



Zastosowanie odpadów wydobywczych i kompostu z odpadów komunalnych do tworzenia materiałów glebopodobnych do rekultywacji terenów zdegradowanych

Justyna Kujawska^{}, Małgorzata Pawłowska^{*}, Katarzyna Wójcik^{*},
Stanisław Baran^{**}, Grażyna Żukowska^{**}, Artur Pawłowski^{*}*
^{}Politechnika Lubelska*
*^{**}Uniwersytet Przyrodniczy, Lublin*

1. Wprowadzenie

Odpady wydobywcze powstające w wyniku poszukiwania i pozyskiwania kopalin stanowią około 60% odpadów przemysłowych powstających w Polsce. Do odpadów wydobywczych należą: odpady z wydobywania kopalin, odpady z fizycznej i chemicznej przeróbki rud metali, odpady z fizycznej i chemicznej przeróbki kopalin innych niż rudy metali, zużyte płuczki wiertnicze i inne odpady wiertnicze (Dz.U. 2014, poz. 1923).

Ze względu na skład odpadów wydobywczych można traktować je jako mineralne surowce odpadowe, co ułatwia opracowanie metod zagospodarowania tego rodzaju odpadów. Mimo, że ilość wytwarzanych odpadów w trakcie wydobywania węgla maleje to jednak w dalszym ciągu ich produkcja jest wysoka. Dominującym pod względem ilości odpadem produkcyjnym procesu wydobywania węgla jest przywęglowa skała płonna. Właściwości chemiczne skały płonnej, jej skład petrograficzny, szybkie wietrzenie, powodują, że można ją stosować do rekultywacji terenów zdegradowanych (Siuta & Wasiak, 1991; Bzowski, 2010).

Badania literaturowe wskazują, że skałę płonną można również stosować w tak zwanej skojarzonej gospodarce odpadami, dzięki czemu

można wytworzyć podłoże do rekultywacji terenów zdegradowanych (Turek, 2008). Do tego celu można również wykorzystać odpady wiertnicze. Kompozyt mineralny wytworzony na bazie skały płonnej, zawierającej często związki kwasogenne oraz odpady wiertnicze zwykle charakteryzujący się odczynem zasadowym może znaleźć zastosowanie w rekultywacji terenów zdegradowanych.

Odpady wiertnicze (urobek wiertniczy tzw. zwierciny i zużyta płuczka wiertnicza) powstają w trakcie odwiertów poszukiwawczych gazu łupkowego. W Polsce w 2013 roku powstało 80 tys. ton odpadów wiertniczych (GUS 2014). Wzrastająca ilość tych odpadów wymaga opracowania opłacalnych metod ich zagospodarowania.

Zwierciny, obok urobku skalnego zawierają substancje pochodzące z płuczek wiertniczych. Płuczki są mieszaninami związków chemicznych, wytworzonymi na bazie wody lub oleju mineralnego, a ich skład zależy od technologii wiercenia. Zwierciny zawierają więc w swym składzie między innymi węglowodory, polimery organiczne, środków powierzchniowo czynne, biocydy, metale takie, jak Ba, Zn, Cr, Ni, sole sodowe i potasowe (Ball, 2015).

Skład mineralny zwiercin (minerały ilaste – 45,5%; kwarc – 27,4%, dolomit – 10,7%) jest argumentem przemawiającym za rekultywacyjnym użytkowaniem zwiercin, są ich właściwości fizyczne i chemiczne, takie jak wysoka zawartość cząstek pyłu i iłu, obecność pierwiastków biogennych, np. K, Ca, Mg. Ponadto zwierciny charakteryzują się zasadowym odczynem i dużą pojemnością buforową, co zapobiega zmianom odczynu w podłożu na skutek oddziaływania czynników zakwaszających oraz uwalnianiu metali ciężkich do środowiska (Kujawska, 2016).

Przedstawione w pracy badania mają na celu ocenę wpływu zmian proporcji pomiędzy ilością komponentu mineralnego, złożonego z dwóch rodzajów odpadów wydobywczych oraz komponentu organicznego, którym był kompost z frakcji organicznej odpadów komunalnych na skład i właściwości uzyskanych mieszanin. Ocenie poddano zasobność mieszanin w pierwiastki biogenne, mikro i makroelementy. Badano również toksyczność wytworzonych podłoży w stosunku do rośliny testowej, pszenicy zwyczajnej. Oceny toksyczności dokonano na podstawie wartości wskaźników toksyczności, takich jak indeks kiełkowania oraz procentowe zahamowanie wzrostu korzeni.

