

## OCENA PRZYDATNOŚCI POPIOŁÓW FLUIDALNYCH Z WĘGLA KAMIENNEGO DO CELÓW ROLNICZYCH

Elżbieta Jolanta Bielińska, Stanisław Baran

*Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie*

Sławomir Stankowski

*Katedra Agromonii, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie*

**Streszczenie.** W pracy zbadano wpływ popiołów fluidalnych z węgla kamiennego na aktywność enzymatyczną i właściwości chemiczne gleby lekkiej. Oceniono również oddziaływanie popiołów na środowisko glebowe w przypadku użycia Efektywnych Mikroorganizmów (preparat EM-1). W doświadczeniu polowym uwzględniono 7 wariantów nawozowych: kontrola; 1 CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>; 1,5 CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>; 1 popiół fluidalny; 1,5 popiół fluidalny; 1 popiół fluidalny + EM-1; 1,5 popiół fluidalny + EM-1. Wapno dolomitowe i popiół zastosowano w dwóch dawkach, odpowiadających 1,0 i 1,5 kwasowości hydrolitycznej gleby, wyrażonej w mmol H<sup>+</sup>·kg<sup>-1</sup> gleby. Zastosowanie popiołów fluidalnych z węgla kamiennego nie zmieniło zawartości Zn, Cu i Cd w glebie i wpłynęło na wzrost jej aktywności enzymatycznej. Największą aktywnością enzymatyczną cechowały się gleby wzbogacone niższą dawką popiołów. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość wykorzystania popiołów z węgla kamiennego do celów nawozowych. Nie stwierdzono znaczącego wpływu preparatu mikrobiologicznego EM-1 na właściwości chemiczne i biochemiczne gleb.

**Słowa kluczowe:** gleba, popioły fluidalne z węgla kamiennego, aktywność enzymatyczna, metale ciężkie

### Wstęp

W 2007 roku elektrownie w Polsce wytworzyły ponad 4,5 miliona ton popiołów lotnych [GUS 2008]. Stwarza to określone problemy ekologiczne i ekonomiczne związane z ich gromadzeniem, koniecznością rekultywacji skażonych terenów, utratą rolniczej przestrzeni produkcyjnej, zanieczyszczeniem powietrza, wód gruntowych itp. Jednym ze sposobów zagospodarowania wysoce zasadowych popiołów fluidalnych powstających podczas spalania węgla kamiennego jest ich zastosowanie rolnicze jako niekonwencjonalnych nawozów wapniowo-magnezowych [Murkowski, Stankowski 2002; Kuczyńska 2005]. Mimo wielu badań w tym zakresie, problem utylizacji popiołów lotnych w naszym kraju jest nadal nierozwiązany, a ich rolnicze wykorzystanie budzi wciąż wiele kontrowersji z punktu widzenia ich potencjalnego zagrożenia dla środowiska przyrodniczego, przede wszystkim ze względu na migrację metali ciężkich [Quant 2000; Kuczyńska 2005].

Zmiany aktywności enzymów glebowych odzwierciedlać mogą zaburzenia środowiska oddziałujące zarówno na glebę, jak i funkcjonowanie biocenoz [Margesin i in. 2000].

Wskaźniki enzymatyczne są często stosowane jako proste testy toksyczne do oceny wpływu zanieczyszczeń przemysłowych na organizmy żywe [Bielińska 2007]. Podstawowe zalety biologicznych metod oceny stanu środowiska glebowego, opartych na oznaczeniach aktywności enzymów, to nie tylko możliwość wykonywania seryjnych analiz, ale przede wszystkim zdolność sumarycznego wyrażenia wpływu licznych czynników oraz dokonywania ocen parametrów niemożliwych do określenia w inny sposób, na przykład elementów metabolizmu komórkowego [Domżał, Bielińska 2007].

W celu oceny przydatności rolniczego wykorzystania popiołów fluidalnych z węgla kamiennego przeprowadzono kompleksowe badania reakcji środowiska glebowego na ich zastosowanie. Przedmiotem badań była analiza wpływu popiołów wprowadzonych do gleby lekkiej na jej aktywność enzymatyczną i właściwości chemiczne, w tym zawartość metali ciężkich. W niniejszej pracy zbadano również oddziaływanie popiołów fluidalnych z węgla kamiennego na gleby w przypadku użycia Efektywnych Mikroorganizmów.

