

**Katarzyna Szopka\*, Anna Karczewska\*, Cezary Kabała\*,  
Paweł Jezierski\*, Adam Bogacz\***

**ZAWARTOŚĆ RTĘCI W POZIOMACH POWIERZCHNIOWYCH GLEB  
LEŚNYCH KARKONOSKIEGO PARKU NARODOWEGO  
W REJONIE SZKLARSKIEJ PORĘBY**

**TOTAL MERCURY CONTENT IN THE SURFACE HORIZONS  
OF FOREST SOILS IN THE KARKONOSZE NATIONAL PARK NEAR  
SZKLARSKA PORĘBA**

**Słowa kluczowe:** rtęć, gleby leśne, gleby górskie.

**Key words:** mercury, forest soils, mountains soils.

*The aim of this paper was to present total mercury content in surface horizons of forest soil in the area of Karkonosze National Park near Łabski Szczyt. Soil samples were collected from 23 points of forest ecosystem monitoring. Soil samples were taken from the depths 0–0,1 m and 0,1–0,2 m, and the samples of forest floor were collected.*

*The total content of mercury was determined in samples with the AMA-254 spectrometr. Physicochemical properties of soils were determine by commonly used in soil science procedures. Relationships among total mercury content and pH in 1M KCl, organic matter and fraction <0,02 mm were evaluated by statistical calculations. The content of total mercury in examined soils varied fom 0,039 to 0,64 mg·kg<sup>-1</sup> s.m and it is higher in forest floor horizons than in 0–10 cm and 10–20 cm horizons. A significant positive correlation was found between the total mercury content and fraction <0,02 mm and content of organic matter.*

*The data on Hg concentrations in soils were discussed and evaluated in relation to Polish soil quality standards for protected areas.*

---

\* *Dr inż. Katarzyna Szopka, prof. dr hab. Anna Karczewska, dr hab. prof. UP Cezary Kabała, dr inż. Paweł Jezierski, dr hab. prof. UP Adam Bogacz – Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław; kontakt: Katarzyna.Szopka@up.wroc.pl*

## 1. WPROWADZENIE

Rtęć uważana jest za osobliwy pierwiastek chemiczny, przejawia bowiem szczególnie silną aktywność chemiczną i biologiczną oraz zmienność postaci występowania [Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999]. Jest to pierwiastek silnie rozproszony w skałach, występujący w największych ilościach w utworach o zwiększonych właściwościach sorpcyjnych, tzn. w łupkach węglanowych i bitumicznych oraz w glebach gliniastych i torfowych. Naturalna zawartość rtęci w glebach zawiera się w granicach 0,05–0,3 mg·kg<sup>-1</sup>. [Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999].

Wzrost stężenia rtęci może zachodzić w glebach zarówno pod wpływem czynników geologicznych (np. migracja rtęci ze złoża rudnego), jak i w wyniku działalności antropogenicznej [Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999].

Środowisko przyrodnicze Karkonoszy jest poddawane silnej antropopresji, wynikającej z emisji pyłów i gazów dalekiego zasięgu [Zwoździak i in. 1993, Skiba i in. 1994]. Pokrywa glebowa stanowi więc obszar zbiorczy zanieczyszczeń chemicznych transportowanych i wymywanych z atmosfery [Kmieć i in. 1993, Skiba i in. 1994].

Ekranizująca rola systemów górskich jest przyczyną znacznych akumulacji metali ciężkich w glebach górskich [Niemyska-Łukaszuk 1993]. Najważniejszym naturalnym źródłem metali ciężkich w glebach Karkonoszy jest skała macierzysta. Niektóre metale ciężkie występują w większych ilościach w skałach kwaśnych niż w zasadowych. Granit budujący masyw Karkonoszy jest skałą magmową kwaśną i zawiera m.in. zwiększone zawartości ołowiu. Powierzchniowe poziomy gleb, wzbogacone w substancję organiczną, są zazwyczaj bogatsze w metale ciężkie niż głębsze poziomy, co wynika z naturalnej bioakumulacji [Kabata-Pendias i Pendias 1999, Karczewska 2002].

