

TOMASZ TOMASZEWICZ, JUSTYNA CHUDECKA*

**OCENA CHEMIZMU GLEB POWSTAŁYCH NA BAZIE
POPIOŁÓW Z WĘGLA KAMIENNEGO PO DZIESIĘCIU
LATACH ICH FUNKCJONOWANIA W ŚRODOWISKU**

Streszczenie

Celem pracy była ocena chemizmu 10-letnich gleb powstałych przez złożenie na popiołach z węgla kamiennego 5 wariantów nakładów zawierających substancję organiczną naturalnego i antropogenicznego pochodzenia. Gleby te charakteryzował odczyn zasadowy, niewielkie zasolenie, bardzo wysoka zasobność w przyswajalny fosfor, wysoka w przyswajalny mangan, cynk i miedź oraz średnia w przyswajalny magnez. Zawartość ogólna Zn, Cu, Cd, Pb i Ni nie przekraczała wartości dopuszczonych prawem, jednak wystąpiły przypadki podwyższonych ilości cynku, miedzi i ołowiu oraz powszechnie występujące słabe zanieczyszczenie kadmem.

Słowa kluczowe: popioły z węgla kamiennego, rekultywacja, gleby antropogeniczne, właściwości chemiczne

WSTĘP I CEL

Powstające podczas produkcji energii elektrycznej popioły, stanowiące uboczne produkty spalania (UPS), winny być traktowane nie jako szkodliwy odpad lecz cenny surowiec [Hycnar i in. 2014]. Ich użytkowanie po-zwala na ograniczenie zużycia surowców nieodnawialnych, pozytywnie wpływając na środowisko [Rutkowska i in. 2014]. Popioły wykorzystywane są w górnictwie podziemnym, jako komponent podsadzki hydraulicznej [Iwanek i in. 2008], do produkcji materiałów budowlanych, spoiw, uszczelnień, budowy wałów przeciwpowodziowych i dróg [Ćwiąkała i in. 2013, Kledyński i in. 2012, Zawisza 2007]. Używane są również przy rekultywacji odpadów górniczych, gdzie poprawiają właściwości fizyko-chemiczne, zwiększają ilość składników pokarmowych i przyspieszają sukcesję naturalną [Strzyszczyński i Łukasik 2008], popio-

* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Gleboznawstwa, Łąkarstwa i Chemii Środowiska

łowanie służyło rekultywacyjnym gleb poddanych niszcącemu działaniu Zakładów Azotowych w Puławach [Dyguś i in. 2012]. Innym sposobem zagospodarowania popiołów jest wypełnianie wyrobisk, po wydobyciu żwiru [Koćmit i in. 2007], czy też węgla brunatnego [Pozzi i Mzyk 2012]. Innym sposobem zagospodarowania popiołów jest ich zastosowanie w rolnictwie i leśnictwie. Może być to stosowanie w dawkach melioracyjnych, o długotrwałym wpływie na gleby i roślinność [Ciećko i in. 2009, Maciak i Liwski 1981], jak też aplikacja w dawkach nawozowych [Meller 1999, Podlasińska 2003, Właśniewski 2009]. Jednak część popiołów nadal podlega składowaniu. Charakteryzują się wówczas one bardzo dużą pyłową uciążliwością dla środowiska. Powoduje to konieczność szybkiego utwardzenia powierzchni składowiska i zainicjowania procesów glebotwórczych tworzących warunki do wzrostu i rozwoju pokrywy roślinnej [Siuta i Dyguś 2015].

Wśród sposobów do tego prowadzących można wyróżnić:

- metodę polegającą na naprawie wadliwego chemizmu skały popiołowej poprzez nawożenie mineralne w odpowiedniej ilości i proporcjach [Bender i Gilewska 2004, Gilewska 2004];
- techniczne odtwarzanie gleb polegające na nawiezieniu warstwy próchnicznej lub materiałów mineralnych [Bender i Gilewska 2004, Siuta i in. 2008, Woch 2012, Wróbel i in. 2006];
- tworzenie wierzchniej warstwy z mieszaniny popiołu i substancji organicznych (kompostów, osadów ściekowych, torfu, itp.) [Koćmit i in. 2006, Klimont 2011, Siuta i in. 2008, Siuta i Dyguś 2015].

Celem niniejszej pracy była ocena właściwości chemicznych gleb powstałych na bazie popiołów ze spalania węgla kamiennego w różnych wariantach doświadczenia po 10 latach od jego założenia.