## **Materiał i metody badań**

Badania gleboznawcze przeprowadzono w 2008 roku w oparciu o doświadczenie polowe zlokalizowane w miejscowości Małyszyn koło Gorzowa Wielkopolskiego (Hodowla Roślin Strzelce sp. zoo. Oddział Małyszyn) na glebie lekkiej, klasa bonitacyjna VI. Doświadczenie założono w 2006 roku metodą bloków kompletnie zrandomizowanych w 4 powtórzeniach. Powierzchnia poszczególnych poletek wynosiła 10 m<sup>2</sup>. W schemacie doświadczenia uwzględniono 7 wariantów nawozowych: 1) kontrola, 2) wapno dolomitowe – 1 CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>, 3) wapno dolomitowe – 1,5 CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>, 4) popiół fluidalny – 1 popiół, 5) popiół fluidalny – 1,5 popiół, 6) popiół fluidalny łącznie z preparatem mikrobiologicznym – 1 popiół + EM-1, 7) popiół fluidalny łącznie z preparatem mikrobiologicznym – 1,5 popiół + EM-1. Wapno dolomitowe i popiół zastosowano w dwóch dawkach, odpowiadających 1,0 i 1,5 kwasowości hydrolitycznej gleby, wyrażonej w mmol H<sup>+</sup>·kg<sup>-1</sup> gleby w poziomie akumulacyjnym A<sub>p</sub>. Dawki nawozu wapniowego oraz popiołu fluidalnego ustalono na podstawie zawartości w nich wapnia i magnezu.

W doświadczeniu zastosowano wysokowapniowe popioły lotne z Elektrociepłowni Żerań (Elektrociepłownie Warszawskie S.A. – Vattenfall) zakwalifikowane wg aktualnie obowiązującej w Polsce normy PN-S-96035 do bardzo aktywnych (o zawartości CaO ≥ 14%).

Preparat mikrobiologiczny EM-1 zawierający w swoim składzie Efektywne Mikroorganizmy jest mieszaniną bakterii kwasu mlekowego, bakterii fotosyntetyzujących, promieniowców, grzybów fermentujących i drożdży. Zdaniem producenta preparat EM-1 przyspiesza rozkład materii organicznej w glebie oraz powoduje szybsze tempo udostępniania roślinom składników pokarmowych z trudno rozpuszczalnych skał fosforowych i potasowych [Higa 2002].

W trzyletnim zmianowaniu, począwszy od roku 2007 uprawiano następujące rośliny: jęczmień jary, bobik, pszenica. W każdym roku uprawiano wszystkie trzy rośliny. Corocznie nawożenie P i K wykonywano wiosną przy zastosowaniu POLIFOSKI®5 NPK (Mg-S) 5-15-30-(2-7) w ilości 250 kg·ha<sup>-1</sup>. Nawożenie azotem w formie salety amonowej (34%) stosowano dla wszystkich roślin przed siewem w ilości 34 kg N·ha<sup>-1</sup>, a przypadku zbóż

dodatkowo saletrę amonową (34%) w drugim terminie (krzewienie), w dawce  $34 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  oraz mocznik (46%) w trzecim terminie (strzelanie w źdźbło) w ilości  $36 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

W doświadczeniu wysiewano pszenicę odmiany Nawra w ilości  $300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  i jęczmień jary odmiany Lot w ilości  $140 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Rozstawa rzędów na poletku dla zbóż wynosiła  $12,5 \text{ cm}$  a liczba rzędów 8. Bobik odmiany Martin wysiewano w ilości  $318 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Rozstawa rzędów na poletku wynosiła  $25 \text{ cm}$  a liczba rzędów 4. W 2008 roku nasiona wszystkich gatunków roślin wysiano 11 kwietnia. Podczas realizacji doświadczenia prowadzono podstawowe zabiegi pielęgnacyjne zgodnie z zasadami prawidłowej agrotechniki.

