

ELŻBIETA JOLANTA BIELIŃSKA, BARBARA FUTA

WPLYW MATERII ORGANICZNEJ NA PRZEMIANY BIOCHEMICZNE W GLEBACH ANTHROPOGENICZNYCH NA SKŁADOWISKU POPIOŁÓW Z ELEKTROWNI

ORGANIC MATTER EFFECT ON BIOCHEMICAL TRANSFORMATIONS IN ANTHROPOGENIC SOILS IN POWER PLANT ASH DUMPING GROUND

Instytut Gleboznawstwa i Kształowania Środowiska Przyrodniczego,
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Abstract: In this paper the extended effect of the organic matter added on the formation of biochemical processes in anthropogenic soils in a power plant ash dumping ground was evaluated. The experimental plots were located in the test site of „Dolna Odra” S.A. Power Plant Complex in Nowy Czarnów. In the experiment, initiated in 2003 anthropogenic soils were produced through putting 40-cm thick layers of overlay soils, representing a mixture of mineral and organic components (ash, peat, compost, fermented municipal sludge, bark, loose sand), applied in 5 variants. Natural sandy soils was used as the control. The significant decrements of the organic matter determining the biological activity of the soils tested at the initial stage of the experiment, observed 5 years later, may prevent soil-building processes in the environment in the future. The results obtained provided information on the condition of the soil environment, the nature of its changes, and it enabled the identification of the trends. This opts for the continuation of research on the biochemical parameters in the aspect of complex connections with the environmental factors and impact of reclamation measures.

Słowa kluczowe: gleby antropogeniczne, materia organiczna, popioły, aktywność enzymatyczna.

Key words: anthropogenic soils, organic substance, ashes, enzymatic activity.

WSTĘP

Jednym z kierunków działań przy rekultywacji składowisk popiołów z elektrowni jest wytworzenie barier biogeochemicznych, na przykład przez zadarmienie powierzchni lub uprawę roślin energetycznych. Alkaliczny odczyn, nasycenie fazy ciekłej związkami wapnia, sodu, magnezu oraz niedobór substancji organicznej w odpadach paleniskowych utrudnia rozwój szaty roślinnej na tego typu podłożu. Wykorzystanie odpadowych materiałów organicznych do uformowania

profilu glebowego o dużej zawartości materii organicznej w warstwie powierzchniowej umożliwia, niekiedy na krótki okres, stworzenie warunków produkcyjnych na rekultywowanych zwałowiskach popiołów [Siuta 2005; Koćmit i in. 2006].

Żyzność i produktywność gleb zależy od aktywności procesów biochemicznych zachodzących w ekosystemie glebowym, katalizowanych przez enzymy wydzielane do środowiska przez organizmy glebowe, a także korzenie roślin i faunę glebową [Aon, Colaneri 2001]. Określenie aktywności wybranych enzymów glebowych w aspekcie złożonych powiązań z czynnikami środowiska dostarcza informacji o przeobrażeniach gleb antropogenicznych, a także pozwala na ocenę skuteczności stosowanych sposobów rekultywacji [Bielińska i in. 2008].

Celem pracy było zbadanie przedłużonego wpływu wprowadzonej materii organicznej na kształtowanie procesów biochemicznych w glebach antropogenicznych na składowisku popiołów z elektrowni. W pracy analizie poddano wyniki uzyskane w początkowej fazie trwania doświadczenia i po 5 latach od wprowadzenia odpadowych substancji organicznych na rekultywowane składowisko popiołów.

