

## DYNAMIKA ZMIAN ROŚLINNOŚCI W DOŚWIADCZENIU MODELOWYM ZE ZŁOŻEM ODPADÓW PALENISKOWYCH ENERGETYKI WĘGLOWEJ

Kazimierz H. Dyguś<sup>1</sup>, Grażyna Wasiak<sup>1</sup>, Monika Madej<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wydział Ekologii, Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, ul. Olszewska 12, 00-792 Warszawa,  
e-mail: dygus@wseiz.pl

### STRESZCZENIE

Opracowanie zawiera ocenę przebiegu rekultywacji z udziałem roślin na eksperymentalnych złożach odpadów paleniskowych energetyki węglowej nawożonych kompostami i osadami ściekowymi. Pierwszy etap doświadczenia, dotyczący rekultywacyjnej efektywności zastosowanych substancji nawozowych, zrealizowano w latach 2006–2007. Etap drugi podjęto w latach 2011–2012, ukazując wstępne tendencje zmian udziału, plonowania i chemizmu roślin w wykonywanym eksperymencie. W celu ukazania szerszego spektrum dynamiki zmian roślinności obserwacje florystyczne kontynuowano w 2013 roku, których wyniki zaprezentowano w niniejszym opracowaniu. Na podstawie tych obserwacji (lata 2011–2013) i uzyskanych wyników stwierdzono, że oprócz roślin wysianych do pojemników doświadczalnych, duży udział w kształtowaniu pokrywy roślinnej ma także flora samosiewna. Wyniki badań florystycznych i ekologicznych dowodzą, że stosowanie kompostów i osadów ściekowych tworzy korzystne warunki dla rozwoju spontanicznej pokrywy roślinnej na złożach odpadów paleniskowych. Na podstawie oszacowanego w poszczególnych modelach stopnia pokrycia gatunków roślin najwyższą efektywność rekultywacyjną wykazano w modelach z kompostami Complex (kC) i Radiowo (kRa), a także w modelu z osadem ściekowym (O). Najniższą efektywność wykazano w modelach z kompostami ZUSOK (kZ) i roślinnym (kr). We wnioskach podkreślono udział ekologicznych, systematycznych i syntaksonomicznych grup roślin w procesie rekultywacji złoża odpadów paleniskowych.

**Słowa kluczowe:** rekultywacja biologiczna, doświadczenie modelowe, roślinność, odpady paleniskowe energetyki węglowej, kompost, osad ściekowy.

## DYNAMICS OF CHANGES IN VEGETATION OF A MODEL EXPERIMENT ON COAL COMBUSTION WASTE DEPOSITS

### ABSTRACT

The paper contains the evaluation of the reclamation efficiency on coal combustion waste deposits fertilized with composts and sewage sludge. Based on multiannual studies, the dynamics of changes in vegetation in the performed experiment have been shown. The first phase of the experiment concerning the reclamation efficiency of the employed fertilizers was carried out from 2006 to 2007. The second phase was carried out between 2011 and 2012. In order to show a broader spectrum of dynamics of changes in vegetation, the floristic

observation was repeated in 2013 and this paper is the presentation of its outcome. Based on the observation (2011–2013) and its results it was found that apart from plants cultivated in experimental containers also a self-sown flora has had a significant contribution in shaping the vegetation cover. The results of floristic and ecological research have proven that composts and sewage sludge constitute a favorable environment for the development of spontaneous vegetation cover on coal combustion waste deposits. Based on the evaluation of the vegetation cover level in particular models it was shown that models with Complex composts (kC) and Radiowo ones (kRa) as well as the model with sewage sludge have presented the highest reclamation efficiency. The lowest efficiency has been shown in models with ZUSOK composts (kZ) and the plant ones (kr). The conclusions have highlighted the share of ecological, systematic and syntaxonomic plant groups in the process of reclamation of combustion waste deposits.

**Keywords:** biological reclamation, model experiment, vegetation, coal combustion waste deposits, compost, sewage sludge.

## WSTĘP

Biologiczna rekultywacja („zazielenianie”) składowiskowych gruntów (w tym głównie składowisk odpadów paleniskowych), jest od dawna przedmiotem badań i wdrożeń z zastosowaniem różnego rodzaju biomasy (obornika, kompostów, osadów ściekowych, zielonej fitomasy) oraz ziemi próchnicznej, często przemieszczanej w różnych pracach ziemnych (budownictwo, górnictwo, instalacje podziemne). Składowiska odpadów pyłących, w tym popioły lotne z energetyki węglowej, ze względu na swą uciążliwość, pilnie wymagały utrwalenia powierzchni, toteż były przedmiotem badań i zapobiegawczych wdrożeń wymuszonych przez lokalne społeczności oraz służby ochrony środowiska [Hryncewicz i in. 1972, Żak 1972, Biernacka 1976, Maciak i in. 1976, Rosik-Dulewska 1980, Wysocki 1984, 1988, Siuta i in. 1988, Kozłowska 1995, Siuta i in. 1997, Siuta 1999, Siuta, Wasiak 2000, Siuta 2002, Siuta 2005, Siuta, Kutla 2005, Siuta i in. 2008, Klimont 2011, Dyguś i in. 2012, Siuta i in. 2013, Dyguś, Sienkiewicz 2014].

Rekultywacyjne pokrywanie składowisk odpadów paleniskowych wymaga dużych zasobów ziemi próchnicznej i nakładów finansowych. Tańszym rozwiązaniem jest zainicjowanie procesu glebotwórczego w celu uzyskania odpowiednich warunków siedliskowych do wzrostu i ukształtowania się pokrywy roślinnej. W tym celu stosuje się nawozy organiczne ze względu na duże zawartości składników pokarmowych i substancji próchnicotwórczych. Są to głównie osady ściekowe, komposty, odpady komunalne, torf itp. Wprowadzenie tych substancji na wierzchnią warstwę popiołów paleniskowych inicjuje życie biologiczne a następnie proces glebotwórczy, stwarzając warunki do rozwoju roślin. Materia organiczna tworzy kompleks sorpcyjny chłonący składniki pokarmowe i wodę [Gilewska 1999, Sułek 1999, Polkowski, Siuta 2005, Siuta 2007, Siuta i in. 2008, Gilewska, Przybyła 2011, Klimont 2011].

## MATERIAŁ I OBIEKT BADAŃ

Bogactwo gatunkowe i plonowanie roślin badano na modelowym złożu popiołu z Elektrociepłowni Kawęczyn. Złoża te ukształtowano w pojemnikach cylindrycznych o średnicy 80 cm ( $0,5 \text{ m}^2$  powierzchni) i wysokości 100 cm. Model doświadczalny obejmuje pojemniki z substancjami użyźniającymi z trzyvariantowymi dawkami nawożenia dla każdej substancji nawozowej (NPK, czterech rodzajów kompostu i osadu ściekowego) (rys. 1) [Siuta i in. 2008].



