

Stanisław Właśniewski*

**WPŁYW NAWOŻENIA POPIOŁEM LOTNYM Z WĘGLA KAMIENNEGO
NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI CHEMICZNE GLEBY PIASZCZYSTEJ
I PLONOWANIE OWSA**

**EFFECT OF FERTILIZATION WITH FLY ASH FROM BLACK COAL
ON SOME CHEMICAL PROPERTIES OF SANDY SOIL AND YIELDS
OF OAT**

Słowa kluczowe: popiół lotny, nawożenie, gleba piaszczysta, makroelementy P, K, Mg, metale ciężkie Cd, Pb, plonowanie, owies.

Key words: fly ash, fertilization, sandy soil, macroelements P, K, Mg, heavy metals Cd, Pb, yields, oat.

Pot experiment was used to study the effect of increased doses of fly ash, obtained from coal combustion in the EC Rzeszów heat and power generating plant, on chemical properties of sandy soil. The experiment comprised ten fertilizer combinations in 4 replications. Polyethylene pots were filled with soil and then fertilized with increased doses of fly ash, set according to 0.5, 0.75, 1, 2, 3, 4, hydrolytic acidity (Hh) (objects I–VI), with dolomite (containing 25.4% CaO and 20.7% MgO), according to 1 and 3 Hh, (objects VII–VIII), as well as an 1:1 mixture of ash and dolomite, according to 1 and 3 Hh, (objects IX–X). Application of the highest dose of ash (i.e. $134.4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) caused a marked increase in total content of magnesium by 633%, phosphorus – by 361%, and a slight increase in potassium content - by 38% (compared to reference), a using the growth of the content of heavy metals to the level of increased content (II^o) simultaneously, the Cd to $0.22 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and Pb to $36.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Availability forms Mg i K of in the soil improved under effect of fertilization with ash. It was observed that, combined application of ash and dolomite had favorable effect on chemical properties of soil. Higher ash doses significantly decreased yield of oats. A positive effect on yielding of oat has been proved on sandy soil with $16.8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ fly ash.

* **Dr inż. Stanisław Właśniewski – Katedra Gleboznawstwa, Chemii Środowiska i Hydrologii, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Ćwiklińskiej 2, 35-601 Rzeszów; tel.: 17 872 16 28; e-mail: swlasnie@univ.rzeszow.pl**

1. WPROWADZENIE

W Polsce na koniec roku 2007 zgromadzono 18,8 mln ton popiołów lotnych wytworzonych przez przemysł energetyczny w procesie spalania węgla kamiennego i brunatnego [Ochrona Środowiska 2008]. Odpady te według rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie katalogu odpadów [2001] klasyfikowane są w grupie 10 jako odpady nieorganiczne z procesów termicznych – popioły lotne. Tylko w 2007 r. wytworzono ich 4,5 mln ton. W dużym stopniu (93,5% w 2000 r. i 98,7% w 2007 r.) poddawane są procesom odzysku.

Popioły stanowią poważną bazę materiałową do wielu poczynań gospodarczych m.in. w budownictwie – surowiec do produkcji geopolimerów [Duxson i in. 2007] i w rolnictwie do poprawy jakości gleb [Katzur, Gora 1986, Veeresh i in. 1993, Flanagan i in. 1997, Stehouwer i in. 1999, Cox i in. 2001, Schutter, Fuhrmann 2001, Sternberg 2001, Stevens, Dunn 2004]. W Polsce argumentem za wykorzystaniem w rolnictwie popiołów z węgla kamiennego jest zawartość w nich blisko 80 pierwiastków chemicznych [Terelak, Żórawska 1979, Andruszczak i in. 1981, Koter i in. 1983, Maciak, Liwski 1981, Ciećko i in. 1993, Bogacz i in. 1995, Hermann 1996], dodatni wpływ na właściwości fizyczne, fizykochemiczne [Maciak, Liwski 1981, Koter i in. 1984, Ciećko i in. 1993, Bogacz 1995, Wojcieszczuk i in. 2004] i biologiczne gleby [Kuczyńska 2005], które pozwalają na ich wykorzystanie do użyźniania gleb.