MATERIAŁ I METODY

Badania zlokalizowano na terenie obiektu doświadczalnego Zespołu Elektrowni „Dolna Odra” S.A. w Nowym Czarnowie. Doświadczenie założone w 2003 roku polegało na utworzeniu gleb antropogenicznych przez nałożenie na podłoże popioło-żuźlowe 40-centymetrowych warstw nadkładowych. Warstwy nadkładowe uformowano według kryteriów gleboznawczych jako utwór mineralno-organiczny o zawartości materii organicznej w granicach 10–14% [Koćmit i in. 2006] w 5 wariantach: I. torf niski i popiół w proporcji objętościowej 1:3; II. kora, piasek luźny, kompost, popiół w proporcji 1:1:2:4; III. piasek luźny, kompost, osad ściekowy w proporcji 1:1:2; IV. piasek luźny, popiół, kompost, osad ściekowy w proporcji 0,5:0,5:1:2; V. kora, piasek luźny, kompost, osad ściekowy w proporcji 1:1:2:4. Obiektem kontrolnym (K) była naturalna gleba o składzie granulometrycznym piasku luźnego. Doświadczenie założono metodą bloków kompletnie zrandomizowanych w 4 powtórzeniach. W ramach rekultywacji biologicznej wysiano mieszankę traw o składzie gatunkowym: kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis*) – 41,2%, kostrzewa czerwona (*Festuca rubra*) – 19,2%, koniczyna łąkowa (*Trifolium pratense*) – 6%, życica wielokwiatowa (*Lolium multiflorum*) – 12,4%, życica trwała (*Lolium perenne*) – 14,7%, kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata*) – 6,5%. Szczegółową charakterystykę modelu doświadczalnego zawierają wcześniejsze opracowania [Baciczko, Zieliński 2003; Stankowski i in. 2003].

Próbki glebowe do badań pobierano w czerwcu każdego roku z warstwy nadkładów (0–40 cm) i z podłoża popiołowego (poniżej 40 cm). Analogicznie pobierano próbki z poletek kontrolnych. Po uśrednieniu próbek pobranych z każdego obiektu wykonywano w nich analizy chemiczne i biochemiczne w trzech równoległych powtórzeniach. W pobranych próbkach oznaczono aktywność następujących enzymów: dehydrogenaz [Thalman 1968], fosfataz [Tabatabai, Bremner 1969], ureazy [Zantua, Bremner 1975] oraz proteazy [Ladd, Butler 1972]; pH w 1 mol KCl·dm⁻³ [PN-ISO 10390]; węgiel organiczny [PN-ISO 14235]; azot ogółem [PN-ISO 13878] oraz mineralne formy azotu: N-NH₄⁺ i N-NO₃⁻ [PN-ISO 14255].

Analizę statystyczną wyników badań wykonano przy wykorzystaniu programu Statistica 6.0 PL.

WYNIKI

Odczyn uformowanych gleb był wyraźnie zróżnicowany w zależności od zastosowanego nadkładu i lat badań (tab. 1). W początkowej fazie doświadczenia (2003 r.) badane gleby charakteryzowały się odczynem zasadowym, z pH_{KCl} od 7,4 (nadkład V) do 8,5 (nadkład I). Po 5 latach od wprowadzenia odpadowych substancji organicznych na składowisko popiołów odczyn gleb na poletkach wzbogaconych przefermentowanym komunalnym osadem ściekowym uległ zmianie z zasadowego w kierunku odczynu obojętnego (nadkłady: III, IV) lub lekko kwaśnego (nadkład V). Najmniejsze zmiany odczynu zanotowano w przypadku obiektów I–II (pH_{KCl} 7,6–7,9). Zaobserwowane po 5 latach różnice wynosiły od 0,5–0,6 (nadkłady I–II) do 0,8–1,1 (nadkłady III–V) jednostki pH w 1 mol $\text{KCl} \cdot \text{dm}^{-3}$. W okresie prowadzonych badań odczyn podłoża popioło-żużlowego (poniżej 40 cm) był silnie alkaliczny (pH_{KCl} 8,5–9,4), a gleba kontrolna cechowała się odczynem obojętnym (tab. 1).

W 2003 roku zawartość C organicznego i N ogółem w glebach antropogenicznych kształtowała się w granicach, odpowiednio: od 55,37–57,18 i 3,37–3,73 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (nadkłady I–II) do 68,39–81,15 i 4,87–5,90 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (nadkłady III–V). Po 5 latach zasoby tych składników w glebach obniżyły się około 3-krotnie na obiektach I–II i około 2-krotnie w przypadku obiektów III–V, jednak były to jeszcze ilości kilkakrotnie większe niż w glebie kontrolnej (tab. 1).