Rozkład profilowy metali ciężkich w glebach jest modyfikowany przez procesy glebowe i przemiany biochemiczne [Karczewska 2002].

Celem pracy jest ocena zawartości rtęci w poziomach powierzchniowych gleb leśnych Karkonoskiego Parku Narodowego w rejonie Szklarskiej Poręby oraz próba określenia wpływu wybranych czynników na zróżnicowanie jej zawartości oraz mobilność w badanych glebach.

## 2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Próbki gleby pobrano z 23 stałych punktów monitoringowych Karkonoskiego Parku Narodowego (KPN), w obszarze lasów regla górnego w okolicy Szklarskiej Poręby. Probki pochodzą z sześciu transektów, oznaczonych w monitoringu KPN numerami: 57, 60, 63, 72, 75, 78, zlokalizowanych w okolicy Łabskiego Szczytu, z wysokości 1050 do 1245 m. n.p.m.

Monitoring na terenie Karkonoskiego Parku Narodowego jest prowadzony w systemie regularnych prostokątów o wymiarach 200 x 300 m. System składa się z 630 punktów położonych w strefie lasu i 230 punktów położonych w strefie subalpejskiej [Karczewska i in. 2006].

Próbki pobierane były z poszczególnych powierzchni monitoringowych, za pomocą laski glebowej w kilku (co najmniej trzech) powtórzeniach, w promieniu kilku metrów od środka powierzchni monitoringowej. Każdą z próbek uzyskiwano jako próbkę uśrednioną, otrzymaną w wyniku zmieszania materiału pobranego w promieniu około 2 m. Dla każdej powierzchni opisano w terenie warunki topograficzne i cechy makro- i mikroreliefu [Karczewska i in. 2007].

Próbki pobierano z trzech poziomów: z poziomu próchnicy nadkładowej oraz z warstw 0–10 cm i 10–20 cm. Problemem dotyczącym gleb górskich jest duży udział szkieletu, co często uniemożliwiało pobór próbek z poziomu 10–20 cm. Również brak próchnicy nadkładowej na terenach wylesionych (pod zbiorowiskami boru wysokogórskiego w reglu górnym) powodował brak poziomów ściółki w kilku punktach.

Badane gleby występowały pod drzewostanami o bardzo zróżnicowanym wieku. Znaczny udział w strukturze wiekowej drzewostanów na tym terenie stanowią drzewostany młodsze, których wiek jest związany ze stosowaniem odnowień drzewostanów zdegradowanych. Wiek tych drzewostanów waha się od kilku do 20 lat. Jednak kilka punktów monitoringowych (oznaczonych w systemie monitoringu KPN numerami: 57/60, 60/60, 63/60, 72/60, 78/56) występowało w drzewostanach ponad 100-letnich.

Opisane w terenie wysokości n.p.m. oraz podstawowe właściwości gleb zestawiono w tabeli 1.

Próbki zebrane w terenie zostały wysuszone, a następnie przesiane przez sito o średnicy oczek  $\varnothing$  1 mm. W próbkach oznaczono:

- 1) skład granulometryczny metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego,
- 2) zawartość  $C_{org}$  metodą Tiurina,
- 3) odczyn w  $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  KCl metodą potencjometryczną.

Całkowitą zawartość rtęci w próbkach glebowych oznaczano metodą spektrometrii absorpcji atomowej, za pomocą analizatora rtęci AMA 254.

Wyniki analiz całkowitej zawartości rtęci w próbkach badanych gleb leśnych przedstawiono w tabeli 1.

### 3. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Pokrywa glebowa Karkonoszy uformowała się na kwaśnych zwietrzelinach granitoidów i łupków metamorficznych przy znacznym udziale górskich zbiorowisk roślinnych i wpływie chłodnego górskiego klimatu [Skiba, Drewnik 1993].