Rys. 1. Uproszczony schemat modelu doświadczalnego  
 Fig. 1. Simplified scheme of the experimental model

Pierwszy etap doświadczenia zrealizowano w latach 2005 i 2006 [Siuta i in. 2008]. W latach 2007–2010 wegetacja roślin i formowanie się gleby postępowało bez żadnej ingerencji.

Podjmując drugi etap doświadczenia (lata 2011–2013) usunięto nadziemne (suche) części masy roślinnej pozostawiając korzeniowe części (fot. 1). Wiosną 2011 r. wysiano mieszankę czterech gatunków traw: życię trwałą Stadion, wiechlinę łąkową Evon, kostrzewę trzcinową Starlett, kostrzewę czerwoną Maxima, oraz jeden gatunek rośliny dwuliściennej – gorczycę jasną (fot. 2). Po wysiewie roślin modelowe złoża zasilono kompleksowym nawozem mineralnym (azofoską) o zawartości 13,6% azotu, 6,4%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 19,1%  $\text{K}_2\text{O}$ , 4,5%  $\text{MgO}$ , i 23,0%  $\text{SO}_3$  z udziałem Cu, Fe, Mn, Mo i Zn.

W sezonach wegetacyjnych II etapu doświadczenia prowadzono szczegółowe obserwacje florystyczne. Notowane gatunki roślin poddano analizie florystyczno-fitosocjologicznej, taksonomicznej i ekologicznej. Trzyletnią dynamikę zmian roślin w pojemnikach wielowariantowego doświadczenia wyrażono procentowym udziałem

pokrycia roślin w poszczególnych modelach doświadczalnych. Na podstawie składu gatunkowego roślin wyodrębniono ich grupy systematyczne, syntaksonomiczne i formy życiowe według Raunkiaera. Przez trzy lata eksperymentu, comiesięcznie każdego okresu wegetacyjnego, inwentaryzowano gatunki i określano ich procentowe pokrycie. Trzy razy w roku (w czerwcu, sierpniu i październiku) zbierano plony roślin do oceny rekultywacyjnej efektywności kompostów i osadu ściekowego, co przedstawiono w innej publikacji [Siuta, Dyguś 2013] (fot. 3).



Fot. 1. Przygotowywanie pojemników do drugiego etapu doświadczenia



Fot. 2. Pojemnik z wegetującymi trawami i gorczycą jasną (*Sinapis alba*)



Fot. 3. Pojemniki po zbiorze biomasy roślinnej

Dane taksonomiczne opracowano według „Klucza do oznaczania roślin naczyniowych Polski niżowej” [Rutkowski 1998]. Nomenklaturę jednostek grup syntaksonomicznych zastosowano według Matuszkiewicza [2001]. Klasyfikację i udział form życiowych flory opracowano według Raunkiaera [Zarzycki i in. 2002]. Średnie pokrycie roślin w poszczególnych modelach nawożenia wyrażono skalą procentową w przedziałach pięcioprocentowych; w przypadku stwierdzenia znikomego pokrycia danego gatunku (<5%), przydzielono 1%, a dla gatunku reprezentującego 1–3 osobniki przyznano „+” (szacunkowo 0,5%). Nazewnictwo łacińskie roślin naczyniowych przyjęto według Mirka i in. [2002].

Celem badań było: (1) ukazanie dynamiki zmian roślin oraz (2) ocena efektywności rekultywacyjnej na podstawie procentowego oszacowania pokrycia gatunków na doświadczalnym złożu odpadów paleniskowych zasilanych kilkoma rodzajami substancji użyźniających.

## WYNIKI

### Analiza flory

W latach 2011–2012 w pojemnikach stwierdzono 67 gatunków roślin, spośród nich aż 62 to gatunki zasiedlone spontanicznie. W roku 2013 liczba gatunków spontanicznych wzrosła do 78. Analizowano liczebność gatunków roślin i stopień pokrycia powierzchni pojemników doświadczalnych. Skład florystyczny i stopień pokrycia pojemników przez rośliny okazał się przydatny do oceny efektywności rekultywacyjnej w poszczególnych modelach doświadczalnych (tab. 1). Liczba gatunków i ich pokrycie są istotnymi wskaźnikami możliwości rekultywacyjnych aplikowanej na złożu substancji nawozowej [Gutkowska, Pawluśkiewicz 2006, Dyguś, Madej 2012]. Warto przy tym wspomnieć, że w procesie rekultywacji biologicznej ważnym jest odpowiedni dobór roślin [Majtkowski i in. 1999, Nowak 2006]. Zinventaryzowana w latach 2011–2012 flora należała do 17 taksonów w randze rodzin, wśród których dominowały gatunki z rodziny złożonych (*Asteraceae*), rodziny komosowatych (*Chenopodiaceae*) i rodziny krzyżowych (*Brassicaceae*). W okresie wegetacyjnym 2013 r. w randze rodziny notowano 19 taksonów a ich struktura dominacji uległa częściowo zmianie. Nadal dominowały gatunki z rodziny złożonych (*Asteraceae*), lecz subdominantami okazały się gatunki z rodziny traw (*Poaceae*) i rodziny motylkowatych (*Fabaceae*) (tab. 4). Wiąże się to z przewagą anemochorów w tych rodzinach, które produkują duże ilości lekkich, lotnych nasion, co umożliwia ich rozsiew na znaczne odległości.

Botanicy zgodnie podkreślają, że w procesie spontanicznego kształtowania się pokrywy roślinnej w początkowych etapach rekultywacji składowisk do najliczniej reprezentowanych rodzajów roślin należą: komosa (*Chenopodium*), rdest (*Polygonum*), mleczyk (*Sonchus*), wiechlin (*Poa*), łoboda (*Atriplex*), koniczyna (*Trifolium*), babka (*Plantago*), turzycy (*Carex*) i in. [m. in. Gutkowska, Pawluśkiewicz 2006, Rostański 2006, Dyguś i in. 2012] (tab. 1, fot. 4–8).