Zawartość węgla organicznego w podłożu popioło-żużlowym wahała się w granicach od 10,82 do 19,84 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 1). Są to ilości przewyższające zasoby tego składnika w glebach o składzie granulometrycznym piasku luźnego. Zawartość Corg. w glebie kontrolnej wynosiła 6,42–6,49 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ w warstwie 0–40 cm i 0,80–0,81 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ w warstwie poniżej 40 cm. Wzbogacenie skały popiołowej w Corg spowodowane jest domieszką niespalonego węgla kamiennego. Niska zawartość N ogółem (od 0,10 do 0,22 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) i bardzo szeroka wartość stosunku C:N (60,3–113,0) w podłożu popioło-żużlowym (tab. 1) wskazuje, że okruszy niespalonego węgla kamiennego występujące w skale popiołowej są słabo podatne na rozkład.

Wartości stosunku C:N w badanych glebach antropogenicznych kształtowały się w granicach 12,3–16,9 (tab. 1). W piątym roku badań wartości te były niższe niż w początkowej fazie doświadczenia (2003 r.), ale nie były to różnice istotne statystycznie (tab. 1).

Zawartość azotanów (V) w glebach antropogenicznych była kilkakrotnie większa niż w glebie kontrolnej (K) niezależnie od lat badań. W przypadku azotu amonowego efekt ten obserwowano wyłącznie w glebie na poletkach wzbogaconych osadem ściekowym (nadkłady: III–V), (tab. 1). W piątym roku doświadczenia zasoby azotu mineralnego (N-NH_4^+ i N-NO_3^-) w badanych industrioziemach były istotnie niższe niż w 2003 roku (tab. 1).

Obserwowana w 2003 i 2005 roku wielokrotnie większa zawartość azotanów (V) niż amonowej formy azotu (tab. 1) w utworzonych glebach mogła się wiązać z reakcją utlenienia jonu NH_4^+ do jonu azotanowego (V) w procesie nityfikacji. Wyższe zawartości N-NO_3^- w podłożu (poniżej 40 cm) niż w warstwach nadkładowych wydają się potwierdzać tę sugestię.

Zawartość N-NH_4^+ w podłożu (poniżej 40 cm) była istotnie mniejsza niż w glebach antropogenicznych (warstwy 0–40 cm), niezależnie od lat badań. Przeciwnie tendencje zanotowano w przypadku N-NO_3^- (tab. 1).

W okresie prowadzonych badań aktywność analizowanych enzymów w wytworzonych glebach była kilkakrotnie większa niż w glebie kontrolnej. Nasilenie aktywności enzymatycznej gleb antropogenicznych uzależnione było istotnie od rodzaju nadkładu i lat

TABELA 1. pH, zawartość węgla organicznego ogółem i azotu (N ogółem, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻)
 TABLE 1. pH, content of total organic carbon and nitrogen (total N, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻)

Obiekt Sites	Lata Years	Warstwa Layer [cm]	pH	C	N	C:N	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻
			KCl	g·kg ⁻¹			mg·kg ⁻¹	
I	2003	0-40	8,5	55,37	3,73	14,8	26,55	60,18
		> 40	9,3	12,24	0,11	111,2	19,12	75,80
	2008	0-40	7,9	19,78	1,39	14,2	20,65	50,72
		> 40	8,8	12,43	0,11	113,0	16,34	69,21
II	2003	0-40	8,2	57,18	3,37	16,9	22,92	116,23
		> 40	9,4	11,20	0,10	112,0	19,73	180,44
	2008	0-40	7,6	18,89	1,14	16,5	15,87	106,52
		> 40	8,9	11,84	0,11	107,6	12,26	158,01
III	2003	0-40	7,4	68,39	4,87	14,0	55,18	209,68
		> 40	9,2	11,03	0,10	110,3	10,08	220,35
	2008	0-40	6,6	32,96	2,42	13,6	44,22	189,73
		> 40	8,5	10,82	0,14	77,2	9,06	206,11
IV	2003	0-40	7,8	78,81	5,58	14,1	58,94	280,82
		> 40	9,2	11,23	0,12	93,5	29,03	289,37
	2008	0-40	6,8	43,30	3,16	13,7	45,20	231,58
		> 40	8,6	13,84	0,21	65,9	14,89	271,29
V	2003	0-40	7,4	81,15	5,90	13,7	57,32	222,13
		> 40	9,1	12,56	0,18	69,7	21,28	235,94
	2008	0-40	6,3	34,62	2,80	12,3	48,53	210,67
		> 40	8,5	13,27	0,22	60,3	18,95	223,20
K	2003	0-40	6,9	6,42	0,78	8,2	27,52	33,86
		> 40	7,0	0,81	0,10	8,1	26,14	29,45
	2008	0-40	7,1	6,49	0,80	8,1	23,68	14,73
		> 40	7,0	0,80	0,10	8,0	22,18	19,26
NIR _{0,05} - LSD _{0,05}				16,42	1,20	r.n.-n.s.	4,22	9,38