Badane gleby w punktach monitoringowych znajdują się w piętrze regla górnego. W tej strefie jedynym zespołem leśnym uwarunkowanym przez klimat jest górnoreglowa świerczyna sudecka [Danielewicz i in. 2002]. Na terenie obszaru badań dominującym typem siedliskowym lasu jest bór wysokogórski (BWG). Tylko dwa punkty (oznaczone w systemie monitoringu KPN symbolami 60/64 i 60/66) znajdowały się w typie siedliskowym boru mieszanego wysokogórskiego (BMWG).

**Tabela 1.** Zawartość rtęci i podstawowe właściwości badanych gleb**Table 1.** Total mercury content and selected properties of examined soils

Nr punktu	Wysokość [m n.p.m.]	materia organiczna [%]			pH KCl			Zawartość Hg [mg·kg <sup>-1</sup> gleby]		
		ściółka	0–10 cm	10–20 cm	ściółka	0–10 cm	10–20 cm	ściółka	0–10 cm	10–20 cm
57/60	1180	x	7,75	8,32	x	3,44	3,50	x	0,13	0,07
57/62	1120	x	7,20	13,78	x	3,00	3,40	x	0,38	0,13
60/60	1200	x	9,48	9,27	x	3,10	3,30	x	0,09	0,12
60/62	1160	x	71,00	33,33	x	3,10	3,50	x	0,46	0,25
60/64	1130	x	77,34	x	x	2,60	3,40	x	0,42	x
60/66	1110	85,16	36,67	14,10	2,60	2,70	2,90	0,45	0,37	0,18
63/60	1250	x	19,59	x	x	3,29	3,50	x	0,21	x
63/62	1200	x	72,82	31,21	x	3,10	3,10	x	0,64	0,27
63/64	1160	90,94	29,14	4,78	x	2,90	3,40	0,29	0,30	0,07
63/66	1120	x	83,63	82,49	x	2,60	2,70	x	0,41	0,36
72/60	1190	85,51	27,85	26,03	2,70	2,80	2,90	0,44	0,29	0,12
72/62	1110	92,95	56,56	11,97	3,30	2,70	3,00	x	0,37	0,09
72/64	1090	91,84	47,28	10,80	2,70	2,80	3,00	0,20	0,43	0,10
72/66	1030	x	13,89	8,68	x	2,70	3,00	x	0,13	0,12
75/58	1210	x	20,31	24,90	x	3,10	3,40	x	0,16	0,05
75/60	1160	x	45,95	16,12	x	2,70	2,90	x	x	0,08
75/62	1105	89,61	74,65	22,76	3,00	3,20	3,60	0,31	0,34	0,18
75/64	1175	92,28	25,00	5,01	3,10	3,00	3,50	0,26	x	0,05
78/54	1245	x	21,52	7,21	x	3,10	3,40	x	0,24	0,06
78/56	1190	x	30,30	9,60	x	2,90	3,10	x	0,39	0,08
78/58	1190	92,81	36,29	15,70	2,80	3,20	3,40	0,26	0,38	0,12
78/60	1140	88,33	44,88	11,60	2,80	2,60	2,80	0,20	x	0,08
78/62	1095	x	21,48	9,76	2,80	2,90	3,20	x	0,15	0,04

Według Klasyfikacji gleb leśnych z 2002 r. [Klasyfikacja Gleb Leśnych Polski 2002] badane gleby należą do gleb typu rankerów (podtypy: rankery bielcowe i rankery właściwe), gleb bielcowych (podtypy: bielice, glejobielice właściwe, gleby glejobielicowe torfiaste), gleb brunatnych (podtyp: brunatne bielcowe) oraz do typu gleb torfowych. Uziarnienie części ziemistych badanych gleb pozwala zaliczyć je do piasków gliniastych i glin piaszczystych.

W badanych glebach, w ściółkach, zawartość materii organicznej wynosi średnio 89,9%. Największą zawartość materii organicznej stwierdzono w punkcie monitoringowym 72/62, w próchnicy leśnej typu moder, w borze wysokogórskim (93%). Najmniej materii organicznej w ściółkach znajduje się w punkcie 60/66, w próchnicy typu mor, występującej w siedlisku boru mieszanego wysokogórskiego – 85,2% (tab. 1). Zawartość materii organicznej zmniejsza się wraz z głębokością i wynosi średnio 38,2% w poziomie 0–10 cm oraz 14,7% w poziomie 10–20 cm (tab. 1). Najmniejszą ilość materii organicznej w poziomie 10–20 cm stwierdzono w punkcie 63/64, gdzie stanowi ona 4,8% (tab. 1).