2. Materiały i metody

Do sporządzenia mieszanin wykorzystano następujące składniki:

- kompost z frakcji organicznie odpadów komunalnych, wytworzony w kompostowni na terenie składowiska odpadów Wilcze Doły w Kraśniku,
- skałę płonną ze zwałowiska na terenie kopalni węgla brunatnego w Bogdance, rok wytworzenia skały 2007,
- zwierziny pobrane z warstwy odpadów zdeponowanych zrehabilitowanym obiekcie w Luchowie Górnym, w gminie Tarnogród.

W wyniku zmieszania skały płonnej i zwiercin w proporcji wagowej 10:1 wytworzono komponent mineralny, który następnie zmieszano w kompostem w odpowiednich proporcjach wagowych uzyskując cztery mieszaniny:

Mieszanina 1 – kompost : komponent mineralny, 2:1,

Mieszanina 2 – kompost: komponent mineralny, 1:1,

Mieszanina 3 – kompost : komponent mineralny; 1:2,

Mieszanina 4 – kompost : komponent mineralny. 1:3.

Mieszanina	Kompost	Zwierzina	Skała płonna
	[% wagowy]		
Mieszanina 1	64	3	33
Mieszanina 2	50	5	45
Mieszanina 3	33	6	61
Mieszanina 4	25	7	68

W kompoście i wytworzonych mieszaninach oznaczono następujące parametry z wykorzystaniem wymienionych metod:

- przewodnictwo elektryczne właściwe – w papce glebowej (masa gleby : objętość = 1:2,5) metodą konduktometryczną (za pomocą urządzenia wielofunkcyjnego firmy ORION model VERSA STAR),
- odczyn pH mierzony w zawiesinie wodnej uzyskanej przez zmieszanie próby stałej z wodą w stosunku obj. 1: 5 (pH w H₂O) oraz z roztworem 1 mol/dm³ chlorku potasu (pH w KCl), metodą potencjometryczną, za pomocą za pomocą urządzenia wielofunkcyjnego firmy ORION model VERSA STAR,

- zawartość suchej masy metodą ubytku masy podczas suszenia w temperaturze 105°C (PN- PN-ISO 11465:1999P),
- zawartość materii organicznej, metodą ubytku masy podczas prażenia w temp. 550°C (PN- PN-ISO 11465:1999P),
- zawartość węglanów oznaczono metodą objętościową Scheiblera;
- kwasowość hydrolityczną (K_h) metodą Kappena w 0,5 mol · dm⁻¹ oc-tanie wapnia (PN-R-04027),
- sumę kationów zasadowych (S) metodą Kappena,
- pojemność sorpcyjną (T) obliczono na podstawie sumy wartości S i K_h : $T = S + H_h$,
- zawartość węgla organicznego oznaczono za pomocą automatycznego analizatora TOC-5050A firmy Schimadzu,
- zawartość azotu ogólnego oznaczono metodą Klejdahla w aparaturze składającej się z pieca do mineralizacji Speed Digester K-436, destylarki Kjeld Felx K-360 oraz neutralizatora oparów B-414 (zgodnie z normą PN-ISO 11261:2002P),
- całkowitą zawartość metali: Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn określono po mineralizacji w kwasach azotowym i solnym (5: 2) przeprowadzonej w mineralizatorze (Microwave 3000 solv Anton Paar), pierwiastki oznaczono metodą spektrometrii mas ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej ICP-OES JY 238 Ultrace (Jobin Yvon-Horriba Francja).

2.1. Doświadczenie wazonowe

Badania przeprowadzono z użyciem nasion pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum L.*). Przygotowano 18 doniczek (po 350 ml każda) i podzielono na 5 serii (każda w trzech powtórzeniach):

- Seria 1 – Mieszanina 0 – kompost,
- Seria 2 – Mieszanina 1,
- Seria 3 – Mieszanina 2,
- Seria 4 – Mieszanina 3,
- Seria 5 – Mieszanina 4.