**Tabela 1.** Dynamika zmian roślinności w pojemnikach wielowariantowego doświadczenia ze złożem odpadów paleniskowych w latach 2011–2013**Table 1.** Dynamics of vegetation changes in combustions of a multivariant experiment on coal waste deposits in the years 2011–2013

Lp.	Gatunek	% pokrywania gatunku w pojemnikach doświadczalnych																	
		NPK			kRa			kC			kr			kZ			O		
		2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013
1	* <i>Lolium perenne</i> var. Stadion (życica trwała Stadion)	15	1	5	15	5	15	15	1	10	20	5	10	15	5	10	25	10	15
2	* <i>Poa pratensis</i> var. Evona (wiechlina łąkowa Evon)	15	5	15	10	5	10	20	5	20	25	1	15	25	10	20	15	5	25
3	* <i>Festuca arundinacea</i> var. Starlett (kostrzewa trzcinowa Starlett)	10	5	5	15	10	15	10	1	5	15	5	20	20	5	10	25	10	15
4	* <i>Festuca rubra</i> var. Maxima (kostrzewa czerwona Maxima)	10	1	15	5	1	5	15	5	10	10	1	5	20	1	10	20	1	5
5	* <i>Sinapis alba</i> (gorczyca jasna)	15			25	+	+	20		+	+			1			1		
6	<i>Solidago canadensis</i> (nawłóć kanadyjska)	10	5	1	5	10	1		+	+	5	10	1	+	1	1	1	5	5
7	<i>Impatiens parviflora</i> (niecierpek drobnokwiatowy)	1	15	5				5	20	10		+	+	1	15	5	5	5	1
8	<i>Medicago falcata</i> (Lucerna sierpowata)	+	+		10	1	+	+	1	1	+	+					+	5	
9	<i>Lamium maculatum</i> (jasnota plamista)	1	+							+									+
10	<i>Lycopus europaeus</i> (karbieniec pospolity)	+						+	+	+									
11	** <i>Calamagrostis epigejos</i> (trzcinnik piaszkowy)	+	+	1				+	+	+									
12	<i>Conyza canadensis</i> (koniazka kanadyjska)	5	5	+	5	5	5	1	10	10	5	10	1	+	1	5	1	5	1
13	<i>Cirsium vulgare</i> (ostrożeń lancetowaty)	+	+	+			1	+	+	5				+			+		+
14	<i>Plantago intermedia</i> (babka wielonosna)	1	5	+				+	1	+		+				+	+	1	
15	<i>Stellaria media</i> (gwiazdnica pospolita)	1	5	5				1	5	1	10	10	5	1	5	1	5	10	5
16	<i>Trifolium arvense</i> (koniczyna polna)	1	10	5				5	10	10				+	+	+	1	+	
17	<i>Bidens tripartita</i> (uczep trójlistkowy)		+	1	10	1	1		+	+	+	+	+	+	+				+
18	<i>Sonchus arvensis</i> (mlec polny)	1	15	5	5	10	10		1	1	1	15	5	1	10	10	1	10	5
19	<i>Polygonum aviculare</i> (rdest ptasi)	+	1	+	5	5	5		1	+	1	5	+	+	1	1		1	+
20	<i>Sonchus oleraceus</i> (mlec zwyczajny)	+	+		1	1		+	+	1			1		+	+	+	1	+
21	** <i>Poa annua</i> (wiechlina roczna)		+	+					+		+			+	+		+	+	
22	<i>Trifolium repens</i> (koniczyna biała)	5	5	1	5	10	5	1	10	5	5	10	1	+	1	1		1	+
23	<i>Chenopodium album</i> (komosa biała – lebioda)	5	15	5	10	15	5	1	25	10	1	20	5	+	10	5	1	15	5

c.d. tabeli 1.

24	<i>Sinapis arvensis</i> (gorczyca polna - ognicha)		+		+				+		+				+				+
25	<i>Acer negundo</i> (klon jesionolistny) - s	+					+	+											
26	<i>Bidens frondosa</i> (uczep amerykański)	+	1	+	1	5		+	1	+				1	1	+	1	1	
27	<i>Solidago gigantea</i> (nawłoc późna)	1	5	+				+	1	1				+	1	+	1	5	1
28	<i>Artemisia vulgaris</i> (bylica pospolita)		+			+	1	+	+	1		+	5		+		+	+	+
29	<i>Matricaria maritima</i> subsp. <i>inodora</i> (maruna nadmorska bezwonna)		+	1			+	+	+	5		+			+	1			
30	<i>Taraxacum officinale</i> (mniszek pospolity)	1	5	5	5	10	5	+	1	1	1	5	5	1	15	5		+	5
31	<i>Vicia cracca</i> (wyka ptasia)	+	+							1								+	+
32	<i>Cirsium oleraceum</i> (ostrożeń warzywny)	+	+							1	+	+							
33	<i>Chenopodium murale</i> (komosa murowa)				1	5	+	+	5	1				+	1	+		+	
34	<i>Raphanus raphanistrum</i> (rzodkiew świrzepa)				+	5	1		+					+	1			+	
35	<i>Sisymbrium loeselii</i> (stulisz Loesela)		1	1	+	5	+	1	5	5		+	1	+	5	1			
36	<i>Sisymbrium officinale</i> (stulisz lekarski)				+	1												1	+
37	<i>Sonchus asper</i> (mlecz kolczasty)				1	+				+									
38	<i>Medicago lupulina</i> (lucerna nerkowata)				20	1	5	15		5		1	20		1	5		1	5
39	<i>Tussilago farfara</i> (podbiał pospolity)				1	+	5				5	1	+						
40	** <i>Dactylis glomerata</i> (kupkówka pospolita)					+	1			1			1			+			1
41	<i>Chenopodium polyspermum</i> (komosa wielonasienna)				+	1				+									
42	<i>Cirsium arvense</i> (ostrożeń polny)				+	+			+	1	+	1	+	+	+		+	1	1
43	<i>Chenopodium urticum</i> (komosa trójkątna)								+	+									
44	<i>Plantago major</i> (babka zwyczajna)										+	1	+	+	1	5			
45	<i>Trifolium hybridum</i> (koniczyna białoróżowa)										+	1	+	+	1	+		+	
46	<i>Rumex acetosa</i> (szczaw zwyczajny)				5							+			+				
47	<i>Geranium pyrenaicum</i> (bodziszek pirenejski)											+							+
48	<i>Fallopia convolvulus</i> (rdestówka powojowata)											+							
49	<i>Convolvulus arvensis</i> (powój polny)											+						+	