Popioły w swoim składzie obok znacznych ilości wapnia, magnezu i potasu zawierają także mikroelementy [Maciak, Liwski 1981, Bogacz i in. 1995, Kozłowska 1995, Hermann 1996, Kalembkiewicz i in. 2007]. W ostatnich latach coraz częściej są dostrzegane zagrożenia wynikające z wprowadzenia do gleb z popiołami nadmiernych ilości metali ciężkich [Rosik-Dulewska, Dulewski 1989], które mogą wpływać niekorzystnie na liczebność mikroorganizmów glebowych, np. bakterii (*Azotobacter* spp.), promieniowców [Kuczyńska 2005] oraz niekiedy także na plonowanie roślin uprawnych [Nowak, Ciećko 1983, Stevens, Dunn 2004, Antonkiewicz 2007].

Decydując się na zastosowanie popiołów w rolnictwie, należy określić ich skład chemiczny i zoptymalizować dawkę do określonych warunków glebowych.

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu wzrastających dawek popiołu lotnego na zawartość w glebie piaszczystej makropierwiastków (P, K, Mg), metali ciężkich (Cd i Pb) i plonowanie owsa.

2. MATERIAŁ I METODYKA

Badania przeprowadzono w roku 2008, w warunkach statycznego doświadczenia wazonowego. W doświadczeniu wykorzystano glebę o składzie granulometrycznym piasku luźnego, pobraną z poziomu próchnicznego gleby biellicowej. Zastosowane w doświadcze-

niu popioły pochodziły z Elektrociepłowni Rzeszów i zostały pobrane bezpośrednio z odpylaczy piecowych kotłów rusztowych, z pominięciem składowiska odpadów.

Doświadczenie obejmowało 10 kombinacji nawozowych w 4 powtórzeniach. Wazony polietylenowe napełniano glebą wymieszaną z wzrastającymi dawkami popiołów lotnych, ustalonymi według 0,5, 0,75, 1, 2, 3, 4 kwasowości hydrolitycznej (obiekty I–VI), dolomitu (o zawartości 25,4% CaO i 20,7% MgO), według 1 i 3 Hh (obiekty VII–VIII) oraz popiołu i dolomitu w stosunku 1:1 według 1 i 3 Hh (obiekty IX–X).

Przygotowane w ten sposób wazony doprowadzano, stosując wodę redestylowaną, do kapilarnej pojemności wodnej. Taki stan wilgotności utrzymywano przez 1 miesiąc, inkubując próbki w temperaturze ok. 20°C. Na tak przygotowanych obiektach wysiano owies (*Avena sativa* L.) odmiany Krezus (odmiana oplewiona, wysoka) i odmiany Polar (odmiana nagoziarnista, wysoka). Pod owies zastosowano przedsięwzięcie nawożenia azotem w formie roztworu saletry amonowej. Rośliny zebrano na zieloną masę w fazie wiechowania. Po zbiorze określono plon powietrznie suchej masy.

W mineralizacie uzyskanym po trawieniu powietrznie suchych próbek glebowych w 70-procentowym kwasie chlorowym (VII), oznaczono ogólną zawartość fosforu (P) metodą wanadomolibdenową, potasu (K) metodą fotometrii płomieniowej oraz manganu (Mg), kadmu (Cd) i ołowiu (Pb) metodą spektrometrii absorpcji atomowej oraz formy przyswajalne P, K (metodą Egnera-Riehma), Mg (metodą Schachtschabela) i formy Cd i Pb rozpuszczalne w 1 mol HCl·dm⁻³ (metodą Rinkisa).