W badanych glebach wartości pH w KCl mieszczą się w zakresie od 2,6 do 3,6, co oznacza, że wszystkie badane gleby cechuje odczyn silnie kwaśny.

W ściółkach średnia wartość pH wynosi 2,8. Najniższą wartość pH w ściółce odnotowano w punkcie 60/66, czyli w punkcie zlokalizowanym w siedlisku boru mieszanego wysokogórskiego, gdzie wynosi 2,6, najwyższą wartość pH natomiast w punkcie monitoringowym 75/64 zlokalizowanym w siedlisku boru wysokogórskiego – 3,1 (tab. 1).

W poziomie 0–10 cm wartość pH wzrasta i waha się od 2,6 w punktach 60/64 i 63/66 do 3,4 w punkcie 57/60. Średnia wartość pH w tym poziomie wynosi 3,0 (tab. 1). Poziomy 10–20 cm badanych gleb charakteryzują się najwyższymi wartościami pH. W poziomie tym wartość pH waha się w zakresie od 2,7 w punkcie 63/66 do 3,6 w punkcie 75/62 i wynosi średnio 3,2 (tab. 1).

Silnie kwaśny odczyn badanych gleb ma związek przede wszystkim z tym, że pokrywa glebowa Karkonoszy uformowała się na kwaśnych zwietrzelinach granitoidów i łupków metamorficznych, przy znacznym udziale górskich zbiorowisk roślinnych (lasy iglaste) i wpływie chłodnego klimatu [Skiba, Drewnik 1993]. Powodem zwiększenia udziału jonów wodorowych w glebie jest także działalność fizjologiczna organizmów glebowych oraz kwaśne opady związane z emisjami tlenków siarki, węgla i azotu [Drozd i in. 1998].

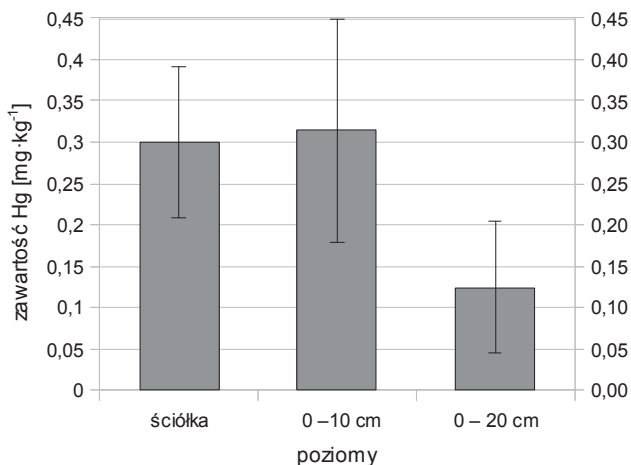
Biorąc pod uwagę bielcowy kierunek glebotwórczy oraz występujące tu ubogie gleby torfowe, można uznać, że niski odczyn gleb w Karkonoszach jest ich naturalną cechą genetyczną [Skiba 1995].

Całkowita zawartość rtęci w badanych poziomach powierzchniowych gleb leśnych wahała się w granicach od 0,039 do 0,64 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. Poziomy organiczne (próchnicy nadkładowej) zawierają rtęć w ilościach od 0,20 do 0,44 mg/kg (średnio 0,30 mg·kg<sup>-1</sup>; tab. 1). Najwyższe koncentracje tego pierwiastka stwierdzono w poziomach ściółek rankerów bielcowych oraz w poziomie 0–10 cm gleby torfowej

W większości badanych gleb zawartość rtęci w poziomach 0–10 cm jest mniejsza niż w poziomach wierzchnich, jednak średnia zawartość rtęci dla tego poziomu jest zbliżona do średniej zawartości tego pierwiastka w poziomach ściółki i wynosi 0,31 mg·kg<sup>-1</sup> (rys. 1). Taka duża zawartość rtęci w poziomach 0–10 cm może być wiązana ze znacznym udziałem gleb torfowych w tym piętrze wysokościowym, co potwierdzają duże zawartości materii organicznej w wielu punktach w tym poziomie. Duże zawartości rtęci w glebach organicznych terenów leśnych są podawane również przez innych autorów [Selvendiran i in. 2008].