Wysiano po 12 nasion pszenicy, pochodzących z tego samego źródła. Rośliny podlewano wodą destylowaną do osiągnięcia 75% całkowitej pojemności wodnej. Hodowlę prowadzono zgodnie z zalecenia-

mi podanymi w normie PN-EN ISO 11269-2:2013-06. Ilość wykiełkowanych nasion oraz długość korzeni mierzono po 21 dniach. Na tej podstawie wyliczono wskaźniki RI, GI według wzorów:

RI, procentowe zahamowanie wzrostu korzeni w glebie:

$$RI = [(A-B)/A] \times 100$$

gdzie:

A – średnia długość korzenia w kontroli,

B – średnia długość korzenia w badanej mieszance.

GI, indeks kiełkowania:

$$GI = [C \times D] / 100$$

gdzie:

C – liczba wykiełkowanych nasion w badanej mieszance/liczba wykiełkowanych nasion w kontroli $\times 100$,

D – (średnia długość korzenia w badanej mieszance/średnia długość korzenia w kontroli) $\times 100$.

Zebrane rośliny rozdzielono na korzenie i łodygi. Oczyszczony materiał roślinny z każdej doniczki suszono w 70°C i rozdrobniono w kulowym młynku laboratoryjnym. W materiale roślinnym oznaczono zawartość metali Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, po mineralizacji w kwasach azotowym i solnym (5:2) i oznaczono metodą spektrometrii mas ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej ICP-OES JY 238 Ultra-ce. Na podstawie uzyskanych zawartości metali w biomase roślin wyliczono współczynnik bioakumulacji (BCF) zgodnie ze wzorem:

$$BCF = C_P / C_G$$

gdzie:

C_P – stężenie metalu w częściach nadziemnych/podziemnych rośliny, mg/kg;

C_G – stężenie metalu w glebie na początku procesu, mg/kg.

3. Wyniki badań

3.1. Właściwości fizyczne i chemiczne mieszanin

Na podstawie zawartości materii organicznej (tabela 1) zgodnie z normą PN-EN ISO 14688-2 mieszaniny można zaliczyć do gruntów organicznych (6-20%). Zwiększenie dawki komponentu mineralnego

nieznacznie obniża zawartość materii organicznej w mieszaninach, co wpływa na zmniejszenie w nich stężenia węgla i azotu. Natomiast obniżeniu ulegał stosunek C:N, co świadczy o niskiej zawartości azotu w komponencie mineralnym.

Tabela 1. Zawartość materii organicznej, węglanów, węgla i azotu w kompoście i mieszaninach

Table 1. The organic matter content, carbonates, carbon and nitrogen in the compost and mixtures

	Straty po prażeniu [%]	Węglany [%]	C [%]	N [%]	C:N
Kompost	23,35±1,71	7,33%±1,41	10,5±0,99	0,69±0,50	15,21
Mieszanina 1	15,50±0,82	5,21%±0,86	9,12±0,79	0,49±0,41	18,61
Mieszanina 2	14,67±0,17	5,01%±0,57	8,63±0,85	0,34±0,38	25,38
Mieszanina 3	13,62±0,91	2,41%±0,78	8,01±0,76	0,25±0,51	32,04
Mieszanina 4	14,13±0,43	1,83%±0,46	8,31±0,88	0,19±0,49	43,74

Węglan wapnia działa na glebę strukturotwórczo oraz sprzyja tworzeniu się trwałych substancji organicznych i akumulacji próchnicy. Kompost oraz mieszaniny 1 i 2 zawierają optymalną zawartość węglanu wapnia (5-10%) gwarantującą wystarczającą tzw. buforowość węglanową, co nie zakłóca przyswajalności przez rośliny składników pokarmowych. Mieszaniny 3 i 4 zawierają niższą zawartość węglanów wapnia, co może niekorzystanie wpłynąć na rozwój roślin (Gołda 2005).

Stosunek C:N badanego kompostu osiąga wartość dojrzałego kompostu (C:N = 20). Wraz z dodatkiem komponentu mineralnego wartość C:N wzrasta. Jako optymalną wartość C:N dla wzrostu roślin przyjmuje się wartość 23 (Ozimek A. i in. 2012) i taki stosunek uzyskano dla mieszanin 1 i 2.

Wyniki oznaczenia pH badanych mieszanin (tabela 2), którego wartość waha się od 7,25 do 7,4 wskazują, że charakteryzuje je odczyn optymalny dla większości roślin uprawnych.