Objaśnienia: I – torf niski + popiół 1:3; II – kora + piasek luźny + kompost + popiół 1:1:2:4;
 III – piasek luźny + kompost + osad ściekowy 1:1:2; IV – piasek luźny + popiół + kompost + osad ściekowy 0,5;0,5:1:2; V – kora + piasek luźny + kompost + osad ściekowy 1:1:2:4; K – piasek luźny
 Explanations: I – lowmoore peat + ash 1:3; II – bark + loose sand + compost + ash 1:1:2:4;
 III – loose sand + compost + sewage sludge 1:1:2; IV – loose sand + ash + compost + sewage sludge 0.5:0.5:1:2; V – bark + loose sand + compost + sewage sludge 1:1:2:4; K – loose sand

badania (tab. 2). Aktywność oznaczanych enzymów w glebach poletek wzbogaconych osadem ściekowym (obiekty III–V) była większa niż w glebie na obiektach I–II, niezależnie od lat badań. Największą aktywnością enzymatyczną cechowała się gleba pochodząca z poletek na nadkładzie V, a najmniejszą gleba utworzona z popiołu i torfu niskiego (nadkład I). Po 5 latach od wprowadzenia odpadowych substancji organicznych na składowisko popiołów aktywność badanych enzymów w glebach antropogenicznych była mniejsza o 30–60% niż w początkowej fazie doświadczenia (2003 r.).

TABELA 2. Aktywność enzymatyczna gleb (Dh – dehydrogenazy w $\text{cm}^3 \text{H}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{D}^{-1}$, Ph – fosfatazy w $\text{mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, U – ureaza w $\text{mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, P – proteaza w $\text{mg tyrozyny} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

TABLE 2. Enzymatic activity of soils (Dh – dehydrogenases in $\text{cm}^3 \text{H}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, Ph – phosphatases in $\text{mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, U – urease in $\text{mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, P – protease in $\text{mg tyrosine} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

Obiekt Sites	Lata Years	Warstwa Layer [cm]	Dh	Ph	U	P
I	2003	0-40	7,96	114,53	16,42	25,18
		> 40	0,55	10,29	2,09	2,05
	2008	0-40	5,39	62,41	8,54	16,43
		> 40	0,54	9,85	2,17	2,13
II	2003	0-40	8,12	117,48	22,69	29,61
		> 40	0,51	9,67	2,12	1,92
	2008	0-40	5,92	65,30	10,98	18,57
		> 40	0,53	9,11	2,34	1,88
III	2003	0-40	9,78	133,26	38,26	35,26
		> 40	0,52	9,96	3,02	1,95
	2008	0-40	7,19	75,21	20,16	23,81
		> 40	0,46	9,42	2,87	1,94
IV	2003	0-40	12,35	164,58	51,43	47,73
		> 40	0,49	10,34	2,29	1,69
	2008	0-40	7,78	97,02	24,16	30,91
		> 40	0,53	9,75	2,55	1,99
V	2003	0-40	15,09	186,93	57,08	49,12
		> 40	0,55	10,12	2,34	2,10
	2008	0-40	7,47	79,11	22,30	27,86
		> 40	0,48	9,93	2,49	2,15
K	2003	0-40	1,28	16,28	4,95	4,42
		> 40	0,96	11,54	3,32	2,67
	2008	0-40	1,30	15,36	5,12	4,28
		> 40	0,95	10,82	3,48	2,55
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}			1,59	12,34	4,26	6,88