Próbki gleby do badań pobrano z warstwy ornej po zbiorze uprawianych roślin, ze wszystkich poletek doświadczalnych. Analizowana próbka glebowa była średnią z 4 próbek pobranych z każdego obiektu. W próbkach glebowych oznaczono aktywność enzymów: dehydrogenaz [Thalmann 1968], fosfataz [Tabatabai, Bremner 1969], ureazy [Zantua, Bremner 1975], proteazy [Ladd, Butler 1972]; odczyn – pH w  $1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$  KCl [ISO 10390]; węgiel organiczny [ISO 14235]; azot amonowy i azot azotanowy [ISO 14255] oraz całkowitą zawartość Zn, Cu i Cd metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (AAS) po rozтворzeniu próbek w wodzie królewskiej (HCl:HNO<sub>3</sub> 3:1). Wszystkie oznaczenia wykonywano w trzech powtórzeniach.

Istotność różnic pomiędzy poszczególnymi wartościami oznaczeń enzymatycznych oceniano za pomocą testu Tukeya na poziomie istotności  $p < 0,05$ .

## Wyniki i dyskusja

Zastosowanie wapna dolomitowego i popiołów fluidalnych spowodowało zmianę odczynu badanej gleby z kwaśnego w kierunku lekko kwaśnego (tab. 1). Obserwowane różnice, w porównaniu do obiektu kontrolnego, mieściły się w granicach  $0,2\text{-}1,4$  jednostki pH w  $1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$  KCl, w zależności od sposobu nawożenia i gatunku uprawianej rośliny (tab. 1). Relatywnie niskie wartości pH zanotowano w glebie obiektów: „1 popiół fluidalny” i „1 popiół fluidalny + EM-1”. Mogło to być efektem nasilenia procesów biochemicznych (tab. 3) generujących gromadzenie się CO<sub>2</sub> w środowisku glebowym, który zwiększając rozpuszczalność CaCO<sub>3</sub> i wymywanie zasad wzmaga procesy zakwaszenia [Filipek 1998]. Zmiana odczynu gleb po wapnowaniu jest faktem powszechnie znanym i nie wymaga komentarza. Jednak wapnowanie zmienia właściwości fizyczno-chemiczne gleb [Hajnos i in. 1998; Badora 1999] i niektórzy autorzy donoszą o szkodliwym wpływie tego zabiegu wyrażającym się spadkiem zawartości materii organicznej w glebie [Marschner 1990; Biełńska 2001]. Podobne tendencje zaznaczyły się również w niniejszych badaniach, na co wskazuje nieznacznie wyższa zawartość węgla organicznego w glebie kontrolnej niż w glebie nawożonej wapnem dolomitowym i popiołem (tab. 1). Generalnie, zawartość C organicznego w glebie badanych obiektów kształtowała się na niskim poziomie, w granicach:  $4,02\text{-}4,99 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (tab. 1). Zastosowanie preparatu mikrobiologicznego EM-1 nie wpłynęło na akumulację węgla organicznego w badanych glebach.

Zawartość azotu amonowego (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) w badanych glebach była dość wyrównana i kształtowała się na bardzo niskim poziomie:  $0,73\text{-}1,30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (tab. 1). Zwraca uwagę ekstremalnie wysoka zawartość azotu azotanowego (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) w analizowanych glebach, szczególnie w przypadku uprawy roślin zbożowych, gdzie zawartość tego składnika w poziomach próchnicznych wahała się w granicach ok.  $260\text{-}375 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  gleby, co daje