METODYKA

W roku 2003 na terenie Z.E. „Dolna Odra” w Nowym Czarnowie (woj. zachodniopomorskie) założono doświadczenie dotyczące sposobu zagospodarowania zwałowisk popiołów z węgla kamiennego. Na podłożu popiołowym złożono 40-centymetrową warstwę żyzną, zwaną dalej nadkładem, zastosowaną w pięciu wariantach mieszanin różnych materiałów (tab. 1). Następnie obiekt podzielono na poletka doświadczalne i wprowadzono roślinność, w tym mieszanki traw [Czyż i Kitczak 2007].

Jesienią 2013 roku pobrano próbki zbiorcze z sześciu poletek doświadczalnych. Pięć z nich, o nr 1-5, zawierało gleby antropogeniczne utworzone przez nałożenie na popiół nadkładów w wariantach I-V, a na szóstym poletku (nr 30), traktowanym jako kontrola, znajdował się tylko popiół bez nadkładu (tab. 2-5). Z poletek o nr 1-5 pobrano próbki z warstw: 0-40 cm (nadkładu) i 40-60 cm

(popiołu), a na poletku kontrolnym – z warstwy 0-20 cm, zawierającej próchnicę, oraz z warstwy bezpróchnicznej 20-50 cm.

Próbki glebowe wysuszono, roztarto i oznaczono w nich: uziarnienie metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego (nazewnictwo grup granulometrycznych ustalono według PTG 2009); straty materiału na żarzeniu w temperaturze 550°C, przyjęte za zawartość materii organicznej (OM); zawartość CaCO₃ metodą Scheiblera; pH_{KCl} potencjometrycznie w roztworze o stężeniu 1 mol KCl·dm⁻³; zasolenie konduktometrycznie jako przewodność elektrolityczną (EC) zawiesiny wodno-glebowej o stosunku wagowym gleba/woda, jak 1:2,5; ogólną zawartość C, N i S z użyciem elementarnego analizatora CHNS; ilość przyswajalnych form P i K metodą Egnehra-Riehma oraz Mg metodą Schachtschabela; zawartość rozpuszczalnych w 1M HCl form Mn, Zn i Cu metodą ASA oraz ogólną zawartość Zn, Cu, Cd, Pb i Ni metodą ASA po mineralizacji w mieszaninie (1:1) stężonych kwasów azotowego (V) i chlorowego (VII).

Tabela 1. Skład nakładów (0-40 cm) zastosowanych w doświadczeniu w Z.E. Dolna Odra [Koćmit i in. 2006]

Table 1. The composition of surface layers (0-40 cm) used in experiment in Z.E. Dolna Odra [Koćmit et al. 2006]

Numer nakładu No of surface layer	Skład nakładów Composition of surface layers
I	torf niski i popiół w proporcji 1:3 / low peat and ash in proportion of 1:3
II	kora drzew iglastych, piasek luźny, kompost produkowany metodą GWDA i popiół; komponenty te zastosowano w proporcji 1:1:2:4 / bark of conifers, loose sand, compost produced by GWDA method and ash; these components were used in proportion of 1:1:2:4
III	piasek luźny, kompost produkowany metodą GWDA i przefermentowany komunalny osad ściekowy o składzie w przeliczeniu na suchą masę: 70% osadu, 15% słomy i 15% odpadów zieleni miejskiej; te trzy komponenty zastosowano w proporcji 1:1:2 / loose sand, compost produced by GWDA method and fermented municipal sewage sludge of composition on dry weight: 70% of sewage sludge, 15% of straw and 15% of urban green waste; these three components were used in proportion of 1:1:2
IV	piasek luźny, popiół, kompost produkowany metodą GWDA i przefermentowany komunalny osad ściekowy o składzie w przeliczeniu na suchą masę: 70% osadu, 30% odpadów zieleni miejskiej; komponenty te zastosowano w proporcji 0,5:0,5:1:2 / loose sand, ash, compost produced by GWDA method and fermented municipal sewage sludge of composition on dry weight: 70% of sewage sludge and 30% of urban green waste; these components were used in proportion of 0,5:0,5:1:2

V	kora drzew iglastych, piasek luźny, kompost produkowany metodą GWDA i przefermentowany komunalny osad ściekowy o składzie w przeliczeniu na suchą masę: 70% osadu, 30% słomy; komponenty te zastosowano w proporcji 1:1:2:4 / bark of conifers, loose sand, compost produced by GWDA method and fermented municipal sewage sludge of composition on dry weight: 70% solid, 30% straw; these components were used in proportions of 1:1:2:4
---	--

