej. Jego występowanie w powierzchniowych warstwach gleb jest związane w dużym stopniu z wpływem czynników antropogenicznych, a ilość ta jest przeważnie wyższa od zawartości naturalnej (Kawałko i in. 2007) określonej przez Kabatę-Pendias i in. (1995) na poziomie od 3,1 do 30 mg/kg, przy wartości granicznej 38,9 mg/kg. W zakresie naturalnej zawartości ołowiu badania przeprowadzone w tej pracy wykazały, że

zakresu maksymalnej naturalnej zawartości nie przekroczyły gleby rezerwatów „Cisów” (19,988 mg/kg) i „Perzowa Góra” (25,333 mg/kg). Podanej wartości granicznej nie przekraczały również gleby rezerwatu „Wykus” (37,200 mg/kg), nieznaczne przekroczenie odnotowano w rezerwacie „Świnia Góra” (49,111 mg/kg) i „Zamczysko” (56,000 mg/kg). Gleby z tych trzech obszarów mieściły się w standardach wytyczonych w rozporządzeniu dotyczącym standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi z 2002 roku (DzU 02.165.1359), w którym określono maksymalną zawartość ołowiu dla terenów chronionych na poziomie 50 mg/kg. Wartości stężeń uzyskane na terenach Wyżyny Śląskiej od 38,666 mg/kg do 2016 mg/kg, tylko w wypadku najniższej ilości, tzn. 38,666 mg/kg („Pazurek”), nie przekraczają przytoczonych wskaźników. Pozostałe otrzymane wyniki z województw śląskiego i małopolskiego (od 89,000 do 2016,667 mg/kg) są znacznie wyższe. Można przypuszczać, że na podwyższoną koncentrację ołowiu w glebach tych dwóch województw istotny wpływ mają czynniki antropogeniczne, a w przypadku „Segietu” trwająca przez blisko 800 lat działalność górnicza – wydobywanie rudy srebra, cynku i ołowiu. Zbliżone wyniki dla gleb rezerwatu „Repty” (161–203 mg/kg) otrzymała Łukasik (2006). Natomiast dane pochodzące z rezerwatu „Pazurek”, „Segiet” oraz „Parkowe” były niższe od uzyskanych w niniejszej pracy. Ciepał (1992) podaje, że zawartość ołowiu w górnym poziomie gleb będących pod presją przemysłu (województwo śląskie) waha się w przedziale od 110 do 1600 mg/kg, a w rejonach hut cynku i ołowiu może sięgać 5000 mg/kg (Lorek 1993). Uzyskane wyniki mieszczą się w granicach stężeń podawanych przez cytowanych wyżej autorów. Dotyczy to zwłaszcza powierzchni rezerwatów „Repty”, „Smoleń” i „Segiet”, gdzie analizy wykazały od 89,000 do 2016,667 mg/kg. Z kolei wyniki uzyskane na terenach niepoddanych antropopresji, są wielokrotnie niższe od otrzymywanych na terenach przemysłowych. Palowski (1987) odnotował w Puszczy Białowieskiej stężenie ołowiu na poziomie od 19 do 22 mg/kg, a Ciepał i Rycman (1996) na terenie Roztoczańskiego Parku Narodowego określili ilość ołowiu na 5 mg/kg. Również wyniki uzyskane przez Biernacką i Małuszyńskiego (2007) z obszarów dawnego województwa łomżyńskiego zawierały się w przedziale od 3,59 do 185 mg/kg, co potwierdza zależność między stopniem uprzemysłowienia a obecnością ołowiu w glebach. Także wyniki Terelaka i wsp. (1995, 1997) oraz Skwarzyło-Bednarz (2006) z Roztoczańskiego Parku Narodowego uzasadniają tę tezę. Większość autorów uważa, że ważną rolę w nagromadzeniu ołowiu w glebach odgrywa czynnik antropogeniczny związany głównie z działalnością hutniczo-wydobywczą (Terelak i in. 1995, 1997). Wykonane badania zawartości ołowiu w glebie przedstawione w niniejszej pracy (województwa: śląskie i małopolskie od 17,6 do 288 mg/kg

oraz teren kontrolny: województwo świętokrzyskie od 19,988 do 56 mg/kg) potwierdzają rezultaty uzyskiwane przez innych autorów badań prowadzonych na terenach przemysłowych oraz niepoddanych presji przemysłu.

**Mangan** według 6-stopniowej klasyfikacji Kabaty-Pendias i in. (1995) nie jest traktowany jako pierwiastek stanowiący zagrożenie. Jednak według Maiza i in. (1997) o toksycznym oddziaływaniu można mówić po przekroczeniu 1500 mg/kg. Na terenach chronionych według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (DzU 02.165.1359) mangan do 600 mg/kg stanowi wartość dopuszczalną dla gleb objętych różnymi formami ochrony.