Istotność różnic pomiędzy średnimi zawartościami pierwiastków w glebie i plonem owsa z poszczególnych obiektów obliczono z zastosowaniem analizy wariancji. Obliczono NIR według testu Tukey'a przy poziomie istotności p=0,05.

3. WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Użyty w doświadczeniu popiół lotny z węgla kamiennego ze względu na zawartość SiO₂ (> 40%), Al₂O₃ (< 30%) oraz CaO (< 10%) zaliczono do popiołów krzemianowo-glinowych. Charakterystykę właściwości fizycznych i fizykochemicznych popiołu przedstawiono we wcześniejszej pracy autora [Właśniewski 2009]. Popiół lotny odznaczała duża zawartość makroelementów i metali ciężkich (tab. 1), często przekraczająca ilości oznaczane w popiołach przez innych autorów [Andruszczak i in.1981; Bogacz i in.1995; Kuczyńska 2005]. Duży był także udział (w stosunku do zawartości całkowitej) przyswajalnych form potasu, kadmu i ołowiu (tab. 1).

Tabela 1. Skład chemiczny popiołów lotnych**Table 1.** Chemical composition of fly ash

Pierwiastek	Formy całkowite	Formy rozpuszczalne	Udział formy rozpuszczalnej w całkowitej zawartości
Makropierwiastki	g·kg ⁻¹	mg·kg ⁻¹	%
P	1,97	228	11,6
K	8,32	5893	70,8
Mg	13,1	636	4,9
Metale ciężkie	mg·kg ⁻¹		%
Cd	3,93	3,23	82,2
Pb	308	219	71,1
Cu	174	164	94,3
Fe	22800	6390	28,0
Mn	560	180	32,1
Ni	94	50	53,2
Zn	832	811	97,5

Całkowita zawartość fosforu w popiele wynosiła 1,97 g·kg⁻¹. Dodatek popiołu lotnego do gleby piaszczystej spowodował istotny wzrost koncentracji całkowitej zawartości fosforu w glebie z 0,13 g·kg⁻¹ w obiekcie kontrolnym do 0,60 g·kg⁻¹ w obiekcie VI, tj. o 360% (tab. 2).

Tabela 2. Zawartość ogólnych i przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu w glebie**Table 2.** Content of total and available form phosphorus, potassium and magnesium in soil

Numer	Obiekty	Dawka		P		K		Mg	
		według Hh	t·ha ⁻¹	A	B	A	B	A	B
0	Kontrola	0	0	$\frac{0,13}{77}$	59	$\frac{0,81}{61}$	8	$\frac{0,06}{12}$	20
I	Popiół	0,5 Hh	16,8	$\frac{0,18}{84}$	53	$\frac{0,86}{82}$	10	$\frac{0,13}{21}$	16
II		0,75 Hh	25,2	$\frac{0,19}{90}$	44	$\frac{0,94}{81}$	9	$\frac{0,15}{24}$	16
III		1 Hh	33,6	$\frac{0,20}{96}$	48	$\frac{0,91}{86}$	9	$\frac{0,17}{31}$	18
IV		2 Hh	67,2	$\frac{0,22}{116}$	53	$\frac{0,98}{122}$	12	$\frac{0,26}{52}$	20
V		3 Hh	100,8	$\frac{0,37}{123}$	33	$\frac{1,11}{146}$	13	$\frac{0,43}{68}$	16
VI		4 Hh	134,4	$\frac{0,60}{139}$	23	$\frac{1,17}{191}$	16	$\frac{0,44}{133}$	30
VII	Dolomit	1 Hh	5,4	$\frac{0,52}{117}$	23	$\frac{0,71}{59}$	8	$\frac{0,25}{46}$	18
VIII		3 Hh	16,1	$\frac{0,56}{148}$	26	$\frac{0,85}{59}$	7	$\frac{0,42}{53}$	13
IX	Popiół + dolomit	1 Hh	16,8 + 2,7	$\frac{0,58}{100}$	17	$\frac{0,89}{70}$	8	$\frac{0,25}{62}$	25
X		3 Hh	50,4 + 8,1	$\frac{0,61}{150}$	25	$\frac{1,04}{111}$	11	$\frac{0,55}{75}$	14
NIR _{0,05}				$\frac{0,02}{46}$	–	$\frac{0,30}{42}$	–	$\frac{0,35}{80}$	–