WYNIKI I DYSKUSJA

Gleby powstałe przez nałożenie na popiół nakładów I-V sklasyfikowano jako industrioziemne próchniczne (AIpr) o sekwencji poziomów: Aan-2Can [PTG 2011]. Nakłady zaliczono do kategorii agronomicznej gleb lekkich o składzie piasków gliniastych (pg). Wyjątkiem był nakład IV z poletka 5, o uziarnieniu gliny piaszczystej (gp), wskazującej na kategorię gleb średnich, podobnie jak podłoża popiołowe (tab. 2).

Zróżnicowana zawartość materii organicznej (OM) w badanych glebach (tab. 2) jest z jednej strony rezultatem zastosowania w formowaniu nakładów mieszanin o różnym udziale tego składnika (tab. 1), a z drugiej strony skutkiem zróżnicowanego rozwoju roślin na poletkach doświadczalnych. Najwyższe ilości materii organicznej: 18,3 i 12,8% dotyczyły odpowiednio nakładów: II i IV, które powstały z dużym udziałem kompostu i osadu ściekowego. W przypadku poletka 30, ilość materii na poziomie ok. 4%, zawdzięczamy jedynie 10-letniemu oddziaływaniu roślinności. Podobnie względnie wysoką zawartość materii, na poziomie 10%, na poletku 4 z nakładem I należy przypisać przede wszystkim oddziaływaniu roślin, bowiem w formowaniu tego nakładu użyto jedynie nieznacznej ilości torfu niskiego. Na podkreślenie zasługuje fakt, że po 10 latach istnienia doświadczenia, na skutek oddziaływania flory i fauny oraz czynników klimatycznych, dość znaczną zawartość materii organicznej, w zakresie 3,7-4,4%, wykazało podłoże popiołowe gleb, tj. warstwa 40-60 cm gleb uformowanych z użyciem nakładów oraz warstwa 20-50 cm gleby beznakładowej na poletku 30. Taka sytuacja wskazuje na dużą aktywność biologiczną badanych gleb antropogenicznych.

Badane gleby zawierały węglan wapnia, którego ilość w nakładach kształtowała się w zakresie 0,9-2,9% i była przeważnie niższa niż w popiołach, dla których wynosiła 1,9-3,8% (tab. 2). Znaczna ilość tego składnika będzie skutkowała neutralizującą na kwaśne jony i powodowała, że odczyn badanych gleb jeszcze długo będzie utrzymywał się jako zasadowy i obojętny. Iwanek i in. [2008] oraz Szponder i Trybalski [2009] potwierdzili, że wysokie pH popiołów fluidalnych i lotnych wynika z dużej zawartości w nich związków wap-

nia i magnezu, w tym kalcytu i dolomitu, co daje możliwość ich zastosowania do neutralizacji kwaśnych gleb i odcieków ze składowisk odpadów.

Tabela 2. Skład granulometryczny, zawartość materii organicznej (OM) i CaCO₃ w badanych glebach

Table 2. Granulometric composition, content of organic matter (OM) and CaCO₃ in investigated soils

Nr poletka i nadkładu No of plot and surface layer	Layer [cm]	Procentowa zawartość frakcji granulometrycznych o średnicy w mm Percentage content of granulometric fractions with diameter in mm			Grupa granulometryczna Granulometric group	OM	CaCO ₃
		2,0-0,05	0,05-0,002	< 0,002			
1-III	0-40	85,2	11,8	3,0	pg	6,1	0,9
	40-60	60,5	39,5	0,0	gp	3,8	3,0
2-II	0-40	74,4	24,6	1,0	pg	18,3	2,1
	40-60	55,2	43,8	1,0	gp	4,1	3,0
3-V	0-40	73,4	25,6	1,0	pg	5,6	2,4
	40-60	54,2	45,8	0,0	gp	3,9	2,6
4-I	0-40	77,2	19,8	3,0	pg	10,0	2,9
	40-60	63,7	36,3	0,0	gp	3,7	3,8
5-IV	0-40	67,3	28,7	4,0	gp	12,8	2,1
	40-60	61,4	36,6	2,0	gp	3,8	2,3
30	0-20	63,1	35,9	1,0	gp	4,1	2,7
	20-50	59,4	40,6	0,0	gp	4,4	1,9