W niniejszej pracy w jednym punkcie odnotowano wartość zbliżoną do stężenia toksycznego. Dotyczy to rezerwatu „Segiet” (1334,444 mg/kg). Pozostałe wyniki mieściły się w granicach naturalnej zawartości manganu w glebie (od 30,0 do 645,0 mg/kg według danych Kabaty-Pendias i wsp. (1995)). Wynik uzyskany dla rezerwatu „Segiet” popiera tezę Kabaty-Pendias i Pendias (1993), że większe ilości tego pierwiastka mogą się gromadzić w rejonach przemysłowych. Otrzymana dla „Segietu” ilość manganu w glebie była zbliżona do wyniku otrzymanego przez Ciepała (1996) – 980 mg/kg i wyższa (381 mg/kg) od uzyskanych przez Łukasik (2006).

Podobnie jak mangan również **żelazo** według Maiza i wsp. (1997) nie jest traktowane jako pierwiastek stanowiący zagrożenie. Tlenki żelaza stanowią istotny składnik glebowego kompleksu sorpcyjnego i absorbują toksyczne jony metali na powierzchni cząstek, a siła ich wiązania rośnie wraz ze wzrostem odczynu gleby (Gambuś 1998; Łukasik 2006). Wszystkie związki żelaza są mało stabilne (Ciepał 1996). Według Kabaty-Pendias (1993, 1999) oraz Kabaty-Pendias i wsp. (1995) naturalna zawartość żelaza w glebie wynosi około 470 mg/kg.

W próbkach pochodzących z rezerwatów województwa świętokrzyskiego stwierdzono od 737,967 do 1788,788 mg/kg, tak więc poziom ten przekraczał 2-3-krotnie wartości naturalne, ale mimo to wyniki nie były wyższe od dopuszczalnego stężenia tego pierwiastka na terenach chronionych (DzU 02.165.1359), czyli 3000 mg/kg. Tę krytyczną wartość przekroczyły jedynie próbki z rezerwatu „Segiet” (3938,889 mg/kg). Obciążenie w dwóch rezerwach Wyżyny Śląskiej: „Pazurek” (251,111 mg/kg) oraz „Parkowe” (374,0 mg/kg), mieściły się w granicach naturalnej zawartości tego pierwiastka. Wydaje się, że wyższa zawartość żelaza na terenach niepoddanych antropopresji (Góry Świętokrzyskie) w porównaniu z rezerwatami „Pazurek” i „Parkowe” (Wyżyna Śląska) jest spowodowana naturalną, większą zawartością tego pierwiastka w Górach Świętokrzyskich, które były „kolebką” hutnictwa i wydobywania rud żelaza w Polsce.

Naturalna zawartość **kadm**u w glebach wynosi od 0,04 do 0,50 mg/kg suchej masy. Wartość graniczna naturalnej zawartości kadmu stanowi przedział od 0,42 do 0,71 mg/kg suchej masy (Kabata-Pendias i in. 1995). Wartość dopuszczalna według Rozporządzenia Ministra Środowiska (2002) dla terenów chronionych to 1,0 mg/kg suchej masy. Wyniki uzyskane w niniejszej pracy pozwalają zakwalifikować 9 spośród 10 badanych rezerwatów (za wyjątkiem rezerwatu „Segiet”) do gleb charakteryzujących się zawartością kadmu poniżej granicy akceptowalnej dla gleb z regionów objętych ochroną. Obciążenie kadmem rezerwatu „Segiet” (12,200 mg/kg) dwunastokrotnie przekroczyło dopuszczalny próg ilości kadmu na terenach chronionych. Uzyskane wyniki były wyższe od uzyskanych przez Łukasik (2006) na tym obszarze. Podane przez wymienioną autorkę dane wynosiły od 3,2 do 4,8 mg/kg na różnych głębokościach profilu glebowego. Otrzymane w niniejszej pracy wyniki są zbliżone do podawanych przez Pomierny (2007) z gleb wokół „Huty Katowice”, położonych w bezpośrednim sąsiedztwie emitora. Odnotowała ona 11,03 mg/kg. Podobne wyniki uzyskane przez tę autorkę z okolic o tak silnej presji przemysłu są niewątpliwym dowodem na to, że gleby rezerwatu „Segiet” poddawane są równie silnej presji. Podobne maksymalne stężenie kadmu (11,67 mg/kg) odnotowali Biernacka i Małuszyński (2007) w odległości około 5 km od „Huty Katowice”, natomiast na terenach niepoddanych antropopresji, około 5 km od Łomży, zanotowali oni wartości od 0,10 mg/kg do 1,67 mg/kg.