Najniższe koncentracje rtęci stwierdzono w poziomach 10–20 cm badanych gleb, gdzie jej ilość waha się w granicach od 0,04 do 0,36 mg·kg<sup>-1</sup> (średnio 0,12 mg·kg<sup>-1</sup>; rys. 1). We wszystkich glebach mineralnych wraz ze wzrostem głębokości zawartość rtęci malała, w glebach organicznych natomiast zawartości tego pierwiastka w ściółce i poziomie 0–10 cm była podobna.

Uzyskane wyniki badań zawartości rtęci w badanych poziomach powierzchniowych gleb leśnych Karkonoszy w rejonie Łabskiego Szczytu są zbliżone lub nieznacznie wyższe od wartości podawanych dla Tybetu, Francji czy gleb leśnych w wybranych rejonach USA [Hissler i in. 2006, Pant P. i in. 2007, Wang X. 2009]. Niejednokrotnie są to również wartości



**Rys. 1.** Średnie zawartości rtęci w poszczególnych poziomach badanych gleb

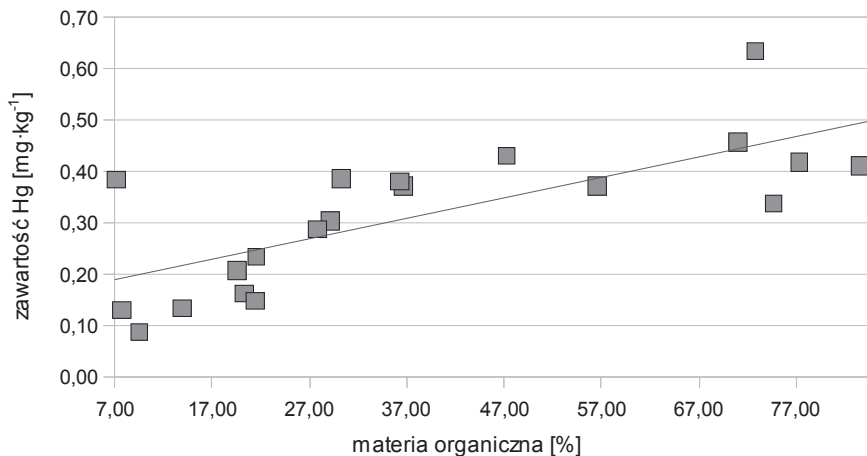
**Fig. 1.** Mean concentration of mercury in different soil horizons of examined soils

większe od wartości stężenia tego pierwiastka w glebach leśnych terenów nizinnych, nawet w rejonach oddziaływania zakładów chemicznych czy elektrowni [Florencka N. i in. 2006, Kłojzy-Kaczmarczyk B. i in. 2005, Zabłocki Z i in. 2007]. Jednak w większości badanych gleb zawartości rtęci mieszczą się w granicach podawanych przez Kabałę-Pendias [Kabała-Pendias A., Pendias H. 1999] jako zawartość naturalna.

W większości punktów monitoringowych nie stwierdzono koncentracji rtęci przekraczającej wartości dopuszczalne dla gleb obszarów chronionych ( $0,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), określone w rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2002 r. w sprawie standardów jakości gleb i standardów jakości ziemi [Rozporządzenie... 2002].