ok. 780-1125 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·ha<sup>-1</sup>. (tab. 1). Zawartość azotanów (V) w glebie poletek, na których uprawiano bobik, w efekcie mniejszego niż w przypadku roślin zbożowych nawożenia azotem, była około 2-3-krotnie mniejsza, aczkolwiek również bardzo wysoka. Świadczy to o braku potrzeby nawożenia azotem poletek doświadczalnych w badanych warunkach glebowych i agrotechnicznych. Z innych badań [Wilczek i in. 1999; Bielińska, Głowacka 2004] prowadzonych w aspekcie diagnostyki nawożenia roślin uprawnych azotem wynika, że potrzeba nawożenia uzależniona jest od takich czynników, jak: warunki glebowe, aktywność biologiczną gleby, a także zróżnicowane, w zależności od wzrostu roślin, wykorzystanie składników pokarmowych z gleby. Wysoka zawartość azotanów (V) w badanych glebach mogła być spowodowana transformacjami N, a przede wszystkim nityfikacją. Stosowane zabiegi agrotechniczne przyczyniające się do natlenienia gleby oraz nawożenie mineralne fosforem mogły być jedną z przyczyn stymulujących proces nityfikacji. Jak wiadomo nityfikacja przebiega najaktywniej w warunkach tlenowych oraz na glebach o odczynie od lekko kwaśnych do obojętnego, zasobnych w fosfor. Badania Bielińskiej i Głowackiej [2004] wykazały, że na bogaty zespół przemian mineralnych form azotu w glebie składały się głównie reakcje biochemiczne sterowane przez enzymy. W warunkach bardzo wysokiej akumulacji N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> w badanej glebie nie uwidocznił się wpływ zastosowanych popiołów oraz preparatu EM-1 na kształtowanie się zawartości azotu mineralnego w środowisku glebowym.

Tabela 1. pH, zawartość węgla organicznego, azotu amonowego i azotu azotanowego  
Table 1. pH (power hydrogen); organic carbon, ammonia nitrogen and nitrate nitrogen content

Obiekt		pH	C	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		KCl	[g·kg <sup>-1</sup> ]	[mg·kg <sup>-1</sup> ]	
Pszenica jara	Kontrola	5,1	4,99	1,03	294,83
	1 CaCO <sub>3</sub> ·MgCO <sub>3</sub>	5,5	4,43	0,92	340,52
	1,5 CaCO <sub>3</sub> ·MgCO <sub>3</sub>	5,8	4,38	0,98	329,19
	1 popiół fluidalny	5,3	4,41	0,84	375,48
	1,5 popiół fluidalny	5,6	4,42	0,89	324,30
	1 popiół fluidalny+EM-1	5,4	4,39	0,86	280,64
	1,5 popiół fluidalny+EM-1	5,7	4,54	0,82	365,39
Jęczmień jary	Kontrola	5,1	4,61	1,27	341,10
	1 CaCO <sub>3</sub> ·MgCO <sub>3</sub>	5,4	4,02	0,83	316,65
	1,5 CaCO <sub>3</sub> ·MgCO <sub>3</sub>	5,9	4,19	0,75	300,92
	1 popiół fluidalny	5,3	4,38	1,12	280,03
	1,5 popiół fluidalny	5,6	4,30	1,26	310,04
	1 popiół fluidalny+EM-1	5,3	4,48	0,89	260,02
	1,5 popiół fluidalny+EM-1	6,2	4,32	0,81	324,27
Bobik	Kontrola	5,0	4,75	0,76	255,49
	1 CaCO <sub>3</sub> ·MgCO <sub>3</sub>	5,2	4,47	1,18	117,72
	1,5 CaCO <sub>3</sub> ·MgCO <sub>3</sub>	5,4	4,38	1,30	140,01
	1 popiół fluidalny	5,2	4,40	0,73	149,87
	1,5 popiół fluidalny	6,4	4,48	0,76	115,22
	1 popiół fluidalny+EM-1	5,4	4,42	0,84	130,48
	1,5 popiół fluidalny+EM-1	6,1	4,42	0,92	125,33

Źródło: badania własne autorów

## Ocena przydatności popiołów...

W świetle obowiązujących norm [Pioś 1995] gleby badanych obiektów cechowały się naturalną zawartością analizowanych metali ciężkich (tab. 2). Należy podkreślić, że zastosowanie popiołów fluidalnych z węgla kamiennego nie wpłynęło na wzrost ilości Zn, Cu i Cd w glebie (tab. 2). Quant [2000] zwraca uwagę, że ilość metali w popiołach lotnych, choć wyższa, jest tego samego rzędu co w glebach polskich. Jeśli dodatkowo uwzględnić zasadowy odczyn popiołów lotnych, w istotny sposób ograniczający mobilność metali ciężkich, ich nawozowe zastosowanie nie spowoduje efektywnej koncentracji pierwiastków śladowych w glebach [Quant 2000].