#### WNIOSKI

1. Na stanowiskach badawczych będących w zasięgu wieloletnich imisji antropogenicznych (rezerwaty położone w województwie małopolskim oraz śląskim) stwierdzono gromadzenie się metali ciężkich w wierzchnich (0–10 cm) warstwach gleb. Dotyczy to zwłaszcza kumulacji cynku, kadmu i ołowiu w rezerwacie „Segiet”, chromu oraz ołowiu w rezerwacie „Smoleń”. W przypadku rezerwatu „Segiet” zawartość ołowiu i cynku jest wynikiem prowadzenia do końca XIX wieku wydobycia rud wymienionych pierwiastków.
2. Zawartości badanych pierwiastków w glebach położonych w Górach Świętokrzyskich nie przekraczały wartości uznawanych za naturalne i spełniały standardy dla gleb na obszarach chronionych.
3. Powierzchnie badawcze położone w Górach Świętokrzyskich gromadziły ilość analizowanych pierwiastków nieprzekraczającą wartości dopuszczalnych dla roślin. Dlatego można je traktować jako obszary kontrolne dla tego typu ba-

dań, a stwierdzone koncentracje metali można uznać za naturalne i wynikające z zapotrzebowania fizjologicznego drzew.

### Literatura

- Basta N.T., Ryan J.A., Chaney R.L., 2005. Trace element chemistry in residual treated soil: key concepts and metal bioavailability. *J. Environ. Qual.* 34: 49–63.
- Biernacka E., Małuszyński M.J., 2007. Formy ołowiu i kadmu w wierzchnich warstwach gleb dwóch wybranych obszarów o różnym stopniu zanieczyszczenia środowiska. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych. Instytut Ochrony Środowiska. Warszawa.* 31: 101–105.
- Ciepał R., 1992. Przenikanie S, Pb, Cd, Zn, Cu i Fe do biomasy oraz gleby ekosystemu leśnego (na przykładzie wschodniej części województwa katowickiego). Znaczenie bioindykacyjne. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego. *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach.* Katowice. 1319: 1–106.
- Ciepał R., 1999. Kumulacja metali ciężkich i siarki w roślinach wybranych gatunków oraz glebie jako wskaźnik stanu skażenia środowiska terenów chronionych województwa śląskiego i małopolskiego. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego. *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach.* Katowice. 1774: 1–161.
- Ciepał R., Rycman E., 1996. Ocena zagrożenia metalami ciężkimi i siarką Roztoczańskiego Parku Narodowego na podstawie analizy chemicznej liści i szpilek wybranych gatunków roślin. *Acta Biol. Sil.* 28(45): 26–35.
- Dmochowski W., Sołtykiewicz E., 2007. Hiperakumulacja cynku w liściach brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth). *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 31: 209–214.
- Gambuś F., 1998. The influence of soil reaction on solubility of heavy metals in soil and their availability to plants. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 456: 71–81.
- Gorlach E., 1995. Metale ciężkie jako czynnik zagrażający żyzności gleby. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 421a: 113–122.
- Główny Urząd statystyczny. 2005. *Ochrona Środowiska 2004.* Warszawa.
- Gworek B., Maciaszek D., Pieńkowska U., 1999. Zastosowanie techniki mikrofalowej do oznaczania pierwiastków w materiale glebowym – badania porównawcze. *Rocz. Gleb.* 50(1/2): 127–134.
- Jamnická G., Bučinová K., Havranová I., Urban A., 2007. Current state of mineral nutrition and risk elements in a beech ecosystem situated near the aluminium smelter in Ždiar nad Hronom. Central Slovakia. *Forest Ecology and Management.* 248: 26–35.