## c.d. tabeli 1.

50	<i>Chenopodium hybridum</i> (komosa wielkolistna)								+	+			+				
51	<i>Atriplex prostrata</i> (łoboda oszczepowata)												+				
52	<i>Atriplex tatarica</i> (łoboda szara)												+		+		
53	<i>Atriplex patula</i> (łoboda rozłożysta)												+				
54	<i>Erigeron ramosus</i> (przymiotno gałęziste)			+				+	+						+		
55	<i>Daucus carota</i> (marchew zwyczajna)												+				+
56	<i>Polygonum persicaria</i> (rdest plamisty)														+	+	
57	<i>Plantago lanceolata</i> (babka lancetowata)							+	+				+	+	+	+	+
58	<i>Achillea millefolium</i> (krwawnik pospolity)												+	+	+	+	+
59	<i>Chenopodium glaucum</i> (komosa sina)								+						+		
60	<i>Erysimum cheiranthoides</i> (pszonak drobnokwiatowy)														+	+	1
61	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (tasznik pospolity)					+			1				+	+			1
62	<i>Oxalis fontana</i> (szczawik żółty)														+		1
63	<i>Chamomilla recutita</i> (rumianek pospolity)														+		
64	<i>Polygonum lapathifolium</i> (rdest szczawiolistny)														+		+
65	<i>Descurainia sophia</i> (stulicha psia)														+		+
66	<i>Epilobium montanum</i> (wierzbownica góraska)																+
67	<i>Silene vulgaris</i> (lepnica rozdęta)																+
68	<i>Veronica persica</i> (przetacznik perski)																+
69	** <i>Elymus repens</i> (perz właściwy)			1		1			1						1		1
70	<i>Lotus corniculatus</i> (komonica zwyczajna)															+	
71	** <i>Pleum pratense</i> (tymotka łąkowa)			+		1			+						1		1
72	<i>Trifolium dubium</i> (koniczyna drobnogłównowa)														+		
73	<i>Viola arvensis</i> (fiolka polny)								+								
74	** <i>Poa angustifolia</i> (wiechlina wąskolistna)			+		+			+								+
75	<i>Vicia sativa</i> (wyka siewna)															+	
76	** <i>Agrostis stolonifera</i> (mietlica rozłogowa)			1					+						+		1



c.d. tabeli 1.

77	<i>Rumex acetosella</i> (szczaw polny)					1						+							
78	<i>Vicia hirsuta</i> (wyka drobnokwiatowa)											+							
79	** <i>Poa compressa</i> (wiechlina spłaszczone)				+		+						+						
80	<i>Erigeron annuus</i> (przymiotno białe)				+											+			
81	<i>Anthriscus sylvestris</i> (trybula leśna)												+						+
82	<i>Quercus robur</i> (dąb szypułkowy) - s																		+
83	<i>Rumex crispus</i> (szczaw kędzierzawy)										+		+						

**Objaśnienia:**

- \* – gatunki wysiane w 2011 r.,
- \*\* – gatunki traw samosiewnych,
- NPK – nawóz N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O bez nawożenia organicznego,
- kRa – kompost z odpadów komunalnych Radiowo,
- kC – kompost Complex,
- kr – kompost roślinny, wyprodukowany z trawy,
- kZ – kompost z odpadów komunalnych i roślinnych (ZUSOK),
- O – osad z oczyszczania ścieków komunalnych,
- s – siewka drzewa lub krzewu,
- + – gatunek wystąpił sporadycznie (1–3 osobniki).

**Tabela 2.** Udział grup syntaksonomicznych w randze klasy w trzecim roku doświadczenia  
**Table 2.** Share of syntaxonomical groups in classes rank in the third year of experiment

Grupa syntaksonomiczna (klasa)	Liczba gatunków	%
<i>Stellarietea mediae</i>	35	42,2
<i>Molinio-Arrhenatheretea</i>	18	21,7
<i>Artemisietea vulgaris</i>	15	18,1
<i>Bidentetea tripartiti</i>	4	4,8
<i>Festuco-Brometea</i>	3	3,6
<i>Koelerio-Corynephoretea</i>	2	2,4
<i>Querco-Fagetea</i>	2	2,4
<i>Isoëto-Nanojuncetea</i>	1	1,2
<i>Epilobietea angustifolii</i>	1	1,2
<i>Salicetea purpureae</i>	1	1,2
<i>Alnetea glutinosae</i>	1	1,2
Razem	83	100,0



**Fot. 4.** W drugim roku doświadczenia nad trawami dominowały rośliny dwuliścienne (model z kompostem Complex)



**Fot. 5.** Panujący stulisz lekarski (*Sisymbrium officinale*) w modelu nawożonym kompostem z odpadów komunalnych Radiowo (30 maja 2012 r.)



**Fot. 6.** Niecierpek drobnokwiatowy (*Impatiens parviflora*) – pospolity kenofit – w pojemniku ze złożem zasilanym NPK



**Fot. 7.** Mniszek pospolity (*Taraxacum officinale*) wśród traw za złożu z kompostem ZUSOK (drugi rok doświadczenia)



**Fot. 8.** W trzecim roku doświadczenia dominują trawy

Analiza fitosocjologiczna i syntaksonomiczna flory z lat 2011–2013 wykazała udział 11 grup syntaksonomicznych w randze klas. Wśród wyróżnionych grup badanej flory ponad 40% gatunków należała do nitrofilnych zbiorowisk pól uprawnych (klasa *Stellarietea mediae*). Dwie następne grupy gatunków związane były z mezo- i eutroficznymi zbiorowiskami łąkowymi (klasa *Molinio-Arrhenatheretea*) oraz antropogenicznymi siedliskami ruderalnymi (klasa *Artemisietea vulgaris*). Pozostałe grupy syntaksonomiczne reprezentowane były przez znikome liczby gatunków (tab. 2).

Spektrum form życiowych roślin naczyniowych uległ częściowej zmianie. Wśród zidentyfikowanych gatunków w latach 2011–2012 wykazano wyraźną dominację ro-

ślin jednorocznych (terofitów), które stanowiły niemal połowę składu gatunkowego badanej flory. Stosunkowo wysoki udział (39%) we florze miały rośliny wieloletnie – hemikryptofity. Natomiast w roku 2013 wyraźnie dominowały hemikryptofity (45%), z jednoczesną tendencją zmniejszania się udziału terofitów. Przez cały okres obserwacji znaczący udział (12%) miały geofity, czyli rośliny skrywające pąki w glebie (tab. 3).

