

Jacek Antonkiewicz\*

## WYKORZYSTANIE POPIOŁÓW PALENISKOWYCH DO WIĄZANIA METALI CIĘŻKICH WYSTĘPUJĄCYCH W GLEBIE

### USE INCINERATION ASH FOR BINDING HEAVY METALS IN SOILS

**Słowa kluczowe:** kostrzewa łąkowa, popiół, zawartość, pobranie, Cu, Zn, Ni, Fe, Co, Mn.

**Key words:** meadow fescue, ash, content, uptake, Cu, Zn, Ni, Fe, Co, Mn.

*An effect of ashes on crops and element uptake by meadow fescue was examined with pot experiments. The experiments were carried out by using soil composed of loose sand and ash-slag mixture originated from hard coal combustion. The experiments were conducted in four replications in polyethylene pots filled with mineral soil and furnace ash. In the experiment the ash was applied at 23.33 g · pot<sup>-1</sup> corresponding to 20 t · ha<sup>-1</sup> and increasing copper doses. The experiment scheme included also a control containing a mineral soil and ash only. The meadow fescue vegetation period was fixed at 60 and 75 days. The element content in plant material after dry mineralization was determined by using the ICP-AES method (inductively coupled plasma). It was found that the furnace ash applied only led to considerably reduced crop of meadow fescue. Due to increasing cadmium doses mixed with ash an decreasing content of Zn, Pb, Ni and increasing Cr, Cu, Cd content was observed. When estimating the content of chromium, lead, copper and nickel in fescue with reference to the IUNG-PIB values, it was found that it meets the good quality feed standards. As regards zinc and cadmium contents it was found that the allowable abundance of those elements was exceeded.*

#### 1. WPROWADZENIE

W popiołach ze spalania węgla kamiennego występują: szkliwo, ziarna kwarcu, minerały rudne, śladowe ilości anhydrytu i gipsu, a także kalcyt. Znaczącym składnikiem popiołów paleniskowych jest niespalona substancja węglowa, która m.in. wpływa na tworzenie ziaren agregatów odpowiedzialnych za strukturę popiołów. W składzie chemicznym szkliwa bada-

---

\* *Dr inż. Jacek Antonkiewicz – Katedra Chemii Rolnej, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków; e-mail: rrantonk@cyf-kr.edu.pl*

nych popiołów występują Si, Al oraz K. Ponadto ziarna krystaliczne popiołów są zbudowane z faz żelazistych [Ratajczak i in. 1999].

Odpady paleniskowe stanowią układy wielofazowe, zawierające pewne ilości soli nierozpuszczalnych i rozpuszczalnych, które mogą być wymywane do środowiska podczas składowania.

Skład chemiczny popiołów paleniskowych obejmuje zarówno pierwiastki zaliczane do ziem alkalicznych (I i II grupa układu okresowego), jak i pierwiastki zagrażające człowiekowi, w tym metale ciężkie [Antonkiewicz 2007]. W badaniach Bahranowskiego i innych [1999] stwierdzono, że popioły paleniskowe wykazują największą wymywalność Ca, Mg, K, Na, prawie całkowicie niewymywalne są natomiast pierwiastki o gęstości powyżej 5 g/cm<sup>3</sup>. Niska wymywalność metali ciężkich oznacza, że popioły paleniskowe mogą służyć do wiązania pierwiastków występujących w środowisku w ilościach ponadnormatywnych.

Przebadano zatem migrację metali ciężkich występujących w glebie nawożonej popiołem z dodatkiem miedzi. Celem przeprowadzonego doświadczenia było określenie wielkości plonu kostrzewy łąkowej i pobierania Cr, Zn, Pb, Cu, Cd i Ni z gleby lekkiej nawożonej popiołem paleniskowym z dodatkiem wzrastających dawek miedzi.

## 2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badania nad wpływem popiołu i zróżnicowanych dawek miedzi na plon, zawartość i pobieranie metali ciężkich przez kostrzewę łąkową (*Festuca pratensis* Huds.) przeprowadzono w warunkach doświadczenia wazonowego w latach 2006–2007. Do badań użyto gleby bardzo lekkiej, o składzie granulometrycznym piasku luźnego (tab. 1). Gleba zawierała 95% piasku, 2% pyłu, 3% części spławianych [Systematyka ... 1989].