Objaśnienia: A – licznik: formy całkowite g·kg⁻¹; mianownik: zawartość przyswajalnych form makroelementów (mg·kg⁻¹); B – udział formy rozpuszczalnej w całkowitej zawartości (%).

Również nawożenie dolomitem oraz mieszankami popiołu i dolomitu wyraźnie zwiększyło zawartość fosforu w glebie. Fosfor w popiołach lotnych z węgla kamiennego na ogół występuje w niewielkich ilościach [Koter i in. 1983, Nowak i Ciecško 1983] oraz przeważnie w trudno przyswajalnych formach dla roślin [Koter i in. 1983]. W przeprowadzonych badaniach udział form przyswajalnych w całkowitej zawartości fosforu mieścił się w przedziale od 17 do 59%, osiągając największy udział w obiekcie kontrolnym.

Największą zawartość przyswajalnego fosforu oznaczono w glebie obiektu X. Zastosowanie popiołów w glebach obiektów I–VI spowodowało istotne zwiększenie się całkowitej zawartości fosforu przy jednoczesnym zmniejszeniu się procentowego udziału form przyswajalnych. Ocena zawartości fosforu oparta na liczbach granicznych pozwala zaliczyć gleby obiektów II–X do klasy o bardzo wysokiej zasobności ($> 89 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) tego pierwiastka.

Całkowita zawartość potasu w popiele wynosiła $8,32 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Zastosowane nawożenie popiołem lotnym i mieszanką popiołu i dolomitu spowodowało wzrost zawartości potasu (K), w stosunku do obiektu kontrolnego, jednak statystycznie istotny wzrost określono tylko w glebach obiektów V–VI. Zastosowane nawożenie dolomitem w obiekcie VII spowodowało spadek zawartości potasu. Formy przyswajalne potasu, w stosunku do całkowitej zawartości tego pierwiastka w glebie, stanowiły od 7 do 16%, osiągając najwyższy udział w glebach obiektów V i VI. W obiektach tych zasobność gleb w ten pierwiastek osiągnęła poziom bardzo wysoki ($> 146 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Według Kabaty-Pendias [1987] i Nowaka i in. [1993] potas w popiołach tworzy połączenia trudno rozpuszczalne, które ulegają stopniowemu uruchamianiu po ich zastosowaniu, stanowiąc zapasowe źródło tego pierwiastka dla roślin.

Całkowita zawartość magnezu w popiele wynosiła $13,1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Nawożenie popiołem lotnym wpłynęło wyraźnie na zwiększenie zawartości magnezu w glebie. Zmiany uzależnione były od wielkości dawki. Po zastosowaniu dawki w wysokości ustalonej według 4 Hh zawartość magnezu istotnie zwiększyła się do poziomu $0,44 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Bardziej wyraźny wzrost zawartości magnezu uzyskano w glebie obiektu X, gdzie zastosowano mieszankę popiołu i dolomitu. Dawki popiołu w wysokości $100,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ wykazywały zbliżone działanie do dolomitu zastosowanego w dawce $16,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Procentowy udział form przyswajalnych, w całkowitej zawartości magnezu mieścił się w przedziale od 13 do 30%. Zawartość przyswajalnych form magnezu wykazywała systematyczny wzrost, w zakresie od $12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w glebie obiektu kontrolnego (zasobność niska) do $133 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w glebie obiektu VI (zasobność bardzo wysoka).