**Tabela 3.** Spektrum form życiowych roślin według Raunkiaera w trzecim roku doświadczenia  
**Table 3.** Spectrum of plants life forms according to Raunkiaer in the third year of experiment

Forma życiowa	Liczba gatunków	%
Hemikryptofity (H)	37	44,6
Terofity (T)	33	39,8
Geofity (G)	10	12,0
Megafanerofity (M)	2	2,4
Chamefity zielne (C)	1	1,2
Razem	83	100,0

## OCENA REKULTYWACYJNEJ EFEKTYWNOŚCI NAWOZÓW W MODELOWYM DOŚWIADCZENIU NA PODSTAWIE UDZIAŁU ROŚLIN

W ostatnim roku doświadczenia we wszystkich modelach nawożenia, pod względem pokrycia, dominują trawy wysiane na początku doświadczenia (tab. 1). Natomiast spośród roślin samosiewnych ich pokrycie w poszczególnych modelach było zróżnicowane, np. w modelu NPK dominują rośliny motylkowate, a w modelach z kompostem Radiowo, ZUSOK i z osadem ściekowym największe pokrycie miały rośliny z rodziny złożonych. Warto zwrócić także uwagę na rolę roślin synantropijnych (ruderalnych i segetalnych). Mają one dużą biomasę i są w większości roślinami jednorocznymi (terofitami). Ich podwyższony udział w pokryciu może być wskaźnikiem właściwego zapoczątkowania przebiegu rekultywacji biologicznej składowisk. Dość wyraźnie zaobserwowano to w modelu z kompostem Complex. Nie mniej ważną rolę w procesie rekultywacji spełniają rośliny motylkowate i złożone (astrowate). Ich duży udział usprawnia tworzenie pokrywy roślinnej w większości modeli, a zatem przebieg rekultywacji, bowiem wiele gatunków z tych grup to rośliny wieloletnie (fot. 9–11).

**Doświadczalny model z NPK bez nawożenia organicznego (NPK).** W pierwszym roku doświadczenia (2011 r.) niemal połowę powierzchni pojemników nawożonych mieszanką NPK zajmowały wysiane 4 gatunki traw. Natomiast pokrycie gorczycy jasnej (*Sinapis alba*) oszacowano na ok. 10%. Ponad 20 pozostałych gatunków roślin dwuliściennych zasiedliło się spontanicznie, m.in. były to: koniczyna biała (*Trifolium repens*), konyza kanadyjska (*Conyza canadensis*), komosa biała (*Chenopodium al-*



**Fot. 9.** Pojemniki doświadczenia modelowego z roślinami – stan z dnia 30.05.2011 r.



**Fot. 10.** Pojemniki doświadczenia modelowego z roślinami – stan z dnia 31.05.2012 r.



**Fot. 11.** Pojemniki doświadczenia modelowego z roślinami – stan z dnia 30.05.2013 r.



**Fot. 12.** Wszędobylski kenofit niecierpek drobnokwiatowy (*Impatiens parviflora*) był bardzo często spotykany w pojemnikach doświadczalnych (model NPK bez nawożenia organicznego – drugi rok obserwacji)

bum). W 2012 roku udział traw zmalał do ok. 10%, a gorzycy jasnej nie stwierdzono (gatunek jednoroczny). W stosunku do 2011 roku odnotowano zwiększenie udziału niecierpka drobnokwiatowego (*Impatiens parviflora*) (fot. 12), stulisza Loesela (*Sisymbrium loeselii*), komosy białej (*Chenopodium album*), mlecza polnego (*Sonchus arvensis*), koniczyny polnej (*Trifolium arvense*). Ogólna liczba gatunków wzrosła do 30. W trzecim roku eksperymentu z pojemnikami zasilanymi nawozem NPK (bez nawożenia organicznego) przeważały, wysiane w 2011 roku, dwa gatunki traw: wiechlina łąkowa Evon (*Poa pratensis* var. Evon) i kostrzewa czerwona Maxima (*Festuca rubra* var. Maxima). Wolne powierzchnie najczęściej były zajmowane przez samosiewną lucernę nerkowatą (*Medicago lupulina*). Większość gatunków należała do terofitów, roślin jednorocznych zimujących w postaci nasion. Pod względem udziału rodzin florę analizowanego modelu zdominowały rodziny złożonych, traw i motylkowatych. Natomiast bogactwo florystyczne utrzymało się na podobnym poziomie, jak w 2012 roku. W oparciu o obserwacje florystyczne dowiedziono umiarkowaną efektywność rekultywacyjną zaaplikowanego nawozu NPK na złożu odpadów paleniskowych energetyki węglowej. Świadczy o tym chociażby stosunkowo niższe pokrycia złoża hemikryptofitami – roślinami darniowymi i kępkowymi, głównie trawami.

**Doświadczalny model z kompostem Radiowo (kR).** W tym modelu w pierwszym roku doświadczenia stwierdzono 26 gatunków roślin. Wysiane trawy i gorzycza jasna zajęły niemal  $\frac{3}{4}$  powierzchni pojemników, odpowiednio ok. 50 i 25%. W drugim roku liczba gatunków nie uległa większej zmianie, ale nastąpiła zmiana struktury jakościowej flory. Zmalało pokrycie traw do ok. 20% na korzyść kilkunastu gatunków roślin dwuliściennych. Były to głównie: mniszek pospolity (*Taraxacum officinale*),

mlecz polny (*Sonchus arvensis*), komosa murowa (*Chenopodium murale*) (fot. 13), komosa biała (*Chenopodium album*), stulisz Loesela (*Sisymbrium loeselii*), stulisz lekarski (*Sisymbrium officinale*), rzodkiew świrzepa (*Raphanus raphanistrum*), koniczyna biała (*Trifolium repens*). Łącznie notowano 30 gatunków. W trzecim roku doświadczenia w pojemnikach z kompostem Radiowo nastąpił wzrost pokrycie traw niemal do 50%, głównie z udziałem życicy trwałej Stadion (*Lolium perenne* var. Stadion). Liczba gatunków nie uległa zmianie. W trzecim roku obserwacji pokrycie traw w pojemnikach z kompostem Radiowo dochodziło do 50%. Ponadto powierzchnie pojemników pokrywały rośliny komosowate, krzyżowe i motylkowate. Były to zarówno rośliny jednoroczne (terofity), jak i wieloletnie (hemikryptofity, geofity, rośliny kłączowe). Udział roślin z tych taksonów świadczy o dobrej efektywności rekultywacyjnej na tym złożu.