Objaśnienia: I – torf niski + popiół 1:3; II – kora + piasek luźny + kompost + popiół 1:1:2:4; III – piasek luźny + kompost + osad ściekowy 1:1:2; IV – piasek luźny + popiół + kompost + osad ściekowy 0,5:0,5:1:2; V – kora + piasek luźny + kompost osad ściekowy 1:1:2:4; K – piasek luźny

Explanations: I – lowmoore peat + ash 1:3; II – bark + loose sand + compost + ash 1:1:2:4; III – loose sand + compost + sewage sludge 1:1:2; IV – loose sand + ash + compost + sewage sludge 0.5:0.5:1:2; V – bark + loose sand + compost + sewage sludge 1:1:2:4; K – loose sand

TABELA 3. Współczynniki korelacji pomiędzy aktywnością enzymatyczną gleb i zawartością węgla organicznego ogółem (C) i azotu (N ogółem, N-NH_4^+ , N-NO_3^-)
 TABLE 3. Correlation coefficients between enzymatic activity of soils and total organic carbon (C) and nitrogen (total N, N-NH_4^+ , N-NO_3^-)

	C	Total N	N-NH_4^+	N-NO_3^-
Dehydrogenazy/ Dehydrogenases	0,92***	0,91***	0,70**	0,69**
Fosfatazy/ Phosphatases	0,96***	0,95***	0,71**	0,68**
Ureaza/Urease	0,90***	0,92***	0,83***	0,79***
Proteaza/Protease	0,90***	0,92***	0,82***	0,82***

*** istotne przy $\alpha = 0,001$ -- significant at $\alpha = 0.001$; ** istotne przy $\alpha = 0,01$ -- significant at $\alpha = 0.01$

W piątym roku badań aktywność enzymów w podłożu popioło-żuźlowym kształtowała się, podobnie jak w początkowej fazie doświadczenia, na bardzo niskim poziomie wskazującym na śladowe życie biologiczne w środowisku (tab. 2).

Analiza korelacji (tab. 3) wykazała, że w glebach antropogenicznych aktywność wszystkich badanych enzymów wykazywała ścisłą, wysoce istotną zależność od zawartości Corg. ($r = 0,90-0,96***$), Nog. ($r = 0,91-0,95***$), N-NH_4^+ ($r = 0,71**-0,83***$) i N-NO_3^- ($r = 0,68**-0,82***$).

DYSKUSJA

Przeprowadzone badania wykazały, że obserwowana po 5 latach od wprowadzenia odpadowych substancji organicznych na składowisko popiołów istotnie niższa niż w początkowej fazie doświadczenia aktywność enzymatyczna uformowanych gleb wiązała się głównie z ubytkiem materii organicznej w środowisku glebowym. Świadczą o tym wysoce istotne wartości współczynników korelacji (tab. 3) pomiędzy aktywnością enzymów a zawartością C organicznego, N ogółem i N mineralnym (N-NH_4^+ , N-NO_3^-). Wyniki te jeszcze raz potwierdzają ważną rolę materii organicznej w kształtowaniu aktywności enzymatycznej gleb antropogenicznych. Koćmit i in. [2006] podkreślają, że podstawą tworzenia się gleby na zwałowiskach popiołów poddanych rekultywacji jest trwałość zasobów wprowadzonej materii organicznej (jej bilans w długim okresie) oraz podatność substratu technogennego (popiołu) na przemiany biochemiczne.