Zastosowanie wzrastających dawek popiołu lotnego spowodowało przyrost zawartości kadmu z $0,041 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w glebie obiektu kontrolnego do $0,216 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w glebie obiektu VI (tab. 3). Statystycznie istotne zwiększenie zawartości kadmu spowodowały wyższe dawki popiołów ($> 67,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) i mieszanka popiołu ($50,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) i dolomitu ($8,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Oznaczony poziom kadmu w glebie obiektu VI był niższy od średniej zawartości kadmu (Cd) w glebach użytków rolnych woj. podkarpackiego – $0,28 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ [Terlak, Tujaka 2003] i od średnich zawartości kadmu spotykanych w Polsce, w glebach o podobnym składzie gra-

nulometrycznym [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Przyjmując wytyczne IUNG [Kabata-Pendias i in. 1993] poziom Cd w glebach obiektów, gdzie zastosowano najwyższe dawki popiołów lotnych mieścił się nadal w zakresie zawartości naturalnej dla gleb bardzo lekkich (0–0,3 mg·kg⁻¹). Udział Cd rozpuszczalnego w 1 mol HCl·dm⁻³ w stosunku do całkowitej zawartości tego pierwiastka był bardzo mały w glebach, gdzie zastosowano dolomit (11–16%) i wyraźnie zwiększał się (52–93%) w glebach obiektów, na których zastosowano tylko popiół.

Tabela 3. Zawartość Cd i Pb w glebie (mg·kg⁻¹)

Table 3. The content of Cd and Pb in soils (mg·kg⁻¹)

Numer	Obiekty	Dawka		Cd		Pb	
		według Hh	t·ha ⁻¹	A	B	A	B
0	Kontrola	0	0	$\frac{0,041}{0,025}$	61	$\frac{16,5}{7,2}$	44
I	Popiół	0,5 Hh	16,8	$\frac{0,055}{0,045}$	82	$\frac{20,5}{10,9}$	53
II		0,75 Hh	25,2	$\frac{0,054}{0,050}$	93	$\frac{19,7}{13,7}$	70
III		1 Hh	33,6	$\frac{0,067}{0,055}$	82	$\frac{22,0}{14,5}$	66
IV		2 Hh	67,2	$\frac{0,109}{0,070}$	64	$\frac{27,9}{17,4}$	62
V		3 Hh	100,8	$\frac{0,182}{0,095}$	52	$\frac{34,4}{24,7}$	72
VI		4 Hh	134,4	$\frac{0,216}{0,160}$	74	$\frac{36,6}{30,9}$	84
VII	Dolomit	1 Hh	5,4	$\frac{0,062}{0,010}$	16	$\frac{18,6}{9,9}$	53
VIII		3 Hh	16,1	$\frac{0,091}{0,010}$	11	$\frac{15,3}{10,1}$	66
IX	Popiół + dolomit	1 Hh	16,8 + 2,7	$\frac{0,093}{0,020}$	22	$\frac{21,3}{11,8}$	55
X		3 Hh	50,4 + 8,1	$\frac{0,137}{0,030}$	22	$\frac{27,3}{18,9}$	69
NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}				$\frac{0,062}{0,069}$	–	$\frac{8,9}{5,2}$	–

Objaśnienia: A – licznik: formy całkowite; mianownik: zawartość form rozpuszczalnych w 1 mol HCl·dm⁻³ (mg·kg⁻¹); B – udział formy rozpuszczalnej w całkowitej zawartości (%).

Zakres zawartości ołowiu (Pb) w glebach obiektów, na których zastosowano popiół lotny mieścił się w przedziale od 19,7 mg·kg⁻¹ (obiekt II) do 36,6 mg·kg⁻¹ (obiekt VI). Zastosowanie popiołów już w dawce obliczonej według 0,75 Hh (25,2 t·ha⁻¹) wpłynęło istotnie (w stosunku do obiektu kontrolnego) na wzrost zawartości Pb w glebie. Poziom naturalnej zawartości Pb w badanej glebie piaszczystej, 30 mg·kg⁻¹ [Kabata-Pendias i in. 1993], został przekroczony w glebach obiektów V–VI po zastosowaniu popiołu. Systematycznemu wzro-

stowi dawki popiołów towarzyszył wzrost zawartości frakcji Pb rozpuszczalnego w 1 mol HCl·dm⁻³. Wyekstrahowany roztworem 1 mol HCl·dm⁻³ ołów stanowił od 53 do 84% całkowitej zawartości tego pierwiastka w glebie.