**Doświadczalny model z kompostem Complex (kC).** W pierwszym roku doświadczenia na złożu tego modelu stwierdzono 25 gatunków roślin. Dominujący udział w pokryciu powierzchni pojemników miały wysiane gatunki traw. Pokrywały one ok. 60% powierzchni pojemników, a gorczyca jasna ok. 20%. Pozostałe powierzchnie zasiedlało kilka spontanicznie wkraczających gatunków roślin dwuliściennych. W roku 2012 liczba gatunków wzrosła do 34, i jednocześnie diametralnie zmieniła się kompozycja ilościowa roślin z udziałem gatunków roślin dwuliściennych. Wysiane trawy pokrywały już tylko ok. 10% powierzchni bez udziału gorczycy. Odnotowano wyraźną dominację spontanicznych gatunków roślin dwuliściennych. Spośród nich w modelu tym dominowały: komosa biała (*Chenopodium album*), niecierpek drobnokwiatowy (*Impatiens parviflora*), konyza kanadyjska (*Conyza canadensis*), koniczyna biała (*Trifolium repens*) (fot. 14). Notowano jeszcze ponad 20 innych gatunków z niewielkim lub sporadycznym udziałem. W roku 2013 obserwowano ponowne rozprzestrzenienie się traw (do 50% pokrycia) wysianych na początku eksperymentu. Odnotowano także kilka gatunków traw samosiewnych, m. in. kupkówkę pospolitą (*Dactylis glomerata*) i perz właściwy (*Elymus repens*). Łącznie w tym modelu notowano 45 gatunków roślin samosiewnych. Spośród nich najwyższe pokrycie powierzchni pojemników miały te same gatunki co w 2012 roku. Były to głównie terofity należące do roślin komosowatych, motylkowatych i gatunków roślin synantropijnych. Dominacja terofitów na tym etapie rekultywacji nie świadczy o jej wysokiej efektywności. Ze względu na dość duży udział traw i roślin komosowatych można prognozować dla tego modelu nasilenie się procesu glebotwórczego w latach następnych, a w konsekwencji jeszcze większy wzrost sprawności rekultywacyjnej tego złoża.

**Doświadczalny model z kompostem roślinnym (kr).** W roku 2011 notowano 22 gatunki roślin. Wyraźnie dominowały wysiane gatunki traw (ok. 70% pokrycia). Oprócz traw rosły głównie: gwiazdnica pospolita (*Stellaria media*), podbiał pospolity (*Tussilago farfara*) i konyza kanadyjska (*Conyza canadensis*). W roku 2012 pokrycie traw zmalało do 10%. Nastąpiła wyraźna ekspansja gatunków roślin dwuliściennych, z których największy udział miały: komosa biała (*Chenopodium*



**Fot. 13.** Komosa murowa (*Chenopodium murale*) w pojemniku z kompostem Radiowo (drugi rok doświadczenia)



**Fot. 14.** Spośród roślin motylkowatych w drugim roku obserwacji duży udział miała koniczyna biała (*Trifolium repens*) (model z kompostem Complex)

*album*) (fot. 15), mlecz polny (*Sonchus arvensis*), nawłóć kanadyjska (*Solidago canadensis*), konyza kanadyjska (*Conyza canadensis*). W sezonie wegetacyjnym w pojemnikach tego modelu notowano 39 gatunków. W następnym, trzecim roku doświadczenia, ponad 50% powierzchni pojemników porastały trawy. Na pozostałej powierzchni stwierdzono ponad 30 gatunków roślin z rodzin: komosowatych (m. in.



komosa biała *Chenopodium album* i kilka gatunków łobód *Atriplex*), krzyżowych (gorczyca polna *Sinapis arvensis*, stulisz Loesela *Sisymbrium loeselii* i tasznik pospolity *Capsella bursa-pastoris*), motylkowatych (koniczyna biała *Trifolium repens*, koniczyna białoróżowa *Trifolium hybridum*, lucerna nerkowata *Medicago lupulina*) oraz roślin synantropijnych, głównie z rodziny złożonych (nawłóć kanadyjska *Solidago canadensis*, konyza kanadyjska *Conyza canadensis*, mlecz polny *Sonchus arvensis*, mniszek pospolity *Taraxacum officinale*, podbiał pospolity *Tussilago farfara* i in.). Efektywność rekultywacji w tym modelu częściowo usprawniało osiedlanie się wieloletnich roślin dwuliściennych (hemikryptofitów, geofitów i chamefitów zielnych). Jednak stosunkowo niskie pokrycie traw na tym etapie rekultywacji świadczy o jej powolnym tempie.

**Doświadczalny model z kompostem ZUSOK (kZ).** Na większości powierzchni pojemników tego modelu w 2011 roku porastały gatunki traw (ok. 80%) z niewielkim udziałem gorczycy jasnej. Ponadto notowano kilkanaście osobników samosiewek roślin dwuliściennych. W następnym roku doświadczenia trawy wyraźnie ustąpiły, zasiedlając zaledwie 20% powierzchni. Stwierdzono 41 gatunków roślin dwuliściennych. Spośród nich największe pokrycie miały: niecierpek drobnokwiatowy (*Impatiens parviflora*), mniszek pospolity (*Taraxacum officinale*), komosa biała (*Chenopodium album*), stulisz Loesela (*Sisymbrium loeselii*) i mlecz polny (*Sonchus arvensis*). W ostatnim roku eksperymentu ponownie zaobserwowano pokaźny udział pokrycia traw. Były to głównie gatunki traw zaaplikowanych na początku doświadczenia, ale także samosiewne, np. tymotka łąkowa (*Phleum pratense*), mietlica rozłogowa (*Agrostis stolonifera*), wiechlina roczna (*Poa annua*), perz właściwy (*Elymus repens*) (fot. 16). Spośród roślin dwuliściennych wystąpiły, wymieniane także w innych modelach. Były to rośliny należące do: rodziny komosowatych (łoboda i komosa), rodziny krzyżowych (stulisz, rzodkiew i stulicha), rodziny motylkowych (koniczyna i lucerna). Duży udział miały także rośliny ruderalne, chwasty segetalne a także gatunki łąkowe. Na podstawie stwierdzonego składu florystycznego można przypuszczać, że skuteczność kompostu ZUSOK w początkowym procesie rekultywacji biologicznej na złożu odpadów paleniskowych była zaledwie zadawalająca.

**Doświadczalny model z osadem ściekowym (O).** W pierwszym roku doświadczenia powierzchnie pojemników użyźnione osadem ściekowym porośnięte były przez wysiane gatunki traw (ponad 80% pokrycia) i sporadycznie przez gorczycę jasną. Pozostałe 16 gatunków to rośliny dwuliścienne, a spośród nich największy udział miała gwiazdnica pospolita (*Stellaria media*). W roku następnym udział traw zmalał niemal trzykrotnie. Powierzchnie te zostały opanowane przez 39 samosiewnych gatunków roślin dwuliściennych, z których dominowały: niecierpek drobnokwiatowy (*Impatiens parviflora*), mlecz polny (*Sonchus arvensis*), lucerna sierpowata (*Medicago falcata*), komosa biała (*Chenopodium album*), nawłóć późna (*Solidago gigantea*) (fot. 17) i gwiazdnica pospolita (*Stellaria media*). W trzecim



**Fot. 15.** Dominacja komosy białej (*Chenopodium album*) w drugim roku wegetacyjnym (doświadczalny model z kompostem roślinnym)