Zaobserwowana w badanych glebach tendencja zawartości rtęci wraz z głębokością jest zgodna z badaniami innych autorów [Florencka N., Haidouti C.], gdzie stwierdza się, że rtęć gromadzi się przede wszystkim w wierzchniej warstwie gleb i stężenie jej zmniejsza się wraz z głębokością, jeżeli nie występuje zwiększona koncentracja tego pierwiastka w skale macierzystej. Wskazuje to na silne wiązanie i zatrzymywanie rtęci przez związki próchniczne. Potwierdzają to wysokie współczynniki korelacji  $r$  między zawartością rtęci a ilością materii organicznej, które wynoszą w poziomach ściółki  $r = 0,78$ , w poziomach 0–10 cm  $r = 0,74$ , a w poziomach 10–20 cm  $r = 0,84$ . Korelacje pomiędzy zawartością materii organicznej a koncentracją rtęci w poziomach 0–10 cm przedstawiono na rysunku 2.

W badanych glebach przeprowadzono również analizę statystyczną korelacji między zawartością rtęci a innymi wybranymi właściwościami fizykochemicznymi gleb (ilością frakcji spławialnej  $<0,02 \text{ mm}$  oraz odczynem wyrażonym w pH).



**Rys. 2.** Korelacja pomiędzy zawartością rtęci a materią organiczną w poziomie 0–10 cm badanych gleb

**Fig. 2.** Correlation between mercury and organic matter content in 0–10 cm horizon in examined soils

Przeprowadzone obliczenia statystyczne wykazały, że w poziomach 10–20 cm pomiędzy całkowitą zawartością rtęci a zawartością frakcji <0,02 mm istnieje wyraźna dodatnia korelacja, o współczynniku  $r = 0,56$ . Większe koncentracje tego pierwiastka stwierdzono w glebach gliniastych, co potwierdzają również badania Dąbkowskiej-Naskręt i in. [1999] oraz Kabaty-Pendias [1999]. Analiza statystyczna nie wykazała istotnych korelacji między odczynem a całkowitą zawartością rtęci w badanych glebach.

#### 4. WNIOSKI

1. W badanych glebach stwierdzono wzbogacenie w rtęć poziomów wierzchnich (próchnicy nadkładowej) oraz poziomów organicznych 0–10 cm w porównaniu z zawartością rtęci w głębszych poziomach.
2. Istotna korelacja pomiędzy zawartością rtęci a ilością substancji organicznej potwierdza silne wiązanie tego pierwiastka w poziomach organicznych.
3. W badanych glebach Karkonoskiego Parku Narodowego zasadniczo nie występuje problem ponadnormatywnego zanieczyszczenia rtęcią.