- Kabała C., Karczewska A., Szerszeń L., 1998. Formy pierwiastków śladowych w glebach leśnych Sudetów Zachodnich. *Geologiczne Problemy Karkonoszy*. Wyd. Acarus. Poznań: 213–216.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN. Warszawa: 1–400.
- Kabata-Pendias A., Piotrowska A., Motowicka-Terelak T., Maliszewska-Kordybach B., Filipiak K., Krakowiak A., Pietruch C., 1995. *Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. Metale ciężkie, siarka i WWA*. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa: 1–41.
- Kalembasa D., Becher M., Pakuła K., 2007. Profilowe zróżnicowanie zawartości ołowiu, chromu i kadmu w leśnych glebach bielcowoziemnych na Nizinie Południowopodlaskiej. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 520: 465–472.
- Kawałko D., Kaszubkiewicz J., Woźniczka P., 2007. Zawartość metali ciężkich w glebach wybranych siedlisk leśnych na terenie Parku Krajobrazowego „Dolina Jezierzycy” 2007. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych Instytut Ochrony Środowiska*. Warszawa. 31: 23–27.
- Klimowicz Z., Dębicki R., Pyl A., 2004. Wybrane właściwości gleb bielcowych na terenie Parku Krajobrazowego „Podlaski Przełom Bugu”. *Annales UMCS. Sec. B. LIX*: 181–191.
- Kowalkowski A., 2002. Wskaźniki ekochemicznego stanu gleb leśnych zagrożonych przez zakwaszenie. *Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Kieleckie Towarzystwo Naukowe*. Kielce. 3: 31–43.
- Laureysens I., Blust R., De Temmerman L., Lemmens C., Ceulemans R., 2004. Clonal variation in heavy metal accumulation and biomass production in a popular coppice culture: i seasonal variation in leaf, wood and bark cocentration. *Environ. Pollut.* 131: 485–494.
- Leyral C., Turnau K., Haselwandter K., 1997. Effect of heavy metal pollution on mycorrhizal colonization and function: physiological, ecological and applied aspects. *Mycorrhiza*. 7(3): 139–153.
- Lorek E., 1993. Kierunek i dynamika zmian procesów degradacji środowiska pod wpływem antropopresji w rejonie Górnego Śląska. *Akademia Ekonomiczna w Katowicach*. Katowice: 1–106.
- Łukasik I., 2006. Degradacja starodrzewów bukowych *Luzulo pilosae-Fagetum* w warunkach zróżnicowanej antropopresji na Wyżynie Śląsko-Krakowskiej. *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach*. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego. Katowice. 2414: 1–145.
- Maiz I., Esnada V., Millan E., 1997. Evaluation of heavy metal availability in contaminated soils by short sequential extraction procedure. *Science of the Total Environment*. 2006: 107–115.



- Malinowski R., 2007. Zawartość metali ciężkich w glebach Parku Narodowego „Ujście Warty”. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*. 31: 40–45.
- Matuszkiewicz W., 2006. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
- Migaszewski Z., Gałuszka A., Świercz A., Kucharzyk J., 2001a. Element concentrations in soil land, plant bioindicators in selected habitats of the Holy Cross Mountains, Poland. *Water, Air, Soil Pollut.* 129(1–4): 369–386.
- Migaszewski Z.M., Gałuszka A., 1998. Biogeochemical Studies – the present state of knowledge. *Przegląd Geologiczny*. 46: 932–937.
- Niemyska-Łukaszuk J., 1992. Skład frakcyjny próchnicy i zawartość metali ciężkich w górnoreglowych bielicach boru świerkowego Babiej Góry. *Acta Agraria et Silvestria Series Silvestris*. 30: 53–61.
- Niesiobędzka K., Krajewska E., 2007. Akumulacja metali ciężkich w glebach i roślinności trawiastej przy trasach szybkiego ruchu. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych Instytut Ochrony Środowiska*. Warszawa. 31: 278–283.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z., 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Katalog. Instytut Ochrony Środowiska. Warszawa.
- Palowski B., 1987. Wpływ emisji przemysłowych huty „Katowice” na organy generatywne *Pinus sylvestris* L. *Acta Biol. Sil. Katowice*. 4(21): 58–68.
- Pokojska U., 1998. Zakwaszenie gleb leśnych, stan wiedzy i perspektywy badawcze. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 456: 63–70.
- Pomierny S., 2007. Ocena wybranych wskaźników ekologicznych w świeżych borach sosnowych zlokalizowanych wokół „Huty Katowice”. Rozprawa doktorska. Uniwersytet Śląski. Katowice: 1–176.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku, w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (DzU 02.165.1359).
- Skwaryło-Bednarz B., 2006. Ogólna zawartość wybranych metali ciężkich w glebach leśnych Roztoczańskiego Parku Narodowego (RPN). *Acta Agrophysica*. 8(3): 727–733.
- Strzyszczyk Z., Magiera T., 2003/2004. Ocena zanieczyszczeń gleb leśnych na podstawie podatności magnetycznej na przykładzie Nadleśnictwa Katowice. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa. Seria A*. 961: 19–31.
- Szatanik-Kloc A., 2004. Wpływ pH i stężenia wybranych metali ciężkich w glebie na ich zawartość w roślinach. *Acta Agrophysica*. 4(1): 177–183.
- Terelak H., Piotrowska M., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T., Budzyńska K., 1995. Zawartość metali ciężkich i siarki w glebach użytków rolnych Polski oraz ich zanieczyszczenie tymi składnikami. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 418: 45–60.

Terelak H., Stuczyński T., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., 1997. Zawartość Cd, Cu, Ni, Pb, Zn i S w glebach województwa katowickiego i Polski. *Archiwum Ochrony Środowiska*. 23, 3-4: 167-180.

<http://maps.google.com/>.