Objaśnienia/Explanation: pg - piasek gliniasty/loamy sand, gp - glina piaszczysta/sandy loam

Wartości pH_{KCl}, mimo spadku w stosunku do roku 2003 [Koćmit i in. 2006, Chudecka i Tomaszewicz 2009], nadal wskazywały na odczyn zasadowy, rzadziej obojętny (nadkład na poletkach 1 i 4) (tab. 3). Zbliżone wartości pH_{KCl} dla popiołów użyźnionych osadami ściekowymi uzyskali Klimont [2011] oraz Bajor i in. [2014]. Gilewska i Przybyła [2001] potwierdzili, że wprowadzenie osadów ściekowych powoduje obniżenie pH popiołów.

Przewodność elektrolityczna (EC) wynosząca od 0,131 do 0,213 mS·cm⁻¹ (tab. 3) pozwoliła uznać badane gleby za nieznacznie zasolone, w przedziale nieszkodliwym dla roślin i innych organizmów glebowych [Małuszyńska i Małuszyński 2009].

Siuta [2003] podkreślił, że proporcja C:N w glebach mineralnych wynosi przeważnie 8-12 (średnio ok. 10). W przypadku badanych gleb zbliżony do optymalnego stosunek węgla do azotu uzyskano dla nadkładów: III (poletko 1 – 13,0) i I (poletko 4 – 13,4) (tab. 3). Dla pozostałych nadkładów, a zwłaszcza wierzchniej warstwy poletka 30 stosunek ten był za szeroki, świadczący o zbyt dużej przewodze zawartości węgla nad ilością azotu. W takich warunkach może

mieć miejsce silna konkurencja o azot między mikroorganizmami a roślinami, co często ogranicza wzrost tych drugich.

Tabela 3. Wartości pH_{KCl} i zasolenia (EC), ogólna zawartość C, N i S oraz wartości stosunków C:N i N:S w badanych glebach

Table 3. Value of pH_{KCl} and electric conductivity (EC), total content of C, N, S and proportions of C:N and N:S in investigated soils

Nr poletka i nadkładu No of plot and surface layer	Warstwa Layer [cm]	pH_{KCl}	EC [mS·cm ⁻¹]	[%]			C:N	N:S
				C	N	S		
1-III	0-40	7,1	0,213	2,41	0,1858	0,0277	13,0	6,7
	40-60	8,3	0,167	2,44	0,0152	0,0305	-	-
2-II	0-40	7,7	0,131	2,70	0,1327	0,0361	20,3	3,7
	40-60	8,5	0,156	2,39	0,0206	0,0374	-	-
3-V	0-40	7,7	0,131	2,70	0,1137	0,0274	23,7	4,1
	40-60	8,2	0,169	2,32	0,0116	0,0290	-	-
4-I	0-40	7,2	0,207	3,26	0,2433	0,0459	13,4	5,3
	40-60	8,3	0,182	1,74	0,0115	0,0115	-	-
5-IV	0-40	7,5	0,213	5,78	0,3181	0,0905	18,2	3,5
	40-60	8,2	0,145	2,13	0,0203	0,0228	-	-
30	0-20	8,3	0,181	2,39	0,0235	0,0235	101,7	1,0
	20-50	8,4	0,201	2,26	0,0710	0,0261	-	-

Ilość siarki ogółem (tab. 3) odpowiadała zawartości naturalnej, jedynie nadkład IV na poletku 5 wykazał zawartość tego makroskładnika, przy której stwierdza się stężenie podwyższone antropogenicznie [0,1% S wg Kabaty-Pendias i in. 1995].

Kulczycki [2003] w żyznych glebach o uziarnieniu piasku słabogliniastego i gliny lekkiej stwierdził stosunek azotu do siarki kształtujący się w przedziale 6-7. Jedynie w nadkładzie III (poletko 1), proporcja N:S (6,7) odpowiadała optymalnej dla roślin, a w pozostałych glebach (z nadkładami I, II, IV, V) stosunek ten był zawężony i wahał się od 3,5 do 5,3, wskazując na niedobór azotu względem siarki (tab. 3).