Przewodnictwo elektrolityczne jest uznawane za miarę zasolenia gleby. Wpływ wysokich wartości zasolenia podłoża na rośliny przejawia się głównie w utrudnieniach poboru wody. Wartości przewodnictwa elektrolitycznego właściwego mierzone w papce glebowej (tabela 2) wykazały wzrost przewodności w mieszaninach z dodatkiem komponentu

mineralnego, ale zakres przewodności 2-4 mS/cm uznawany jest za zmniejszający plony tylko w przypadku roślin bardziej wrażliwych (Gołda, 2005).

Tabela 2. Zawartość składników odżywczych i niektóre właściwości chemiczne kompostu i mieszanin

Table 2. Nutrient content and some chemical properties of compost and mixtures

	pH	pH w KCl	EC [mS/cm]	T [cmol(+)/kg]
Kompost	7,41 ± 0,02	7,18 ± 0,01	1,33 ± 0,02	48,2
Mieszanina 1	7,25 ± 0,01	7,24 ± 0,02	1,36 ± 0,03	48,5
Mieszanina 2	7,38 ± 0,02	7,23 ± 0,02	2,73 ± 0,03	47,7
Mieszanina 3	7,35 ± 0,01	7,18 ± 0,02	2,90 ± 0,02	39,1
Mieszanina 4	7,4 ± 0,02	7,1 ± 0,03	2,99 ± 0,02	30,1

Biorąc pod uwagę wartości pojemności sorpcyjnej używane do oceny zdolności zatrzymywania jonów w glebach (skala Lityńskiego, 1976) stwierdzono bardzo silną zdolność sorpcyjną ($T > 9,0$ cmol(+)/kg) w przypadku wszystkich badanych mieszanin oraz kompostu.

Stężenia metali ciężkich w kompoście i mieszaninach przedstawia tabela 3. Zawartość metali ciężkich w kompoście użytym w badaniach jest znaczna. Ustawa o nawozach i nawożeniu z dnia 10 lipca 2007 roku (Dz.U. Nr 147, poz. 1033) kwalifikuje komposty jako nawozy organiczne. Stężenia metali zawarte w badanym kompoście zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu wskazuje na możliwość wykorzystania jego do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i produkcji pasz.

Dodatek komponentu mineralnego do kompostu zwiększa zawartość baru ponad dwukrotnie, ale stężenie tego pierwiastka nie przekroczyło wartości dopuszczalnych określonych Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. 2002 nr 165 poz. 1359). Podobne obserwacje dotyczą stężeń innych metali, które również wzrastają, ale nie przekraczają dopuszczalnych zawartości. Największy wzrost stężeń metali obserwowano w mieszaninach 3 i 4, sporządzonych w proporcjach

kompostu i komponentu mineralnego wynoszących odpowiednio 1:2 oraz 1:4.

Tabela 3. Średnie stężenia metali ciężkich [mg/kg s.m.] w kompoście i mieszaninach mineralno-organicznych

Table 3. Average concentrations of heavy metals [mg / kg s.m.] in the compost and mineral-organic mixtures

Kompost	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	167,0±1,11	3,56±1,68	48,02±0,50	94,27±1,34	34,46±1,63	90,56±1,68	86,45±0,63
Wartości dopuszczalne *	n.d.	5	100	n.d.	60	140	n.d.
Mieszanina 1	350,18±0,97	2,28±0,75	59,69±2,35	145,02±0,85	32,57±2,06	92,22±1,42	61,91±1,61
Mieszanina 2	372,7±1,31	1,87±0,49	64,67±2,52	36,48±1,35	46,14±3,22	53,73±1,64	24,27±0,78
Mieszanina 3	397,56±0,63	2,28±1,23	65,19±2,75	77,41±1,09	32,95±2,73	66,51±3,04	38,09±1,4
Mieszanina 4	417,65±0,43	2,22±1,11	64,90±3,47	102,59±0,94	28,59±3,54	70,56±2,10	39,60±0,76
Wartości dopuszczalne **	200	4,00±	150,00	150,00	100,00	100,00	150,0

n.d. – nie dotyczy

* zgodnie z Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2008 poz. 765).

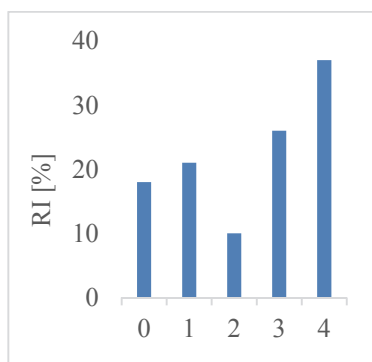
** dla grupy C, czyli terenów przemysłowych zgodnie z Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. 2002 nr 165 poz. 1359).