Próbki gleby do badań pobrano z gminy Bukowno w województwie małopolskim, w której znajdują się Zakłady Górniczo-Hutnicze „Bolesław”, przerabiające rudy cynku i ołowiu. Odczyn gleby był alkaliczny. Glebę, na której założono doświadczenia, charakteryzowała podwyższona zawartość Pb, małe zanieczyszczenie Zn i średnie zanieczyszczenie Cd [Kabata-Pendias i in. 1993]. Zastosowany popiół paleniskowy był mieszaniną popiołowo-żużlową z mokrego odprowadzania odpadów paleniskowych ze spalania węgla kamiennego o numerze katalogowym 10 01 80 [Katalog odpadów 2001]. Zawartość metali ciężkich w popiołach, w porównaniu do gleby, nie była na tyle duża, by można było podnosić alarm o potencjalnych zagrożeniach ze strony popiołów paleniskowych.

Doświadczenie przeprowadzono w czterech powtórzeniach, w wazonach polietylenowych o pojemności 3,5 kg, napełnionych glebą mineralną i popiołem paleniskowym. W pierwszym roku doświadczenia do gleby wymieszanej z popiołem dodano jednorazowo miedź w dawkach od 30 do 400 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. (tab. 2). Popiół dodano do gleby w ilości 23,33 g na wazon, co odpowiadało 20 t·ha<sup>-1</sup>. W schemacie doświadczeń uwzględniono również obiekt kontrolny, obejmujący wyłącznie glebę mineralną i obiekt z samym po-

piołem paleniskowym. We wszystkich wazonach zastosowano stałe coroczne nawożenie NPK, w ilości: 0,3 g N, 0,08 g P, 0,2 K g · kg<sup>-1</sup> s.m. gleby, w formie NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, KCl. Nawozy mineralne zastosowano w pierwszym roku doświadczenia na dwa tygodnie przed wysianiem roślin w formie roztworów i dokładnie wymieszano z podłożem. W drugim roku nawozy mineralne zastosowano – również w formie roztworów – na dwa tygodnie przed ruszeniem vegetacji. Okres vegetacji kostrzewy łąkowej wynosił w pierwszym roku 60 dni, a drugim 90 dni. W czasie vegetacji rośliny podlewano wodą redestylowaną, utrzymując wilgotność gleby na poziomie 60% maksymalnej pojemności wodnej. Części nadziemne kostrzewy zbierano corocznie z każdego wazonu (powtórzenia), następnie po wysuszeniu w suszarce w temperaturze 75°C określono wielkość plonu suchej masy i wyrażono w g s.m. na wazon.

**Tabela 1.** Charakterystyka fizykochemiczna gleby i popiołu zastosowanych w doświadczeniu  
**Table 1.** Characteristic physicochemical of soil and ash use in experiment

Parametr	Gleba	Skala IUNG	Zawartość dopuszczalna [Rozp. 2002]	Popiół
pH <sub>(KCl)</sub>	7,06	–	–	9,85
pH <sub>(H<sub>2</sub>O)</sub>	7,33	–	–	10,06
Skład granulometryczny	piasek luźny	–	–	glina piaszczysta pylista
Metale ciężkie	zawartość w mg·kg <sup>-1</sup> s.m.			
Cr	5,48	0	150	33,85
Zn	251,25	II	300	93,75
Pb	45,10	I	100	18,65
Cu	6,00	0	150	74,50
Cd	2,75	III	4	0,28
Ni	3,38	0	100	39,98

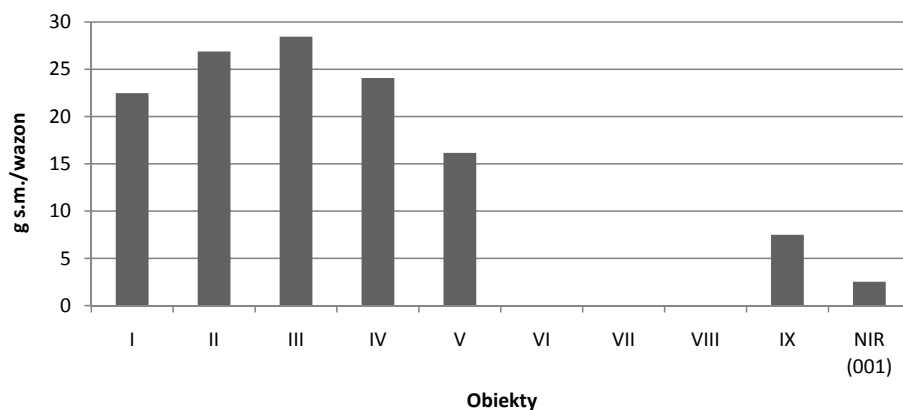
0 – zawartość naturalna, I – zawartość podwyższona, II – gleba słabo zanieczyszczona, III – gleba średnio zanieczyszczona.