Zawartość przyswajalnego fosforu (tab. 4) odpowiadała kategorii zasobności bardzo wysokiej [wg Obojskiego i Strączyńskiego 1995], aczkolwiek nadkłady zawierały średnio więcej tego makroskładnika niż popioły (odpowiednio: 21,7 i 16,1 mg·100g⁻¹ gleby). Klimont [2011], w poziomie próchnicznym gleb utworzonych przez dodatek osadów ściekowych do popiołów, funkcjonujących w środowisku 4-6 lat, uzyskał zbliżone do prezentowanych w niniejszej pracy średnie ilości fosforu przyswajalnego, w granicach 20,6-21,7 mg·100 g⁻¹ gleby. Bajor i in. [2014], dla poziomu próchnicznego gleb utworzonych na bazie tych

samych substratów, po 5-8 latach ich istnienia w środowisku, uzyskali z kolei niższe przeciętne zawartości fosforu przyswajalnego, na poziomie porównywalnym do stwierdzonego w wierzchniej warstwie poletka 30.

Mimo zbliżonej ilości przyswajalnego magnezu (tab. 4) w nadkładach i popiołach (średnie zawartości odpowiednio: 4,36 i 4,32 mg·100 g⁻¹ gleby) odnotowano wyraźne zróżnicowanie zasobności w ten pierwiastek [wg Obojskiego i Strączyńskiego 1995]. Nadkłady prezentowały kategorie zasobności: średnią (nadkłady I, II, IV i V) do wysokiej (nadkład III), a popioły na ogół niską, rzadziej średnią (poletka 2 i 4).

Średnia zawartość potasu przyswajalnego w nadkładach i popiele była zbliżona (odpowiednio 14,0 i 14,5 mg·100 g⁻¹ gleby), jednak w pojedynczych przypadkach (tab. 4) była znacznie zróżnicowana, wskazując na kategorie zasobności dla nadkładów [Obojski i Strączyński 1995]: od niskiej (nadkład V) przez średnią (nadkład II i IV), wysoką (nakład III) do bardzo wysokiej (nadkład I), natomiast w popiołach od niskiej (poletko 5) przez średnią (poletka 1, 2, 3, 30 – warstwa 0-20 cm) do wysokiej (poletko 4 i 30 – warstwa 20-50 cm).

Tabela 4. Zawartość przyswajalnych form makro- i mikrośladników

Table 4. Content of available forms of macro- and microelements

Nr poletka i nadkładu No of plot and surface layer	Warstwa Layer [cm]	Mg	P	K	Mn	Zn	Cu
		mg·100g ⁻¹ gleby mg·100g ⁻¹ of soil				mg·kg ⁻¹ gleby mg·kg ⁻¹ of soil	
1-III	0-40	4,16	25,7	12,1	567,9	59,4	14,0
	40-60	4,22	17,0	15,8	984,2	22,5	13,9
2-II	0-40	4,44	21,4	11,3	780,9	45,4	11,9
	40-60	4,42	14,7	12,8	896,9	24,3	15,3
3-V	0-40	4,32	19,2	9,5	816,3	30,9	11,3
	40-60	4,46	14,9	12,6	913,2	65,2	17,3
4-I	0-40	4,40	24,3	26,1	1036,6	65,2	17,8
	40-60	4,28	15,0	16,8	1025,0	23,7	17,5
5-IV	0-40	4,50	18,1	10,8	814,0	20,0	9,1
	40-60	4,30	16,7	10,8	912,0	24,2	14,8
30	0-20	4,10	17,7	13,8	944,1	23,7	14,1
	20-50	4,48	16,8	19,1	854,3	25,5	16,8

Zawartość przyswajalnych form mikrośladników (Mn, Zn, Cu) w glebach Dolnej Odry była wprawdzie dość zróżnicowana (tab. 5), ale ocena wykonana według kryteriów Obojskiego i Strączyńskiego [1995], wskazała, że zasobność w te trzy pierwiastki była wysoka, za wyjątkiem nadkładu IV (poletko 5), gdzie zasobność w Zn była średnia.

Zawartość ogólna metali ciężkich w badanych glebach (tab. 5) nie przekraczała wartości dopuszczalnych według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [Dz.U. 2002 nr 165 poz. 1359] dla gleb grupy C.