Tabela 2. Zawartość metali ciężkich w glebach w  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.

Table 2. Content of heavy metals in  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  of dry matter

	Obiekt	Zn	Cu	Cd
Pszenica jara	Kontrola	31,3	5,21	0,12
	1 $\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$	41,9	6,85	0,15
	1,5 $\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$	48,4	5,80	0,10
	1 popiół fluidalny	56,7	5,73	0,11
	1,5 popiół fluidalny	47,2	6,30	0,12
	1 popiół fluidalny+EM-1	35,6	5,77	0,10
	1,5 popiół fluidalny+EM-1	33,5	5,53	0,14
Jęczmień jary	Kontrola	61,5	5,47	0,13
	1 $\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$	39,3	5,13	0,22
	1,5 $\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$	69,5	6,46	0,11
	1 popiół fluidalny	45,3	5,65	0,10
	1,5 popiół fluidalny	62,3	5,49	0,14
	1 popiół fluidalny+EM-1	48,9	5,09	0,17
	1,5 popiół fluidalny+EM-1	64,5	5,61	0,14
Bobik	Kontrola	53,9	5,10	0,10
	1 $\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$	36,9	5,48	0,14
	1,5 $\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$	32,7	6,11	0,12
	1 popiół fluidalny	37,7	5,31	0,11
	1,5 popiół fluidalny	46,0	5,85	0,16
	1 popiół fluidalny+EM-1	38,4	5,16	0,13
	1,5 popiół fluidalny+EM-1	37,6	5,44	0,15

*Źródło: badania własne autorów*

Zastosowanie popiołów fluidalnych z węgla kamiennego wpłynęło istotnie na wzrost aktywności badanych enzymów, niezależnie od zastosowanej dawki popiołu i gatunku uprawianej rośliny (tab. 3). Największą aktywnością enzymatyczną cechowały się gleby wzbogacone niższą dawką popiołów fluidalnych z węgla kamiennego, odpowiadającej 1,0 kwasowości hydrolitycznej gleby, (tab. 3). Nie stwierdzono natomiast znaczącego wpływu preparatu mikrobiologicznego EM-1 na aktywność enzymatyczną gleb.

Stymulujący wpływ niższej dawki popiołu na aktywność enzymów glebowych uzależniony był od rodzaju badanego enzymu, a w przypadku dehydrogenaz również od gatunku uprawianej rośliny (tab. 3). Aktywność badanych fosfataz była większa około 1,5-krotnie, aktywność ureazy i proteazy około 2-krotnie – niezależnie od uprawianej rośliny, a aktyw-

ność dehydrogenaz od około 2-krotnie (pszenica jara) i 3-krotnie (jęczmień jary) do 4-krotnie (bobik) niż w glebie kontrolnej.

Aktywność enzymów w glebach na obiektach, gdzie popioły zastosowano w wyższej dawce (odpowiadającej 1,5 kwasowości hydrolitycznej gleby), kształtowała się na poziomie aktywności enzymatycznej gleb z poletek wzbogaconych niższą dawką wapna dolomitowego ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), przy czym była mniejsza niż w glebie poletek, gdzie nawóz wapniowy zastosowano w dawce odpowiadającej 1,5 kwasowości hydrolitycznej gleby (tab. 3).

Tabela 3. Aktywność enzymatyczna gleb (ADh – dehydrogenazy w  $\text{cm}^3 \text{H}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ , Pac – fosfataza kwaśna i Pal – fosfataza alkaliczna w  $\text{mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , AU – ureaza w  $\text{mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , AP – proteaza w  $\text{mg tyrozyny} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )

Table 3. Enzymatic activity of soils (ADh – dehydrogenases in  $\text{cm}^3 \text{H}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ , Pac – acidic phosphatase, and Pal – alkaline phosphatase in  $\text{mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , AU – urease in  $\text{mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , AP – protease in  $\text{mg of tyrosine} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )

Obiekt		ADh	Pac	Pal	AU	AP
Pszenica jara	Kontrola	0,71	39,1	8,9	4,8	6,1
	1 $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	1,15	44,2	9,7	5,9	6,9
	1,5 $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	1,53	52,3	12,8	8,4	8,9
	1 popiół fluidalny	2,25	60,7	14,5	11,1	11,8
	1,5 popiół fluidalny	1,21	45,4	10,1	6,0	7,2
	1 popiół fluidalny+EM-1	2,38	63,9	15,2	12,1	12,6
	1,5 popiół fluidalny+EM-1	1,16	43,6	10,2	5,7	7,1
Jęczmień jary	Kontrola	1,34	48,2	11,3	6,4	6,9
	1 $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	1,41	49,6	14,8	7,3	9,6
	1,5 $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	2,06	68,1	16,1	8,9	10,8
	1 popiół fluidalny	2,57	70,2	18,7	11,9	13,5
	1,5 popiół fluidalny	1,52	51,4	15,2	7,5	9,4
	1 popiół fluidalny+EM-1	3,32	73,3	20,3	12,8	14,3
	1,5 popiół fluidalny+EM-1	1,46	50,1	14,9	7,4	9,2
Bobik	Kontrola	1,66	51,9	12,5	6,7	8,1
	1 $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	2,35	62,7	15,1	8,1	10,8
	1,5 $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	2,86	66,2	16,8	9,7	12,4
	1 popiół fluidalny	6,75	78,3	22,9	14,2	15,7
	1,5 popiół fluidalny	2,47	63,9	15,1	8,3	11,0
	1 popiół fluidalny+EM-1	6,20	76,5	21,6	13,9	15,1
	1,5 popiół fluidalny+EM-1	2,52	64,3	14,9	8,8	11,2
NIR <sub>0,05</sub>		0,36	8,2	4,3	2,3	2,9

Źródło: badania własne autorów

Nasilenie aktywności badanych enzymów uzależnione było od gatunku uprawianej rośliny. Największą aktywnością enzymatyczną cechowała się gleba poletek, gdzie uprawiano bobik, a najmniejszą gleba pod uprawą pszenicy jarej (tab. 3). Wyniki te dowodzą, że użyte testy enzymatyczne sygnalizują również zmiany zachodzące w glebie pod wpływem aktualnie uprawianej rośliny. Liczne dane z literatury przedmiotu [Dahm 1984; Burns

1985; Kieliszewska-Rokicka 2001; Bielińska i in. 2008] wskazują, że aktywność enzymów glebowych zależy od składu gatunkowego szaty roślinnej, która wpływa na nagromadzenie się w glebie specyficznych substratów dla reakcji enzymatycznych. Burns [1985] podkreśla, że oddziaływanie roślin wyższych na enzymy glebowe zależy od składu chemicznego rośliny, który nawet w przypadku samych wydzielin korzeniowych może być inny u różnych rodzajów, gatunków, a nawet odmian. Według Dahm [1984] indywidualny wpływ poszczególnych gatunków na aktywność enzymatyczną gleby jest związany z różnym składem gatunkowym bakterii zasiedlających korzenie roślin. Gatunek rośliny wpływając istotnie na stężenie rozpuszczalnego węgla w glebie determinuje zmiany aktywności enzymów glebowych [Kieliszewska-Rokicka 2001].

Podsumowując, należy stwierdzić, że popioły fluidalne z węgla kamiennego wpływały korzystnie na aktywność enzymów katalizujących najważniejsze procesy przemiany substancji organicznej i obieg podstawowych składników odżywczych w środowisku glebowym. Obserwowana stymulacja aktywności enzymów wiązała się z odkwaszającym działaniem popiołów na środowisko glebowe. Popioły mogą zatem stanowić alternatywę dla klasycznego wapnowania bez szkody dla ważnych procesów metabolicznych determinujących żyzność gleb. Wartość pH gleby jest między innymi warunkiem bytowania organizmów glebowych, dostępności składników odżywczych, determinuje nasilenie procesów biochemicznych [Kurek 2002; Bielińska, Domżał 2004]. Ujemny wpływ zakwaszenia gleb na ich aktywność metaboliczną wynika zarówno z określonej reakcji mikroorganizmów i korzeni roślin na koncentrację jonów wodorowych w roztworze glebowym, jak i z niekorzystnych właściwości chemicznych kwaśnych gleb [Kurek 2002].