W materiale roślinnym po mineralizacji na sucho oznaczono z każdego powtórzenia: Cr, Zn, Pb, Cu, Cd i Ni metodą ICP-AES (inductively coupled plasma – atomowa spektrofotometria emisyjna przy użyciu palnika indukcyjnie wzbudzonej plazmy). Zawartość omawianych metali ciężkich w kostrzewie łąkowej podano jako średnią ważoną zawartość w okresie 2006–2007. Do obliczeń statystycznych zastosowano arkusz kalkulacyjny Microsoft Excel 7.0.

Istotność różnic między porównywanymi średnimi plonów kostrzewy i zawartości pierwiastków określano metodą Duncana. Analizę wariancji i test Duncana wykonywano na poziomie istotności  $\alpha = 0,01$ . Obliczono współczynniki zmienności wskazujące zmienność zawartości badanych pierwiastków w plonie roślin.

### 3. WYNIKI BADAŃ

**Plon kostrzewy łąkowej.** W niniejszej pracy podano sumaryczny plon kostrzewy łąkowej w latach 2006–2007, który był zróżnicowany i wahał się w zależności od obiektu od 7,50 do 28,46 g s.m. na wazon (rys. 1). W badaniach stwierdzono, że wprowadzenie do gleby lekkiej popiołu w dawce 23,33 g na wazon, co odpowiadało  $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  (obiekt II) wpłynęło istotnie na zwiększenie plonu kostrzewy łąkowej. Wzrost plonu kostrzewy łąkowej wyniósł ok. 20% w stosunku do kontroli. Do gleby nawożonej popiołem zastosowanie dawki miedzi  $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. również wpłynęło istotnie na zwiększenie plonu kostrzewy łąkowej. Kolejna dawka miedzi ( $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) zaaplikowana do gleby nawożonej popiołem wpłynęła w niewielkim stopniu na wzrost plonu badanej rośliny, nie był to jednak wzrost istotny. Zastosowanie miedzi w dawce  $80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. do gleby lekkiej wymieszanej z popiołem spowodowało natomiast istotne zmniejszenie plonu kostrzewy w porównaniu do kontroli, o ponad 28%. W obiektach, w których zastosowano większe dawki miedzi ( $300\text{--}400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m.) nie uzyskano plonu. Z niniejszych badań wynika zatem, że wysokie dawki miedzi zastosowane do gleby lekkiej oddziaływały toksycznie na nasiona kostrzewy łąkowej, nie dopuszczając do ich skielkowania i wydania plonu. Dodatek popiołu do gleby zanieczyszczonej miedzią nie wpłynął także detoksykująco na środowisko glebowe. Wprowadzenie do gleby wyłącznie popiołu paleniskowego (obiekt IX) również wpłynęło istotnie na zmniejszenie plonu kostrzewy. Obniżenie plonu w obiekcie, w którym zastosowano wyłącznie popiół, wynosiło ponad 66% w porównaniu do kontroli.



Obiekty [P – popiół]: I – Gleba – kontrola, II – 23,33 g P + 0 mg Cu, III – 23,33 g P + 30 mg Cu, IV – 23,33 g P + 50 mg Cu, V – 23,33 g P + 80 mg Cu, VI – 23,33 g P + 300 mg Cu, VII – 23,33 g P + 350 mg Cu, VIII – 23,33 g P + 400 mg Cu, IX – wyłącznie popiół.