Testowane odmiany owsa (Polar i Krezus) różniły się pod względem plonowania (tab. 4). Najwyższy plon powietrznie suchej masy obu odmian uzyskano w warunkach obiektu I, gdzie zastosowano popiół lotny oraz w obiekcie X nawożonym popiołem i dolomitem. Odmiana Polar najgorzej plonowała w obiekcie VII, nawożonym tylko dolomitem, a odmiana Krezus w obiekcie VI, gdzie zastosowano najwyższą dawkę popiołów lotnych.

Tabela 4. Plon suchej masy owsa

Table 4. Yields of dry matter of oat

Numer	Obiekty	Dawka		Polar		Krezus	
		według Hh	t·ha ⁻¹	g·wazon ⁻¹	% w stosunku do obiektu kontrolnego	g·wazon ⁻¹	% w stosunku do obiektu kontrolnego
0	Kontrola	0	0	11,2	100	7,9	100
I	Popiół	0,5 Hh	16,8	12,2	109	13,0	165
II		0,75 Hh	25,2	10,2	91	9,8	124
III		1 Hh	33,6	10,3	92	8,3	105
IV		2 Hh	67,2	10,9	97	8,5	108
V		3 Hh	100,8	10,7	96	10,6	134
VI		4 Hh	134,4	11,3	101	7,0	89
VII	Dolomit	1 Hh	5,4	9,1	81	9,2	117
VIII		3 Hh	16,1	9,4	84	9,4	119
IX	Popiół + dolomit	1 Hh	16,8 + 2,7	9,2	82	8,4	106
X		3 Hh	50,4 + 8,1	12,6	113	8,6	109
NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}				0,8	–	0,7	–

4. WNIOSKI

1. Zastosowany popiół lotny poprawił zasobność gleby piaszczystej w makropierwiastki. Najwyższa dawka popiołu – 134,4 t·ha⁻¹ – zwiększyła (w stosunku do kontroli) całkowitą zawartość magnezu o 633%, fosforu o 361% i potasu o 38%, powodując jednocześnie zwiększenie zawartości metali ciężkich (Cd do 0,22 mg·kg⁻¹ i Pb do 36,6 mg·kg⁻¹) do poziomu zawartości podwyższonej (II^o).
2. Popiół lotny zwiększył zasobność gleby w przyswajalne formy magnezu i potasu. Gleba piaszczysta o niskiej zawartości potasu (K) i manganu (Mg) po zastosowaniu popiołu w ilości od 16,8 do 33,6 t·ha⁻¹ osiągała zasobność średnią (K > 63, Mg >21 mg·kg⁻¹). Najwyższe dawki, powyżej 100 t·ha⁻¹, zwiększały zasobność gleby do bardzo wysokiej (K > 146 mg·kg⁻¹, Mg > 61).

3. Optymalną dawką popiołu lotnego, zwiększającą zasobność gleby, a jednocześnie nie powodującą nadmiernego obciążenia zawartymi w popiołach metalami ciężkimi, była dawka $67,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ obliczona według podwójnej kwasowości hydrolitycznej.
4. Zaobserwowano korzystny wpływ na wzrost zasobności gleby w badane mikroprzewodności łącznego stosowania popiołu i dolomitu. Dawka w ilości $50,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ popiołu i $8,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ dolomitu wykazywała podobne działanie, na badane właściwości gleby, jak dawka $67,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ popiołu lotnego. Wzbogacenie gleby dolomitem, w znacznym stopniu ograniczyło zawartość form rozpuszczalnych kadmu (Cd) i ołowiu (Pb).
5. Obie odmiany owsa najwyżej plonowały na obiekcie, gdzie zastosowano nawożenie popiołem w dawce $16,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (obliczone według 0,5 kwasowości hydrolitycznej). Wyższe plony powietrznie suchej masy dała odmiana Polar. Wzrost plonu odmiany Polar w stosunku do kontroli wynosił 9%, a odmiany Krezus 64,5%.