## Wnioski

1. Zastosowanie popiołów fluidalnych z węgla kamiennego wpłynęło na wzrost aktywności enzymów katalizujących najważniejsze procesy transformacji glebowej substancji organicznej, niezależnie od zastosowanej dawki popiołu i gatunku uprawianej rośliny.
2. Największą aktywnością enzymatyczną cechowały się gleby wzbogacone niższą dawką popiołów fluidalnych, odpowiadającą 1,0 kwasowości hydrolitycznej gleby.
3. Aktywność enzymów w glebach poletek, gdzie popioły zastosowano w dawce odpowiadającej 1,5 kwasowości hydrolitycznej gleby, kształtowała się na poziomie aktywności enzymatycznej gleb wzbogaconych niższą dawką wapna dolomitowego.
4. Stwierdzona bardzo wysoka zawartość azotu azotanowego w badanych glebach sugeruje zbędność nawożenia azotem analizowanych poletek doświadczalnych.
5. Gleby analizowanych obiektów cechowały się naturalną zawartością badanych metali ciężkich. Zastosowanie popiołów fluidalnych z węgla kamiennego nie wpłynęło na wzrost ilości Zn, Cu i Cd w glebie.
6. W przeprowadzonych badaniach nie stwierdzono znaczącego wpływu preparatu mikrobiologicznego EM-1 na właściwości chemiczne i biochemiczne gleb.
7. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość wykorzystania popiołów z węgla kamiennego do celów nawozowych.

## Bibliografia

- Badora A.** 1999. Mobilne formy wybranych metali w glebach oraz niektóre aspekty ich immobilizacji. Rozprawy Naukowe AR w Lublinie. Nr 225. s. 16-22.
- Bielińska E.J.** 2001. Aktywność enzymatyczna gleby w sadzie wiśniowym w zależności od metody jej pielęgnacji. Rozprawy Naukowe AR w Lublinie. Nr 251. s. 61-69.
- Bielińska E.J.** 2007. Aktywność enzymów glebowych w ryzosferze mniszka lekarskiego jako wskaźnik stanu ekochemicznego gleb miejskich. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering Nr 52(3). s. 10-14.
- Bielińska E.J., Domżał H.** 2004. Zastosowanie testów enzymatycznych do oceny antropogenicznych przekształceń gleb leśnych na terenie Nadleśnictwa Puławy. Roczn. Glebozn. Nr 55. s. 61-68.
- Bielińska E.J., Głowacka A.** 2004. Zawartość mineralnych form azotu w glebie sadu jabłoniowego w zależności od metody jej pielęgnacji. Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus Nr 3(2). s. 131-145.
- Bielińska E.J., Mocek-Płóciniak A., Kaczmarek Z.** 2008. Indices of the eco-chemical condition of forest soils on a large-area forest fire. Polish J. of Environ. Stud. Nr 17, 5. s. 665-671.
- Burns R.G.** 1985. Enzyme activity in soil: location and a possible role in microbial ecology. Soil. Biol. Biochem. Nr 14. s. 423-427.
- Dahm H.** 1984. Generic composition and physiological and cultural properties of heterotrophic bacteria isolated from soil, rhizosphere and mycorrhizosphere of pine (*Pinus sylvestris* L.). Acta Microbiol. Pol. Nr 32, 2. s. 147-156.
- Domżał H., Bielińska E.J.** (red.) 2007. Ocena przeobrażeń środowiska glebowego i stabilności ekosystemów leśnych w obszarze oddziaływania Zakładów Azotowych „Puławy” S.A. Acta Agrophysica 145, Rozprawy i Monografie 2007(2). s. 79-90.
- Filipek T.** 1998. Dynamika antropogenicznych przyczyn oraz skutków zakwaszenia gleb w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 456. s. 7-12.
- Hajnos M., Sokolowska Z., Renger M.** 1998. Wpływ mikroreliefu i wapnowania na odczyn i mikrostrukturę gleby leśnej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 456. s. 119-128.
- Higa T.** 2002. Die wiedergewonnene Zukunft – Effektive Microorganismen (EM) geben neue Hoffnung für unser Leben und unsere Welt. Xanten. s. 53-82.
- Kieliszewska-Rokicka B.** 2001. Enzymy glebowe i ich znaczenie w badaniach aktywności mikrobiologicznej gleby. W: Drobnoustroje środowiska glebowego, Red. H. Dahm, A. Pokojska-Burdziej, UMK Toruń. s. 37-47.
- Kuczyńska L.** 2005. Biologiczna aktywność gleby skażonej popiołem z węgla kamiennego. Roczn. Glebozn. Nr 56 3/4. s. 21-30.
- Kurek E.** 2002. Związki przyczynowo-skutkowe aktywności mikrobiologicznej i zakwaszenia gleb. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. Nr 482. s. 307-316.
- Ladd N., Butler J.H.A.** 1972. Short-term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates. Soil Biology and Biochemistry. Nr 4. s. 19-30.
- Margesin R., Zimmerbauer A., Schinner F.** 2000. Monitoring of bioremediation by soil biological activities. Chemosphere Nr 40. s. 339-346.
- Marschner B.** 1990. Elementumsätze in einem Kiefernforstökosystem auf Rostbraunerde unter dem Einfluß einer Kalkung/Düngung. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme Reihe A, 60. s. 10-18.
- Murkowski A., Stankowski S.** 2002. Wykorzystanie składników popiołu węglowego do nawożenia roślin pszenżyta. IV Sympozjum Naukowe: ”Hodowla, uprawa i wykorzystanie pszenżyta”. Kolożrzeg 1-4. 09. 2002. s. 29-31.
- Quant B.** 2000. Osady ściekowe w rekultywacji składowisk odpadów paleniskowych. Przegląd komunalny Nr 1. s. 28-29.