**Rys. 1.** Plon kostrzewy łąkowej

**Fig. 1.** Yield of Meadow fescue

**Średnia ważona zawartości metali ciężkich w kostrzewie łąkowej.** W badaniach stwierdzono istotny wpływ wprowadzenia do gleby popiołu oraz wzrastających dawek miedzi na pobieranie metali ciężkich przez kostrzewę łąkową (tab. 2). Z badań wynika, że już zastosowanie do gleby popiołu w dawce 23,33 g na wazon, co odpowiadało 20 t popiołu na ha wpłynęło na wzrost zawartości Cr i Cu w kostrzewie łąkowej. Wzrost zawartości wymienionych pierwiastków tłumaczy się ponad 6-krotnie większą zawartością Cr oraz ponad 12-krotnie większą zawartością Cu w popiele. Wymieszanie popiołu paleniskowego z glebą i zastosowanie miedzi w dawkach wzrastających (30–80 mg · kg<sup>-1</sup> s.m.) spowodowało istotny wzrost zawartości tego metalu w badanej roślinie. Stwierdzono największy wzrost zawartości miedzi przy dawce 80 mg · kg<sup>-1</sup> s.m. gleby – wyniósł on ponad 4,4 razy więcej w porównaniu do kontroli. Kostrzewę łąkową uprawianą wyłącznie na popiele (obiekt IX) charakteryzowała również wyższa zawartość Cr i Cu w porównaniu do kontroli. Zawartość Cr i Cu w kostrzewie uprawianej wyłącznie na popiele była odpowiednio o ponad 90% i 27% wyższa w porównaniu do kontroli.

W przypadku kadmu stwierdzono, że dodatek popiołu oraz wzrastające dawki miedzi do gleby nie wpłynęły istotnie na zmniejszenie zawartości tego metalu w porównaniu do kontroli, zastosowanie wyłącznie popiołu (obiekt IX) wpłynęło natomiast istotnie na zmniejszenie zawartości kadmu w testowanej roślinie.

**Tabela 2.** Zawartość metali ciężkich w kostrzewie łąkowej

**Table 2.** Content of heavy metals in Meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.)

Objekt	Podłoże	Poziom Cu	Zawartość metali ciężkich w mg · kg <sup>-1</sup> s.m.					
			Cr	Zn	Pb	Cu	Cd	Ni
I	gleba + 23,33 g popiołu	6,0	0,40	1210,89	6,26	6,90	1,79	2,30
II		6,0	0,81	734,82	3,82	11,17	1,60	1,60
III		30,0	0,79	709,26	3,66	17,30	1,67	1,73
IV		50,0	0,84	745,48	3,82	26,49	1,52	1,89
V		80,0	0,81	741,75	3,66	37,31	1,73	1,69
VI		300,0	–	–	–	–	–	–
VII		350,0	–	–	–	–	–	–
VIII		400,0	–	–	–	–	–	–
IX	popiół	6,0	0,77	41,06	1,31	8,77	0,15	0,51
NRI <sub>(n=0,01)</sub>			0,13	118,78	0,62	2,84	0,46	0,23
V%			22,56	53,68	41,76	65,80	44,15	36,86

W odróżnieniu od wyżej omawianych pierwiastków, wprowadzenie popiołu do gleby lekkiej w dawce 23,33 g na wazon, co odpowiadało 20 t · ha<sup>-1</sup> wpłynęło na zmniejszenie wprowadzonej do podłoża glebowego zawartości Zn, Pb i Ni w kostrzewie łąkowej. Przy najwyższej dawce miedzi (obiekt V) obniżenie zawartości Zn, Pb i Ni w kostrzewie wynosiło odpowiednio: 38%, 41%, 26% w porównaniu do kontroli. Jeszcze większe obniżenie zawartości wymienionych pierwiastków stwierdzono w kostrzewie uprawianej wyłącznie na popiele paleniskowym (obiekt IX) i wynosiło dla Zn ponad 90%, a dla Pb i Ni ponad 70% w porównaniu do kontroli.

**Ocena zawartości metali ciężkich w kostrzewie łąkowej.** Rośliny uprawiane na odpadach powinny się przeznaczać na cele przemysłowe, w tym energetyczne i inne, nie zaleca się natomiast ich wykorzystywać jako paszę. W niniejszym opracowaniu dokonano oceny zawartości metali ciężkich w kostrzewie pod względem paszowym. Krytyczna zawartość tych metali przyjęta do oceny roślin pod względem paszowym nie powinna przekroczyć dla Cd – 0,5 mg; Zn – 100 mg; Pb – 10 mg; Cu – 25–50 mg; Ni – 50 mg, Cr – 20 mg · kg<sup>-1</sup> s.m. [Gorlach 1991; Kabata-Pendias i in. 1993]. Oceniając przydatność paszową kostrzewy łąkowej uprawianej na glebie z dodatkiem popiołu i z wzrastającymi dawkami Cu stwierdzono, że spełnia ona wymogi pod względem zawartości Cr, Cu, Ni, Pb stawiane paszom dobrej jakości. Stwierdzono, że zawartość niklu w kostrzewie była niedostateczna. Zawartość Zn i Cd natomiast w kostrzewie uprawianej na glebie z dodatkiem popiołu i miedzi wykluczała możliwość jej wykorzystania na cele paszowe. Dopuszczalna zawartość Zn i Cd w kostrzewie uprawianej na tych obiektach była przekroczona odpowiednio ponad 6 i 1,5-krotnie w porównaniu do wartości zalecanej.