PIŚMIENNICTWO

- ANDRUSZCZAK E., STRĄCZYŃSKI S., ŻURAWSKI H., PABIN J., KAMIEŃSKA W. 1981. Właściwości fizyczne i chemiczne popiołów z hałdy elektrociepłowni Czechnica oraz skład chemiczny roślin zasiedlających hałdę. *Rocz. Glebozn.* 32 (2): 25–35.
- ANTONKIEWICZ J. 2007. Wpływ różnych mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych na plon i zawartość pierwiastków w mieszance traw z komonicą zwyczajną. *Cz. II Metale ciężkie. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 520: 265–278.
- BOGACZ A. 1995. Oddziaływanie melioracyjnych dawek popiołu ze spalania węgla kamiennego na niektóre właściwości fizykochemiczne i chemiczne gleb piaszczystych siedliska boru suchego. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 418: 677–684.
- BOGACZ A., CHODAK T., SZERSZEŃ L. 1995. Badania nad przydatnością popiołów lotnych z Elektrowni Opolo do zagospodarowania rolniczego. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 418: 671–676.
- CIEĆKO Z., NOWAK G., LISOWSKI J. 1993. Właściwości fizykochemiczne gleby w warunkach stosowania popiołu z węgla kamiennego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 409.
- COX D., BEZDICEK D., FAUCI M. 2001. Effects of compost, *coal ash*, and straw amendments on restoring the quality of eroded Palouse soil. *Biology and fertility of soils* v. 33 (5): 365–372.
- DUXSON P., PROVIS J.L., LUKEY G.C., VAN DEVENTER, J.S.J. 2007. The role of inorganic polymer technology in the development of Green concrete. *Cement and Concrete Research* 37 (12): 1590–1597.
- FLANAGAN D.C.; NORTON L.D.; SHAINBERG I. 1997. Effect of water chemistry and *soil* amendments on a silt loam soil. 1. Infiltration and runoff. *Transactions of the ASAE* v. 40 (6): 1549–1554.
- HERMANN J. 1996. Popiół lotny źródłem boru dla roślin. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 434: 193–198.