Utrzymujący się w piątym roku doświadczenia bardzo niski poziom aktywności badanych enzymów w podłożu popioło-żuźlowym wskazuje, że zastosowany jako substytut skały macierzystej substrat technogeny (popiół) jest odporny na przemiany biochemiczne. Zasadowość i niekorzystne właściwości fizykochemiczne środowiska w warstwie popiołów ograniczają rozwój i aktywność metaboliczną mikroorganizmów. Koćmit i in. [2006] stwierdzili, że na badanym zwałowisku popiołów w okresie dwóch pierwszych lat doświadczenia pogorszyły się właściwości fizyczne w podłożu. W początkowej fazie doświadczenia złożę tej warstwy było bardziej rozluźnione, a po 2 latach uległo zagęszczeniu. Warstwa popiołu jest materiałem drobnoziarnistym, o dominacji w uziarnieniu frakcji pyłu (0,1–0,2 mm), łatwo się cementuje hamując ruch pionowy wód opadowych i zarazem migrację różnych składników [Myszkowska, Coufal 2004; Koćmit i in. 2006].

Należy podkreślić, że w piątym roku doświadczenia aktywność hydrolaz (fosfataz, ureazy i proteazy) w badanych glebach antropogenicznych była na poziomie aktywności tych enzymów w żyznych glebach uprawnych. Natomiast poziom aktywności dehydrogenaz był wyższy niż w glebach piaszkowych o ustabilizowanym składzie mikrobiocenozy. Efekt ten mógł być związany ze stanem fizycznym badanego ekosystemu. Analizowane industrioziemy są mało przepuszczalne dla wody i powietrza, co w okresie natężonych opadów powoduje okresowe warunki nadmiernego zawodnienia i niedotlenienia [Koćmit i in. 2006; Tomaszewicz, Chudecka 2007]. Wobec dużej dynamiki mikroflory glebowej zmiany aktywności dehydrogenaz mogą przedstawiać przejściową, zawyżoną aktywność biologiczną środowiska glebowego [Bielińska i in. 2008]. W licznych badaniach [Russel, Wyczółkowski 2005] wykazano, że zmiana stanu natlenienia gleby istotnie modyfikuje aktywność dehydrogenaz. Na ogół wiele dehydrogenaz produkują bakterie beztlenowe. W miarę ubytku O_2 wzrasta ogólna beztlenowość i aktywność dehydrogenaz [Kobus 1995]. Wolne, abiotyczne dehydrogenazy nie są aktywne w glebie, ponieważ wchodzi w skład układów wewnątrzkomórkowych. W związku z tym zdaniem niektórych badaczy aktywność enzymów zewnątrzkomórkowych w porównaniu z aktywnością dehydrogenaz może być bardziej przydatna do oceny zmian w środowisku glebowym [Januszek 1999]. Wiarygodną ocenę jakości środowiska glebowego mogą dać jednocześnie badania szeregu enzymów glebowych [Kieliszewska-Rokicka 2001].

Obserwowana w okresie prowadzonych badań stymulacja aktywności enzymatycznej gleb antropogenicznych uwidoczniła się najwyraźniej w warunkach wzbogacenia nadkładów w przefermentowany komunalny osad ściekowy (obiekty III–V). Perucci i Giusquiani [1991] wykazali, że wprowadzenie do środowiska glebowego osadu ściekowego stymuluje mechanizmy indukcji, które powodują wzmoczenie syntezy enzymów przez mikroorganizmy glebowe. Wysoka aktywność enzymów w glebach na obiektach III–V mogła być również efektem zmiany odczynu w środowisku glebowym z zasadowego w kierunku obojętnego, a po 5 latach do odczynu obojętnego lub lekko kwaśnego (tab. 1). Zasadowość środowiska glebowego ogranicza aktywność metaboliczną mikroorganizmów. Odczyn gleby ma istotne znaczenie dla syntezy biomasy mikrobiologicznej i udziału węgla biomasy mikrobiologicznej (Cmic) w ogólnej zawartości glebowego C organicznego. Stosunek Cmic do Corg jest wskaźnikiem względnej dostępności substratów dla reakcji enzymatycznych [Kurek 2002]. Warto również podkreślić, że w piątym roku doświadczenia w glebach poletkach pochodzących z obiektów III–V stwierdzono istotnie mniejsze ubytki materii organicznej niż w glebach na obiektach I–II. Poziom aktywności enzymów w glebach antropogenicznych uzależniony jest głównie od zawartości materii organicznej dostępnej dla mikroorganizmów glebowych [Bielińska i in. 2008].