**Badania finansowane przez MNiSW w ramach grantu nr N N305 037334.**

## PIŚMIENNICTWO I AKTY PRAWNE

- DANIELEWICZ W., RAJ A., ZIENTARSKI J. 2002. Ekosystemy leśne Karkonoskiego Parku Narodowego Karkonoski Park Narodowy.
- DĄBKOWSKA-NASKTĘT H., MALCZYK P., KOBIERSKI M. 1999. Profile differentiation of total mercury content in selected arable and forest soils in Poland. *ATR Bydgoszcz, Zesz. Nauk.* 220, *Rolnictwo* 44: 47–51.
- DROZD J., LICZNAR M., WEBER J., LICZNAR S.E., JAMROZ E., DRADRACH A., MA-STALSKA-CETERA B., ZAWERBNY T. 1998b. Degradacja gleb w niszczonej ekosystemach Karkonoszy i możliwość jej zapobiegania. *Polskie Towarzystwo Substancji Humusowych*, Wrocław.
- FLORENCKA N., WOJTANOWICZ P. 2006. Pionowy rozkład zawartości rtęci w wybranych profilach glebowych w rejonie Alwernii. *Inżynieria Środowiska* t. 11, z. 2: 161–169.
- HAIROUTI C., SKARLOU V., TSOULOUCCHA F. 1985. Mercury contents of some Greek soils. *Geoderma* t. 35, nr 3.
- HISLER CH., PROBST J. 2006. Impact of mercury atmospheric deposition on soils and streams in a mountainous catchment (Vosges, France) polluted by chlor-alkali industrial activity: the important trapping role of the organic matter. *Science of the Total Environ.* 361: 163–178.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wydawnictwo PWN, Warszawa.
- KARCZEWSKA A. 2002. Metale ciężkie w glebach zanieczyszczonych emisjami hut miedzi – formy i rozpuszczalność. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Rozprawa* CLXXXIV, Nr 432, Wrocław.
- KARCZEWSKA A., SZOPKA K., KABAŁA C., BOGACZ A. 2006. Zinc and lead in forest soils of Karkonosze National Park. *Polish J. Environ. Stud.* Vol. 15, No. 2A: 336–342.
- KARCZEWSKA A., SZOPKA K., BOGACZ A., KABAŁA C., DUSZYŃSKA D. 2007. Rozważania nad metodyką monitoringu gleb strefy leśnej KPN – w świetle zróżnicowania właściwości tych gleb. *Opera Corcontica*: 297–307.
- Klasyfikacja gleb leśnych Polski.** 2000. Red. Z. Świącicki. Centrum Informacji Lasów Państwowych, Warszawa.
- KMIEĆ G., KACPERCZYK K., ZWOŹDZIAK J., ZWOŹDZIAK A. 1993. Całkowity opad zanieczyszczeń w wyższych partiach Karkonoszy. W: *Karkonoskie Badania Ekologiczne – I Konferencja*, Wojnowice, grudzień 1992. Dziekanów Leśny: 33–45.
- KLOJZY-KACZMARCZYK B., MAZUREK J., KUCHARSKA A. 2005. Rtęć i związki BTX w środowisku gruntowo-wodnym zagrożonym zanieczyszczeniami substancjami ropopochodnymi. *Polityka Energetyczna* t. 8: 603–611.
- NIEMYSKA-ŁUKASZUK J. 1993. Formy cynku, ołowiu i kadmu w glebach wybranych regionów Karpat Zachodnich. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie. Rozprawa habilitacyjna* Nr 187, Kraków.

- PANT P., ALLEN M. 2007. Interaction of soil and mercury as a function of soil organic carbon: some field evidence. *Bull Environ. Contam. Toxicol* 78: 539–542
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. Dz. U. Nr 165, poz. 1359.**
- SELVENDIRAN P., C.T. DRISCOLL, M.R. MONTESDEOCA AND J.T. BURSHEY. 2008. Inputs, storage and transport of total and methyl mercury in two temperate forest wetlands. *J. Geophys. Res.* 113, G00C01.
- SKIBA S. Ocena wpływu emisji przemysłowych na gleby Karkonoszy. 1995. W: *Problemy ekologiczne wysokogórskiej części Karkonoszy*, red. Z. Fischer. Dziekanów Leśny: 97–111
- SKIBA S., DREWNIK M. 1993. Gleby zdegradowanych ekosystemów wybranych rejonów Karkonoszy. W: *Karkonoskie badania ekologiczne – I Konferencja – Wojnowice, grudzień 1992*, Dziekanów Leśny: 93–102.
- SKIBA S., DREWNIK M., SZMUC R. 1994. Metale ciężkie w glebach wybranych rejonów Karkonoszy. W: *Karkonoskie Badania Ekologiczne – II Konferencja – Dziekanów Leśny, styczeń 1994*. Dziekanów Leśny: 125–134.
- WANG X., CHENG G., ZHONG X., LI M. 2009. Trace elements in sub-alpine forest soils on the eastern edge of the Tibetan Plateau, China. *Environ. Geol.* 58: 635–643.
- ZABŁOCKI Z., PODLASIŃSKA J., KUPICZ A. 2007. Zawartość metali ciężkich w glebach uprawnych i leśnych położonych w strefie oddziaływania emisji zanieczyszczeń z Elektrowni „Dolna Odra”. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 520: 563–570.
- ZWOŹDZIAK J. I A., KMIEĆ G., KACPERCZYK K. 1993. Przyczyny zanieczyszczenia atmosfery w wyższych partiach Sudetów. W: *Karkonoskie Badania Ekologiczne - I Konferencja- Wojnowice, grudzień 1992*, Dziekanów Leśny: 19–32.