- KABATA-PENDIAS A., MOTOWICKA-TERELAK T., PIOTROWSKA M., TERELAK H., WI-TEK T. 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. IUNG Puławy P(53): 20.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa: 398.
- KABATA-PENDIAS A., PIOTROWSKA M., WIĄCEK K. 1987. Wpływ popiołów z węgla kamiennego na gleby i rośliny. Arch. Ochr. Środ. 1–2: 97–104.
- KALEMBKIEWICZ J., SITARZ-PALCZAK E., SOČO E., KOPACZ S. 2007. Lotne popioły przemysłowe jak potencjalne źródło emisji kobaltu i manganu do gleby. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 520: 479–483.
- KATZUR J., GORA E. 1986. Auswirkungen gestaffelter Gaben von Steinkohlenfilteraschen auf Boden, Pflanzenertrag und Minereraldungung v. 30 (5): 301–309.
- KOTER M., CZAPLA J., NOWAK G. 1983. Wartość nawozowa popiołu z węgla kamiennego. Rocz. Glebozn. 34 (3): 151–160.
- KOTER M., NOWAK G., CZAPLA J. 1984. Wpływ popiołów z węgla kamiennego na fizykochemiczne właściwości gleby. Rocz. Glebozn. 35 (1): 97–105.
- KOZŁOWSKA B. 1995. Zastosowanie osadów ściekowych do biologicznego zagospodarowania składowisk odpadów paleniskowych. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 418: 859–808.
- KUCZYŃSKA L. 2005. Biologiczna aktywność gleby skażonej popiołem z węgla kamiennego. Rocz. Glebozn. 56 (3/4): 21–30.
- MACIAK F., LIWSKI S. 1981. Wpływ wysokich (melioracyjnych dawek popiołów z węgla brunatnego i kamiennego na plonowanie i skład chemiczny roślin na glebie piaskowej. Rocz. Glebozn. 32 (1): 81–100.
- MACIAK F. 1981. Wpływ wysokich (melioracyjnych) dawek popiołów z węgla brunatnego i kamiennego na niektóre fizykochemiczne i biochemiczne właściwości gleby piaskowej. Rocz. Glebozn. 32 (1): 101–128.
- NOWAK G., CIEĆKO Z. 1983. Działanie popiołu z węgla kamiennego i kory drzewnej na plonowanie roślin i właściwości gleby. Zesz. Nauk. ART. Olsztyn, Rolnictwo 36: 59–68.
- NOWAK G., CIEĆKO Z., PONIKIEWSKI J. 1993. Dynamika potasu w roślinach oraz w glebie lekkiej traktowanej popiołem z węgla kamiennego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 409: 101–111.
- Ochrona środowiska 2008.** GUS, Warszawa. www.stat.gov.pl
- ROSIK-DULEWSKA C., DULEWSKI J. 1989. Skład chemiczny i zawartość wybranych radionuklidów w roślinach uprawianych na składowisku popiołu przy elektrowni Halemba. Rocz. Glebozn. 40 (2).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie katalogu odpadów** z dnia 27 września 2001 r. (Dz.U. Nr 112, poz. 1206).
- SCHUTTER M.E., FUHRMANN J.J. 2001. Soil microbial community responses to fly ash amendment as revealed by analyses of whole soils and bacterial isolates. Soil biology & biochemistry v. 33 (14): 1947–1958.

- STEHOUWER R.C., DICK W.A., SUTTON P. 1999. Acidic soil amendment with a magnesium-containing fluidized bed combustion by-product. *Agronomy Journal* v. 91 (1): 24–32.
- STERNBERG P.D., ULERY A.L., VILLA-C M. 2001. Salinity and boron effects on growth and yield of tepary and kidney beans. *Horticultural Science*, v. 36 (7): 1269–1272.
- STEVENS G., DUNN D. 2004. Fly ash as a liming material for cotton. *Journal of environmental quality* v. 33 (1): 343–348.
- TERELAK H., TUJAKA A. 2003. Występowanie pierwiastków śladowych w glebach użytków rolnych województwa podkarpackiego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 493: 245–252.
- TERELAK H., ŻÓRAWSKA B. 1979. Wpływ popiołów z węgla brunatnego i odpadów paleńskowych z węgla kamiennego oraz torfu na właściwości gleb lekkich i plonowania roślin. *Rocz. Glebozn.* 30 (3): 109–122.
- VEERESH H., TRIPATHY S., CHAUDHURI D., GHOSH B.C., HART B.R., POWELL M.A. 1993. Changes in physical and chemical properties of three soil types in India as a result of amendment with fly ash and sewage sludge. *Environmental geology* v. 43 (5): 513–520.
- WŁAŚNIEWSKI S. 2009. Wpływ stosowania popiołu lotnego z węgla kamiennego na zawartość mikropierwiastków w glebie piaszczystej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* (w druku).
- WOJCIESZCZUK T., NIEDŹWIEDZKI E., MELLER E. 2004. Wpływ nawadniania i popiołu z węgla kamiennego na właściwości chemiczne gleby lekkiej. *Rocz. Glebozn.* 55 (1): 249–255.