Tabela 5. Ogólna zawartość metali ciężkich w badanych glebach

Table 5. Total content of heavy metals in investigated soils

Nr poletka i nadkładu No of plot and surface layer	Warstwa Layer (cm)	Zn	Cu	Cd	Pb	Ni
		mg·kg ⁻¹ gleby (mg·kg ⁻¹ of soil)				
1-III	0-40	76,2	17,8	1,45	49,5	7,3
	40-60	31,4	29,1	1,80	41,6	34,8
2-II	0-40	51,7	19,9	1,55	43,9	17,8
	40-60	52,9	41,5	2,73	42,0	43,4
3-V	0-40	48,8	19,4	1,65	38,0	17,4
	40-60	72,7	41,9	2,05	60,6	53,1
4-I	0-40	104,9	24,9	1,80	97,8	11,9
	40-60	38,7	33,3	1,85	44,0	33,6
5-IV	0-40	32,6	22,4	1,65	46,9	22,9
	40-60	36,6	29,5	1,65	50,1	33,2
30	0-20	47,5	38,9	1,85	41,8	49,0
	20-50	49,5	39,2	1,90	49,6	40,2

Stosując kryteria Kabaty-Pendias i in. [1995] stwierdzono, że badane gleby zawierały naturalną ilość niklu (0°). Zawartość cynku, miedzi i ołowiu była bardzo często naturalna, tylko w pojedynczych przypadkach podwyższona (I° dla Zn, Cu i Pb w nadkładzie III, dla Zn i Pb w nadkładzie I oraz dla Cu w popiele na poletkach 2-4). Metalem względnie najsilniej zanieczyszczającym badane gleby był kadm. Słabe zanieczyszczenie kadmem (II°) stwierdzono dla wszystkich nadkładów (I-V) oraz popiołu z poletka 4. Pozostały popiół charakteryzował się podwyższoną zawartością tego metalu. O ile wzbogacenie odpadów paleniskowych w metale ciężkie bywa często potwierdzone [Rosik-Dulewska i in. 2009], o tyle wysoka zawartość tych pierwiastków w osadach ściekowych, mogąca powodować skażenie środowiska, jest sytuacją powszechnie notowaną. Znaczne wzbogacenie osadów w metale ciężkie, zwłaszcza kadm i chrom, potwierdzili m.in. Latosińska i Gawdzik [2011]. Autorzy ci podkreślili również, że odpady te mogą zawierać dużą ilość mobilnych form Cd i Cr. Według Kalembasy i in. [2007], zawartość mobilnych form metali ciężkich może zwiększyć się istotnie w trakcie kompostowania osadów ściekowych oraz ich mieszanin z popiołem, trocinami i słomą. W przypadku badanych gleb sugeruje to możliwość uruchamiania tych pierwiastków, zwłaszcza kadmu, w miarę rozkładu materii organicznej.

WNIOSKI

1. Gleby antropogeniczne powstałe 10 lat temu przez nałożenie na popiół z węgla kamiennego nadkładów o różnym udziale naturalnej i antropogenicznej substancji organicznej sklasyfikowano jako industrioziemne próchniczne (AIpr) z sekwencją poziomów Aan-2Can. Gleby te mieszczą się w kategorii agronomicznej gleb lekkich.
2. Charakteryzowały się one odczynem zasadowym, niewielkim stopniem zasolenia, bardzo wysoką zasobnością w przyswajalny fosfor, wysoką zasobnością w przyswajalne formy manganu, cynku i miedzi oraz średnią zasobnością w przyswajalny magnez.
3. Rodzaj zastosowanego nadkładu silnie zróżnicował zasobność badanych gleb w materię organiczną i przyswajalny potas oraz wartości stosunków C:N i N:S.
4. Zawartość ogólna Zn, Cu, Cd, Pb i Ni w glebach nie przekraczała wartości dopuszczonych prawem, ale kryteria pozaprawne ujawniły przypadki wystąpienia podwyższonych ilości cynku, miedzi i ołowiu oraz występujące powszechnie słabe zanieczyszczenie gleb kadmem.
5. Biorąc pod uwagę całokształt ocenianych właściwości chemicznych, za najbardziej żyźne należy uznać gleby wytworzone z udziałem nakładów I i III.