**Fot. 16.** W ostatnim roku eksperymentu zaobserwowano znaczny udział pokrycia traw (model z kompostem ZUSOK)



**Fot. 17.** Nawłóć późna (*Solidago gigantea*) dominuje w drugim roku doświadczenia (model z osadem ściekowym)

**Tabela 4.** Udział rodzin we florze w trzecim roku doświadczenia  
**Table 4.** Share of families in the flora in the third year of experiment

Rodziny	Flora ogółem		Liczba i procent gatunków w modelach doświadczalnych											
			NPK		kRa		kC		kr		kZ		O	
	liczba	%	liczba	%	liczba	%	liczba	%	liczba	%	liczba	%	liczba	%
<i>Asteraceae</i> – złożone	19	22,9	14	35,0	13	33,3	15	29,4	12	24,0	16	29,1	12	22,2
<i>Poaceae</i> – trawy	12	14,5	11	27,5	10	25,6	11	21,6	10	20,0	10	18,2	10	18,5
<i>Fabaceae</i> – motylkowate	10	12,1	5	12,5	3	7,7	6	11,7	5	10,0	6	10,9	6	11,1
<i>Chenopodiaceae</i> – komosowate	9	10,8	1	2,5	3	7,7	6	11,7	5	10,0	5	9,1	2	3,7
<i>Brassicaceae</i> – krzyżowe	8	9,6	2	5,0	7	18,0	4	7,8	4	8,0	8	14,5	8	14,8
<i>Polygonaceae</i> – rdestowate	7	8,4	2	5,0	2	5,1	2	3,9	6	12,0	4	7,3	2	3,7
<i>Plantaginaceae</i> – babkowate	3	3,6	1	2,5	–	–	2	3,9	2	4,0	3	5,5	2	3,7
<i>Lamiaceae</i> – wargowe	2	2,4	1	2,5	–	–	1	2,0	–	–	–	–	1	1,9
<i>Apiaceae</i> – baldaszkowate	2	2,4	–	–	–	–	–	–	2	4,0	–	–	2	3,7
<i>Caryophyllaceae</i> – goździkowate	2	2,4	1	2,5	–	–	1	2,0	1	2,0	1	1,8	2	3,7
<i>Convolvulaceae</i> – powojowate	1	1,2	–	–	–	–	–	–	1	2,0	–	–	1	1,9
<i>Onagraceae</i> – wiesiołkowate	1	1,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1,9
<i>Geraniaceae</i> – bodziszkowate	1	1,2	–	–	–	–	–	–	1	2,0	–	–	1	1,9
<i>Oxalidaceae</i> – szczawikowate	1	1,2	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1,8	1	1,9
<i>Balsaminaceae</i> – niecierpkowate	1	1,2	1	2,5	–	–	1	2,0	1	2,0	1	1,8	1	1,9
<i>Scrophulariaceae</i> – trędownikowate	1	1,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1,9
<i>Violaceae</i> – fiołkowate	1	1,2	–	–	–	–	1	2,0	–	–	–	–	–	–
<i>Aceraceae</i> – klonowate	1	1,2	1	2,5	1	2,6	1	2,0	–	–	–	–	–	–
<i>Fagaceae</i> – bukowate	1	1,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1,9
Razem	83	100,0	40	100,0	39	100,0	51	100,0	50	100,0	55	100,0	54	100,0

Oznaczenia skrótów modeli doświadczalnych – patrz tabela 1.

roku obserwacji ponownie wzrosło pokrycie traw do ponad 60%. Podczas trzyletniego doświadczenia w pojemnikach nawożonych osadem ściekowym wykazano dość dobry rozwój pokrywy roślinnej. Można przypuszczać, że dalsze etapy rekultywacji w modelu z osadem ściekowym powinny przebiegać sprawniej za przyczyną występowania (jeszcze z niewielkim pokryciem) aż kilkunastu gatunków z rodziny motylkowatych i krzyżowych, spełniających wraz z trawami główną rolę w procesie rekultywacji składowisk odpadów paleniskowych.

## WNIOSKI

1. Wyniki rekultywacyjnego doświadczenia modelowego ze złożem odpadów paleniskowych wykazały, że istotną rolę w tworzeniu i utrwalaniu pokrywy roślinnej oraz gleby ma sekwencja występowania odpowiednich form życiowych roślin. W początkowym stadium ważną rolę spełniały rośliny jednoroczne (terofity), które pobudzały do kreowania procesu glebotwórczego. W dalszych fazach rozwoju najwyższą efektywność pełniły trawy oraz rośliny dwuliścienne, zwłaszcza dwuletnie i wieloletnie (hemikryptofity, geofity, chamefity zielne), które utrwały glebotwórcze złożo.
2. Podczas trzyletniego przebiegu eksperymentu zasadniczą rolę pełniły (oprócz traw) rośliny z rodzin: złożonych, komosowatych, motylkowatych, które gromadziły znaczną biomasę, istotną w procesie rekultywacji składowisk.
3. Na podstawie oszacowanego w badanych modelach stopnia pokrycia gatunków najwyższą efektywność rekultywacyjną wykazano w pojemnikach z kompostami Complex i Radiowo, a także w modelu z osadem ściekowym. Najniższą efektywność wykazano w modelach z kompostami ZUSOK i roślinnym.
4. Duży wpływ na przebieg doświadczenia i sprawność rekultywacji na złożu odpadów paleniskowych miały warunki atmosferyczne (szczególnie wysokie temperatury, obniżona wilgotność) i ubożenie związków pokarmowych w podłożu.
5. Zaimprovizowany model doświadczalny (*ex situ*) przebiegu biologicznej rekultywacji modelowego gruntu nie może odnosić się do układów rzeczywistych (*in situ* – hałd, składowisk itp.). Jego funkcjonalność jest fragmentaryczna i niekiedy ograniczająca trafne wnioskowanie. Wymaga zatem wielokrotnych powtórzeń i wieloaspektowego testowania.

## PIŚMIENNICTWO

1. Biernacka E. 1976. Wpływ biologicznej rekultywacji składowisk odpadów paleniskowych na niektóre procesy glebowe i skład chemiczny roślin. Rozprawa habilitacyjna, Zesz. Nauk. SGGW AR, Warszawa, nr 86.
2. Dyguś K.H., Madej M. 2012. Roślinność wielowariantowego doświadczenia modelowego na złożu odpadów paleniskowych energetyki węglowej. Inż. Ekolog. 30, 227–240.
3. Dyguś K.H., Sienkiewicz J. 2014. Roślinność na składowisku odpadów posodowych w Janikowie po 13 latach rekultywacji. Inż. Ekolog. 36, 65–97.
4. Dyguś K.H., Siuta J., Wasiak G., Madej M. 2012. Roślinność składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych. Wyd. Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania, Warszawa, 134 s.
5. Gilewska M. 1999. Utilization of sewage sludge in the reclamation of post-mining soil and ash disposal sites. Roczniki AR Poznań, 310. Melioracje i Inżynieria Środowiska, 20/II, 273–281.