Podsumowując można stwierdzić, że po pięciu latach od nałożenia na podłoże popioło-żuźlowe 40-centymetrowych warstw nadkładowych o dużej zawartości materii organicznej ekochemiczny stan utworzonych gleb antropogenicznych był relatywnie dobry. Bielińska i in. [2007] wykazali, że warunkiem wieloletniej skuteczności oddziaływania organicznych materiałów odpadowych na kształtowanie podstawowych elementów żyzności gleb jest ich wprowadzenie do środowiska glebowego w większych dawkach. Należy jednocześnie podkreślić, że zaobserwowane po 5 latach znaczne ubytki materii organicznej, determinujące niższą niż w początkowej fazie doświadczenia aktywność biologiczną badanych gleb, mogą z upływem czasu hamować procesy glebotwórcze w środowisku, tak dalece, że zaistnieje potrzeba wykonania w przyszłości ponownej rekultywacji składowiska popiołów. Przemawia to za dalszą kontynuacją badań zmian parametrów biochemicznych w aspekcie złożonych powiązań z czynnikami środowiska i wpływu zabiegów rekultywacyjnych.

WNIOSKI

1. Po 5 latach od wprowadzenia odpadowych substancji organicznych na składowisko popiołów aktywność enzymatyczna uformowanych gleb była istotnie niższa niż w początkowej fazie doświadczenia.
2. Aktywność oznaczanych enzymów w glebach poletek wzbogaconych osadem ściekowym (obiekty III–V) była istotnie większa niż w glebie na obiektach I–II, niezależnie od lat badań. Świadczy to, że osady ściekowe mogą na relatywnie długi okres rekompensować niedostatki materii organicznej i wpływać korzystnie na ekochemiczny stan utworzonych gleb antropogenicznych, a także wskazuje na celowość ich wykorzystywania do aktywizacji biologicznej gleb antropogenicznych wytworzonych z popiołów pochodzących z elektrowni.
3. Utrzymujący się w piątym roku doświadczenia bardzo niski poziom aktywności badanych enzymów w podłożu popioło-żuźlowym dowodzi, że zastosowany jako substytut skały macierzystej substrat technogeny (popiół) jest odporny na przemiany biochemiczne.
4. Stwierdzone po upływie 5 lat znaczne ubytki materii organicznej determinujące niższą niż w początkowej fazie doświadczenia aktywność biologiczną badanych gleb mogą z upływem czasu hamować procesy glebotwórcze w środowisku. Przemawia to za dalszą kontynuacją badań zmian parametrów biochemicznych w aspekcie złożonych powiązań z czynnikami środowiska i wpływu zabiegów rekultywacyjnych.

LITERATURA

- AON M.A., COLANERI A.C. 2001: Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and chemical properties in an agricultural soil. *Appl. Soil Ecology* **18**: 255–270.
- BACIECZKO W., ZIELŃSKI J. 2003: Wstępna ocena modelu rekultywacji odpadów paleniskowych Zespołu Elektrowni „Dolna Odra” S.A. w Nowym Czarnowie na podstawie flory synantropijnej. *Folia Univ. Agric. Stetin.* **234**(93): 9–18.
- BIELIŃSKA E.J., FUTA B., WIŚNIEWSKI J. 2007: Ocena trwałości efektu użyźnienia gleby lekkiej osadem ściekowym. W: Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Produkty odpadowe z energetyki i gospodarki komunalnej – wykorzystanie w rolnictwie i rekultywacji”. Świnoujście, 18–21 luty 2007 r. EKOTECH Sp. z o.o., Szczecin: 19–20.
- BIELIŃSKA E.J., STANKOWSKI S., WĘGOREK T. 2008: Zastosowanie testów enzymatycznych do oceny możliwości przyrodniczego wykorzystania popiołów fluidalnych z węgla kamiennego. W: Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Składowiska odpadów komunalnych: projektowanie i eksploatacja, standardy Unii Europejskiej, Protokół Kioto”. Sławsko, województwo Lwowskie, Ukraina 16–18 kwietnia 2008 roku. *Prace Instytutu Geologii i Geochemii Paliw Kopalnych Akademii Nauk Ukrainy we Lwowie*: 95–100.
- JANUSZEK K. 1999: Aktywność enzymatyczna wybranych gleb leśnych Polski południowej w świetle badań polowych i laboratoryjnych. *Zesz. Nauk. AR Kraków, Rozprawy*, **250**: 132 ss.
- KIELISZEWSKA-ROKICKA B. 2001: Enzymy glebowe i ich znaczenie w badaniach aktywności mikrobiologicznej gleby. W: *Drobnoustroje środowiska glebowego*. H. Dahm, A. Pokojska-Burdziej (red.), UMK, Toruń: 37–47.
- KOBUS J. 1995: Biologiczne procesy a kształtowanie żyzności gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* **421a**: 209–219.