LITERATURA

1. BAJOR P., BULIŃSKA-RADOMSKA Z., KLIMONT K., OSIŃSKA A.; 2014. Ocena rozwoju roślinności na składowisku popiołów paleniskowych użyźnionych osadem ściekowym. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, tom R. 22(2), 51-61.
2. BENDER J., GILEWSKA M.; 2004. Rekultywacja w świetle badań i wdrożeń. *Rocz. Glebozn.* 55(2), 29-46.
3. CHUDECKA J., TOMASZEWICZ T.; 2009. Wybrane właściwości fizyczne i chemiczne gleb antropogenicznych wytworzonych na bazie odpadów paleniskowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 540, 321-327.
4. CIEĆKO Z., ŻOŁNOWSKI A. C., KULMACZEWSKA J., CHEŁSTOWSKI A.; 2009. Wpływ następczy melioracyjnych dawek popiołów z węgla kamiennego na kwasowość gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 535, 73-83.
5. CZYŻ H., KITCZAK T.; 2007. Przydatność gatunków traw i surowców odpadowych do rekultywacji hałd popiołowo-żuźlowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 518, 45-52.
6. DYGUŚ K.H., SIUTA J., WASIAK G., MADEJ M.; 2012. Roślinność składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych. *Seria: Monografie Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania, Warszawa*; ss. 134.

7. GILEWSKA M.; 2004. Rekultywacja biologiczna składowisk popiołowych z węgla brunatnego. *Roczniki Gleboznawcze* 55(2), 103-109.
8. GILEWSKA M., PRZYBYŁA C.; 2001. Wykorzystanie osadów ściekowych w rekultywacji składowisk popiołowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 477, 217-222.
9. HYCINAR J., SZCZYGIELSKI T., LYSEK N., RAJCZYK R.; 2014. Kierunki optymalizacji zagospodarowania ubocznych produktów spalania węgla. *Piece Przemysłowe & Kotły* 5-6, 16-27.
10. IWANEK P., JELONEK I., MIRKOWSKI Z.; 2008. Wstępne badania popiołów z kotła fluidalnego w aspekcie ich zagospodarowania. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 24, 4(4), 91-104.
11. KABATA-PENDIAS A., PIOTROWSKA M., 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, PIOŚ, IUNG, Warszawa; ss. 28.
12. KALEMBASA S., WYSOKIŃSKI A., SYMANOWICZ B.; 2007. Zawartość metali ciężkich w świeżych i kompostowanych osadach ściekowych oraz ich mieszaninach z CaO, popiołem z węgla brunatnego, trocinami i słomą. *Inżynieria Ekologiczna* 18, 82-83.
13. KLEDYŃSKI Z., FALACIŃSKI P., MACHOWSKA A.; 2012. Uboczne produkty spalania w remontach i modernizacji wałów przeciwpowodziowych. *Symposium Europejskie, Współczesne Problemy Ochrony Przeciwpowodziowej, Paris-Orléans 28-29-30.03.2012*, http://www.donnees.centre.developpement-durable.gouv.fr/symposium/expose/ST2-4_pol.pdf.
14. KLIMONT K.; 2011. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego i popiołów paleniskowych. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 2, 165-176.
15. KOĆMIT A., CHUDECKA J., TOMASZEWICZ T.; 2006. Charakterystyka warunków rozwoju procesu glebotwórczego na składowisku popiołów z węgla kamiennego w różnych wariantach doświadczenia. *Rocz. Glebozn.* 57(1/2), 117-123.
16. KOĆMIT A., CHUDECKA J., TOMASZEWICZ T., RACZKOWSKI B., PODLASIŃSKI M.; 2007. Stan żwirowiska w pierwszym roku po rekultywacji popiołami lotnymi. *Rocz. Glebozn.* 58(1/2), 53-62.
17. KULCZYCKI G.; 2003. Wpływ nawożenia siarką elementarną na plon i skład chemiczny roślin oraz właściwości chemiczne gleby. *Nawozy i Nawożenie, Fertilizers and Fertilization* 5, 4(17), 151-159.
18. LATOSIŃSKA J., GAWDZIK J.; 2011. Mobilność metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych z przyzakładowych oczyszczalni ścieków Polski centralnej. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 50, 20-32.