6. Gilewska M., Przybyła Cz. 2011. Wykorzystanie osadów ściekowych w rekultywacji składowisk popiołowych. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. PAN, 477, 217–222.
7. Gutkowska A., Pawluśkiewicz B. 2006. Kształtowanie zadarnienia i składu florystycznego zbiorowisk trawiastych pod wpływem zabiegów pratotechnicznych na składowisku popiołu EC Siekierki. Annales UMCS, Sec. E, 61, 249–255.
8. Hryncewicz J., Balicka N., Giedrojć B., Małysowa E. 1972. Badania nad utrwalaniem i zagospodarowaniem hałdy popiołowej w elektrowni „Halemba”. XIX Zjazd Naukowy PTGleb., Puławy.
9. Kozłowska B. 1995. Zastosowanie osadu ściekowego do biologicznego zagospodarowania składowisk odpadów paleniskowych. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. PAN, 418, 859–868.
10. Klimont K. 2011. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego i popiołów paleniskowych. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2/2011, 165–176.
11. Maciak F., Liwski S., Biernacka E. 1976. Rekultywacja rolnicza składowisk odpadów paleniskowych (popiołów) z węgla brunatnego i kamiennego. Cz. 1. Wzrost roślinności na składowiskach popiołu w zależności od zabiegów agrotechnicznych i nawozowych. Roczn. Glebozn. t. XXVII, z. 4, 149–169.
12. Majtkowski W., Głazewski M., Schmidt J. 1999. Roślinność trawiasta składowiska fosfogipsów w Wiślince koło Gdańska. Fol. Uniw. Agric. Stein. 197, Agricultura 75: 207–210.
13. Matuszkiewicz W. 2001. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
14. Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., Zając A., Zając M., 2002. Flowering Plants and pteridophytes of Poland a checklist. Krytyczna lista roślin naczyniowych Polski. Wyd. W. Szafer Institute of Botany, PAS, Kraków.
15. Nowak W. 2006. Rekultywacja biologiczna hałdy fosfogipsu w zakładach chemicznych „Wizów” S.A. Zesz. Nauk. Uniw. Przyr. we Wrocławiu. Ser. Rolnictwo 88, 545, 195–203.
16. Polkowski M., Sułek St. 1999. Kompostowanie masy roślinnej ze strefy bezleśnej przy Zakładach Azotowych Puławy. Kompostowanie i użytkowanie kompostu. Wyd. IOŚ, IUNG, PTIE. Warszawa, 71–74.
17. Rosik-Dulewska Cz. 1980. Rozwój roślin uprawnych na składowiskach popiołu z elektrowni Halemba i ich ocena jakościowa. Rozprawa doktorska AR we Wrocławiu.
18. Rostański A. 2006. Spontaniczne kształtowanie się pokrywy roślinnej na zwalówkach po górnictwie węgla kamiennego na Górnym Śląsku. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
19. Rutkowski L. 1998. Klucz do oznaczania roślin naczyniowych Polski niżowej. Wyd. Naukowe PWN. Warszawa.
20. Siuta J. 1999. Koncepcja rekultywacji składowiska odpadów posodowych w Janikowskich Zakładach Sodowych (maszynopis). IOŚ, Warszawa.
21. Siuta J. 2002. Przyrodnicze użytkowanie odpadów. IOŚ, Warszawa.
22. Siuta J. 2005. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na składowiskach odpadów przemysłowych. Acta Agrophysica, 2005, 5(2), 417–425.
23. Siuta J. 2007. System uprawy i kompostowania roślin na składowisku odpadów posodowych w Janikowie z zastosowaniem osadów ściekowych. Inżynieria Ekologiczna 19, 38–58 + 6 fot.

24. Siuta J., Dyguś K.H. 2013. Plony i chemizm roślin wielowariantowego doświadczenia na modelowym złożu odpadów paleniskowych energetyki węglowej. *Inżynieria Ekologiczna* 35, 7–31.
25. Siuta J., Kutla 2005. Rekultywacyjne działanie osadów ściekowych na złożach odpadów paleniskowych w energetyce węglowej. *Inż. Ekolog.* 10, 58–69.
26. Siuta J., Pasińska C., Wasiak G. i in. 1988. *Przyrodnicze zagospodarowanie osadów ściekowych*. PWN, Warszawa, 357 s.
27. Siuta J., Sienkiewicz J., Dyguś K. 2013. Rozwój szaty roślinnej i gleby na składowisku odpadów posodowych w Janikowie w latach 2000–2013. *Monografia. IOŚ-PIB, Warszawa*, 172 s.
28. Siuta J., Wasiak G. 2000. *Kompostowanie i użytkowanie kompostu*. Monografia. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 60 s.
29. Siuta J., Wasiak G., Chłopecki K. i in. 1996. *Przyrodniczo-techniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost*. IOŚ, Warszawa, 40 s.
30. Siuta J., Wasiak G., Chłopecki K., Mamelka D. 1997. Rekultywacja efektywności osadu ściekowego na bezglebowych podłożach w doświadczeniu lizymetrycznym. W: *II konf. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych*. Puławy-Lublin-Jeziórko, 135–154.
31. Siuta J., Wasiak G., Kozłowska B. 1993. Agrotechniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. Cz. 2. Roślinne zagospodarowanie bezglebowych gruntów użyźnionych osadem ściekowym. *Ekol. i Techn.* 4, 10–14.
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* nr 34, 145–172 + 26 fot.
33. Wysocki W. 1984. *Reclamation of Alkali Piles USEPA Cincinnati, Ohio*.
34. Wysocki W. 1988. *Rekultywacja składowisk odpadów elektrowni węglowych*. *Sozologia i Sozotechnika*, 26, AGH Kraków.
35. Zarzycki K., Trzcńska-Tacik H., Różański W., Szelaż Z., Wołek J., Korzeniak U. 2002. *Ecological indicator values of vascular plants of Poland*. W: *Szafer Institute of Botany, PAS, Kraków*.
36. Żak M. 1972. Wpływ powłok asfaltowych przeciwdziałających wtórnemu pyleniu składowisk popiołów lotnych na wegetację roślin. *XIX Zjazd Naukowy PTGleb., Puławy*.