- 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.
- KUREK E. 2002: Związki przyczynowo-skutkowe aktywności mikrobiologicznej i zakwaszenia gleb. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **482**: 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 Biol. Biochem.* **4**: 19–30.
- MYSZKOWSKAA., COUFAL R. 2004: Infiltracja wody przez wbudowaną warstwę popiołową na terenie rekultywowanym. W: Popioły z energetyki. Konferencja Naukowa Zakopane 2004: 389–400.
- PERUCCI P., GIUSQUIANI P.L. 1991: Influence of municipal waste compost addition on chemical properties and soil phosphatase activity. *Zentralblatt für Mikrobiologie* **145**, 8: 615–620.
- PN-ISO 10390:1997: Jakość gleby – Oznaczenie pH.
- PN-ISO 14235:2003: Jakość gleby – Oznaczenie zawartości węgla organicznego przez utlenianie dwuchromianem(VI) w środowisku kwasu siarkowego(VI).
- PN-ISO 13878:2002: Jakość gleby – Oznaczenie zawartości azotu całkowitego po suchym spalaniu („analiza elementarna”).
- PN-ISO 14255:2001: Jakość gleby – Oznaczenie azotu azotanowego, amonowego i całkowitego azotu rozpuszczalnego w powietrzu suchych glebach z zastosowaniem roztworu chlorku wapnia jako ekstrahenta.
- RUSSEL S., WYCZÓŁKOWSKI A.I. (red.) 2005: Metody oznaczania aktywności enzymów w glebie. *Acta Agrophysica. Rozprawy i Monografie* **3**: 74 ss.
- SIUTA J. 2005: Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na składowiskach odpadów przemysłowych. *Acta Agrophysica* **5**(2): 417–425.
- STANKOWSKI S., KRZYWY E., CZYŻ H., NOWAK A., MACIOROWSKI R. 2003: Badania modelowe nad wykorzystaniem popiołów i odpadów organicznych do rekultywacji terenów zdegradowanych. W: Mat. X Międzynarodowej Konf. „Popioły z energetyki”, Warszawa 14–17 października 2003 r.: 315–329.
- TABATABAI M.A., BREMNER J.M. 1969: Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* **1**: 301–307.
- THALMANN A. 1968: Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenase Aktivität in Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). *Landwirtsch. Forsch.* **21**: 249–258.
- TOMASZEWICZ T., CHUDECKA J. 2007: Wybrane właściwości chemiczne i fizyczne gleb antropogenicznych wytworzonych na bazie popioło-żużli z węgla kamiennego i odpadów organicznych w czwartym roku doświadczenia (obiekt badawczy „Dolna Odra” w Nowym Czarnowie). W: Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Produkty odpadowe z energetyki i gospodarki komunalnej – wykorzystanie w rolnictwie i rekultywacji”. Świnoujście, 18–21 luty 2007 r. EKOTECH Sp. z o.o., Szczecin: 81–82.
- ZANTUA M.I., BREMNER J.M. 1975: Comparison of methods of assaying urease activity in soils. *Soil Biol. Biochem.* **7**: 291–295.

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