19. 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.
20. MAŁUSZYŃSKA I., MAŁUSZYŃSKI M.; 2009. Badanie wpływu zasolenia gleby na wzrost i rozwój wybranych gatunków roślin. *Inżynieria Ekologiczna* 21, 32-39.
21. MELLER E.; 1999. Oddziaływanie zróżnicowanych dawek popiołów ze spalania węgla kamiennego w Elektrowni "Dolna Odra" na plon i skład chemiczny roślin uprawnych. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Agricultura* 201, 78, 203-213.
22. OBOJSKI J., STRĄCZYŃSKI S.; 1995. Odczyn i zasobność gleb Polski w makro- i mikroelementy. IUNG Puławy; ss. 48.
23. PODLASIŃSKA, J.; 2003. Przydatność popiołów lotnych z Elektrowni "Dolna Odra" do poprawy właściwości chemicznych zalesionej gleby porolnej. *Rekultywacja Terenów Zdegradowanych: II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna*, 11-12 kwietnia 2003 r., 33-37.
24. POZZI, M.; MZYK, T.; 2012. Ocena możliwości zastosowania mieszanek popiołowo-gruntowych do rekultywacji wyrobiska KWB w Bełchatowie. *Górnictwo i Geologia*, 7(2), 219-228.
25. PTG, 2009. Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych. *Rocz. Glebozn.* 60(2), 5-16.
26. PTG, 2011. Systematyka gleb Polski. Wyd. 5. *Rocz. Glebozn.* 62(3); ss. 193.
27. ROSIK-DULEWSKA C., KARWACZYŃSKA U., CIESIELCZYK T., GŁOWAŁA K.; 2009. Możliwości nieprzemysłowego wykorzystania odpadów z uwzględnieniem zasad obowiązujących w ochronie środowiska. *Rocznik Ochrona Środowiska* 11, 863-874.
28. ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. *Dz.U.* 2002 nr 165 poz. 1359.
29. RUTKOWSKA G., MAŁUSZYŃSKA I., ROSA M.; 2014. Badania właściwości betonu wyprodukowanego z dodatkiem popiołu lotnego. *Inżynieria Ekologiczna* 36, 53-64.
30. SIUTA J.; 2003. Ekologiczne, technologiczne i prawne aspekty rekultywacji gruntów zanieczyszczonych produktami ropy naftowej. *Inżynieria Ekologiczna* 8, 7-26.
31. SIUTA J.; DYGUŚ K.; 2015. Plony i chemizm roślin wielowariantowego doświadczenia na modelowym złożu odpadów paleniskowych energetyki węglowej. Część II (lata 2012-2013). *Inżynieria Ekologiczna*, 42, 47-62.
32. SIUTA J., WASIAK G., MADEJ M.; 2008. Rekultywacja efektywności kompostów i osadów ściekowych na złożu odpadów paleniskowych w doświadczeniu modelowym. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 34, 145-172 + 26 fot.

33. STRZYSZCZ Z., ŁUKASIK A.; 2008. Zasady stosowania różnorodnych odpadów do rekultywacji biologicznej terenów przemysłowych na Śląsku. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 24(2/3), 41-49.
34. SZPONDER D.K., TRYBALSKI K.; 2009. Określania właściwości popiołów lotnych przy użyciu różnych metod i urządzeń badawczych. *Górnictwo i Geoinżynieria* 33(4), 287-298.
35. WŁAŚNIEWSKI S.; 2009. Wpływ nawożenia popiołem lotnym z węgla kamiennego na wybrane właściwości chemiczne gleby piaszczystej i plonowanie owsa. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 41, 479-488.
36. WOCH W.; 2012. Nowe i rzadkie gatunki synantropijne flory Polski na nieczynnych hydroosadnikach Elektrowni Siersza w Trzebini. *Fragm. Florist. Geobot. Polon.* 19(1): 29-38
37. WRÓBEL M., PACEWICZ K., WIECZOREK T., GILEWSKA M., OTREMBA K.; 2006: Charakterystyka wzrostu krzewów karagany syberyjskiej, derenia świdy i rokitnika zwyczajnego na składowisku popiołów elektrownianych. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus* 5(1), 75-86.
38. ZAWISZA E.; 2007. Analiza przydatności drobnoziarnistych odpadów przemysłowych do uszczelniania obwałowań przeciwpowodziowych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 4(2), 223-230.

THE ASSESMENT OF CHEMICAL PROPERTIES OF SOILS MADE ON BASE OF ASHES FROM HARD COAL AFTER TEN YEARS OF THEIR FUNCTIONING IN ENVIRONMENT

S u m m a r y

The aim of study was to evaluate chemical properties of 10-year-old soils made by submission on ashes from hard coal 5 variants of surface layer including organic matter of natural and anthropogenic origin. These soils were characterized by alkaline reaction, low salinity, very high abundance of available phosphorus, high abundance of available manganese, zinc, copper and average abundance of available magnesium. The total content of Zn, Cu, Cd, Pb, and Ni was less than admitted by law, however reported cases of elevated amounts of zinc, copper and lead and wide-spread existing poor contamination of cadmium.

Key words: ashes from hard coal, reclamation, anthropogenic soils, chemical properties