- PIOŚ** 1995. Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb – metale ciężkie, siarka i WWA. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa. s. 1-28.
- Tabatabai M.A., Bremner J.M.** 1969. Use of p-nitrophenol phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry*. Nr 1. s. 301-307.
- Thalman A.** 1968. Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenase Aktivität in Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). *Landwirtsch. Forsch.* Nr 21. s. 249-258.
- Wilczek M., Ćwintal M., Wilczek P.** 1999. Plonowanie i jakość tetraploidalnej koniczyny łąkowej (czerwonej) w zależności od niektórych czynników agrotechnicznych. Cz. I. Ściernianka, *Biul. IHAR* Nr 210. s. 101-108.
- Comparison of methods of assaying urease activity in soil.** 1975. *Soil Biology and Biochemistry*. Nr 7. s. 291-295.
- Zantua M.I., Bemner J.M.** 1975. Comparison of methods of assaying urease activity in soil. *Soil Biology and Biochemistry*. Nr 7. s. 291-295.
- GUS. 2008. Ochrona środowiska. Warszawa. s. 116-128.

## **ASSESSMENT CONCERNING USABILITY OF FLUIDAL ASHES FROM HARD COAL FOR AGRICULTURAL PURPOSES**

**Abstract.** The paper examines the impact of fluidal ashes from hard coal on enzymatic activity and chemical properties of light soil. The scope of the research included assessment of ash impact on soil environment in case of using Effective Microorganisms (the EM-1 preparation). 7 fertilizing variants were taken into account during the field experiment: check; 1 CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>; 1,5 CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>; 1 fluidal ash; fluidal ash 1.5; fluidal ash 1 + EM-1; fluidal ash 1.5 + EM-1. Dolomite lime and ash were used in two doses, corresponding to soil hydrolytic acidity 1.0 and 1.5, specified in mmol H<sup>+</sup>·kg<sup>-1</sup> of soil. Using of fluidal ashes from hard coal has not changed Zn, Cu and Cd content in soil and resulted in increase of its enzymatic activity. Soils enriched with lower ash dose were characterised by highest enzymatic activity. Obtained results indicate possibility to use ashes from hard coal for fertilising purposes. The research proved no significant impact of the EM-1 microbiological preparation on chemical and biochemical properties of soils.

**Key words:** soil, fluidal ashes from hard coal, enzymatic activity, heavy metals

**Adres do korespondencji:**

Elżbieta Jolanta Bielińska; e-mail: elzbieta.bielinska@up.lublin.pl  
Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
ul. Leszczyńskiego 7  
20-069 Lublin