**Pobranie metali ciężkich przez kostrzewę łąkową.** Dodatek do gleby popiołu paleniskowego i wzrastających dawek Cu wpłynął na wzrost pobrania przez kostrzewę łąkową Cu, Cr i Cd i na obniżenie Zn, Pb i Ni (tab. 3).

**Tabela 3.** Pobranie metali ciężkich przez kostrzewę łąkową

**Table 3.** Uptake of heavy metals by Meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.)

Nr Obiektu	Podłoże	Poziom Cu	Zawartość metali ciężkich [mg · wazon <sup>-1</sup> ]					
			Cr	Zn	Pb	Cu	Cd	Ni
I	gleba	6,0	0,009	27,206	0,141	0,156	0,040	0,052
II		6,0	0,022	19,762	0,103	0,300	0,043	0,043
III		30,0	0,022	20,192	0,104	0,491	0,048	0,049
IV		50,0	0,020	18,019	0,092	0,638	0,037	0,045
V		80,0	0,013	11,810	0,060	0,600	0,028	0,027
VI		300,0	–	–	–	–	–	–
VII		350,0	–	–	–	–	–	–
VIII		400,0	–	–	–	–	–	–
IX	popiół	6,0	0,006	0,311	0,010	0,066	0,001	0,004
NRI <sub>(n=0,01)</sub>			0,004	<b>2,965</b>	0,019	0,079	0,012	0,006
V%			46,53	56,84	53,12	63,29	51,46	49,67

Największe pobranie Cu przez kostrzewę łąkową zarejestrowano przy dawce miedzi wynoszącej 50 mg · kg<sup>-1</sup> s.m. i było ono ponad 3-krotnie większe w porównaniu do kontroli. Największe zaś pobranie Cr i Cd przez kostrzewę stwierdzono przy dawce 30 mg · kg<sup>-1</sup> s.m. Przy pobraniu przez kostrzewę łąkową Zn, Pb i Ni stwierdzono, że dodatek popiołu do gleby wraz ze wzrastającymi dawkami miedzi ogranicza pobieranie wymienionych metali ciężkich. Najniższe pobranie tych metali ciężkich przez kostrzewę stwierdzono na obiekcie, w którym jako podłoże do uprawy kostrzewy zastosowano wyłącznie popiół paleniskowy.

#### 4. Dyskusja wyników

Skład chemiczny popiołów paleniskowych jest bardzo zróżnicowany i może on w znaczącej mierze oddziaływać na otaczające środowisko. Z racji specyficznych właściwości fizykochemicznych należy szukać prób utylizacji popiołów paleniskowych [Smołka-Danielowska 2001; Żelechower 1998]. Popioły paleniskowe charakteryzuje między innymi wysoka wartość odczynu (odczyn kwaśny), a w konsekwencji wpływ na dostępność pierwiastków dla roślin. W środowisku alkalicznym natomiast metale ciężkie przechodzą w związki niedostępne dla roślin [Andruszczak i in. 1981; Antonkiewicz 2007]. Metale ciężkie występujące w popiołach paleniskowych występują w formach trudno dostępnych i słabo rozpuszczalnych w wodzie bądź też w postaci soli nierozpuszczalnych, stąd istnieje możliwość wykorzystania tych odpadów do wiązania metali ciężkich w podłożach. W badaniach własnych stwierdzono, że pod wpływem dodatku popiołu do gleby i wzrastających dawek miedzi wystąpiło istotne obniżenie Zn, Pb i Ni w kostrzewie łąkowej, wzrost natomiast zawartości Cr, Cu i Cd. Z badań wynika, że rośliny uprawiane na glebie wzbogacanej popiołem paleniskowym zawierały niższe ilości metali ciężkich w porównaniu do kontroli. Dlatego należy rozważyć szersze wykorzystanie popiołów jako sorbentów metali ciężkich. Jak donosi Derkowski [2001] popioły paleniskowe można wykorzystać jako surowiec do produkcji zeolitów sorbujących metale ciężkie. W niniejszych badaniach stwierdzono istotny wpływ popiołów paleniskowych na wzrost plonu kostrzewy łąkowej. Wzrost plonu testowej rośliny był uwarunkowany także corocznym nawożeniem mineralnym, ponieważ popioły paleniskowe są bardzo ubogie w dostępne makroskładniki [Wójcikowska-Kapusta 2006].

#### 5. Wnioski

1. Wprowadzenie do gleby popiołu w ilości 23,33 g na wazon, tj.  $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , wpłynęło istotnie na zwiększenie plonu kostrzewy. Na istotny wzrost plonu wpłynął także dodatek do gleby popiołu i miedzi w dawce  $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
2. Wprowadzenie do gleby popiołu oraz miedzi w dawce  $80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. wpłynęło na zmniejszenie plonu kostrzewy łąkowej. Plon kostrzewy uprawianej wyłącznie na popiele paleniskowym był niższy w porównaniu do kontroli.
3. Pod wpływem zaaplikowania wzrastających dawek miedzi do gleby wymieszanej z popiołem zarejestrowano obniżenie zawartości Zn, Pb i Ni, a wzrost Cr, Cu i Cd w kostrzewie łąkowej w porównaniu do kontroli.
4. Wyceniając zawartość metali ciężkich w kostrzewie pod względem przydatności stwierdzono, że testowana roślina nadaje się tylko na cele przemysłowe z racji ponadnormalnej zawartości Cd i Zn.

## PIŚMIENNICTWO

- ANDRUSZCZAK E., STRĄCZYŃSKI S., ŻURAWSKI H., PABIN J., KAMIŃSKA W. 1981. Właściwości fizyczne i chemiczne popiołów z hałdy Elektrociepłowni Czechnica oraz skład chemiczny roślin zasiedlających hałdę. *Roczn. Glebozn.* 32, 2: 25–35.
- ANTONKIEWICZ J. 2007. Wpływ mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych na plon mieszanki traw z komonicą zwyczajną i zawartość wybranych pierwiastków w mieszance. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumietus* 6, 3: 65–76.
- BAHRANOWSKI K., GÓRNIAK K., RATAJCZAK T., SIKORA W.S., SZYDLAK T., WYSZOMIRSKI P. 1999. Wymywalność niektórych pierwiastków głównych i śladowych z zawiesiny wodnej popiołów lotnych. *Wyd. Pol. Tow. Mineral., Prace specjalne*, z. 13: 35–41.
- DERKOWSKI A. 2001. Różnorodne metody syntezy zeolitów z popiołów lotnych jako próba utylizacji odpadów paleniskowych. *Przegląd Geologiczny* 49(4): 337.
- GORLACH E. 1991. Zawartość pierwiastków śladowych w roślinach pastewnych jako miernik ich wartości. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie*, 262, Sesja Nauk. z. 34: 13–22.
- KABATA-PENDIAS A., MOTOWICKA-TERELAK T., PIOTROWSKA M., TERELAK H., WITTEK T. 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. *Ramowe wytyczne dla rolnictwa. Puławy, P. (53), IUNG*: 20.
- Katalog odpadów 2001. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów.** *Dz.U. Nr 112, poz. 1206.*
- RATAJCZAK T., GAWEŁ A., GÓRNIAK K., MUSZYŃSKI M., SZYDLAK T., WYSZOMIRSKI P. 1999. Charakterystyka popiołów lotnych ze spalania niektórych węgla kamiennych i brunatnych. *Wyd. Pol. Tow. Mineral., Prace specjalne*, z. 13: 9–34.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi.** *Dz.U. 2002 r. Nr 165, poz. 1359.*
- SMOŁKA-DANIEŁOWSKA D. 2001. Badania składu fazowego popiołów powęglowych z indywidualnych palenisk domowych i jego wpływ na środowisko. *Zesz. Nauk. Politechniki Śląskiej* 1515, Seria: Górnictwo z. 249: 157–164.
- Systematyka gleb Polski.** PTG. 1989. *Roczn. Glebozn.* 40, 3/4: 1–150.
- WÓJCIKOWSKA-KAPUSTA A. 2006. Wpływ kompostów z osadu ściekowego i popiołu na zawartość wapnia, magnezu i potasu w mieszance traw oraz rekultywowanym gruncie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 512: 661–667.