Porównanie wyników badań zawartości wybranych pierwiastków w mieszaninach (tabela 3) z wartościami dopuszczalnymi określonymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi wskazuje, że pod względem zawartości analizowanych pierwiastków mieszaniny nie przekraczają wartości określonych dla grupy C, czyli terenów przemysłowych.

3.2. Wpływ udziału kompozytu mineralnego w mieszaninie na kiełkowanie i wzrost roślin

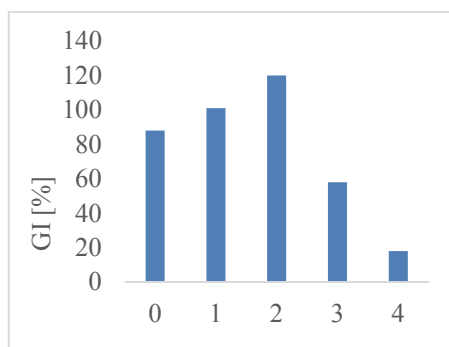
Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono zmiany wskaźnika hamowania wzrostu korzeni (RI) oraz indeksu kiełkowania (GI) nasion pszenicy wywołane zmianą podłoża. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem udziału kompozytu mineralnego w mieszaninach o zawartości powyżej 50%

komponentu mineralnego, następuje hamowanie kiełkowania nasion pszenicy oraz zwiększenie wartości wskaźnika hamowania wzrostu korzenia. W mieszance zawierającej trzy razy więcej kompozytu mineralnego niż kompostu obserwowano około 40% zahamowanie wzrostu korzenia w porównaniu do próby z samym kompostem.



Rys. 1. Procentowe zahamowanie wzrostu korzeni pszenicy w mieszankach

Fig 1. Percentage inhibition of root growth of wheat in mixtures



Rys. 2. Indeks kiełkowania pszenicy w mieszankach

Fig 2. Germination index of wheat in mixtures

Według skali przyjętej przez Baran i Tarnawskiego (2013), jeżeli wskaźnik GI mieści się w przedziale od 90-110% to badana substancja jest nietoksyczna dla rośliny, jeżeli $GI < 90\%$ to następuje zahamowanie wzrostu roślin, a gdy $GI > 110\%$ widoczna jest stymulacja wzrostu. Biorąc pod uwagę wartości graniczne tego wskaźnika stwierdzono, że w mieszankach 1 i 2 nastąpiła stymulacja kiełkowania nasion w porównaniu do innych mieszanin.

3.3. Wpływ udziału kompozytu mineralnego w mieszance na biodostępność metali w roślinach

W związku z wysoką zawartością metali ciężkich w kompoście i odpadach wydobywczych istnieje zagrożenie przenikania ich do organizmów żywych. W celu oceny migracji metali z podłoża do rośliny oraz ich mobilności w roślinie wyliczono współczynnik bioakumulacji (BCF). Wartość BCF odzwierciedla zdolność roślin do pobierania metali z gleby

oraz informuje o przemieszczeniu się ich z roztworu glebowego do części nadziemnych rośliny (Baran i Wieczorek 2013). Wskaźnik ten jest stosunkiem zawartości metalu w roślinie do jego ilości w glebie. We wszystkich badanych mieszaninach najsilniej kumulowany był Cd, nieco słabiej Ba, w dalszej kolejności Cr i Ni, potem Pb i najslabiej Ni (tabela 4).

Tabela 4. Współczynniki bioakumulacji metali w pszenicy w badanych podłożach

Table 4. Bioaccumulation factors metals in wheat in mixtures

BCF	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb
Kompost	0,28	0,80	0,33	0,001	0,27	0,00
Mieszanina 1	0,20	0,61	0,14	0,001	0,23	0,16
Mieszanina 2	0,24	0,60	0,13	0,06	0,22	0,23
Mieszanina 3	0,21	0,62	0,14	0,02	0,19	0,15
Mieszanina 4	0,26	1,08	0,15	0,001	0,14	0,22

Wartość $BCF > 1$ wskazuje na hiperkumulację metalu w roślinie. Tak wysoką wartość zaobserwowano jedynie w przypadku kadmu w mieszaninie 4. Wartość BCF od 0,1 do 1 wskazuje na umiarkowaną akumulację metali w roślinie (Netty i in. 2013). W przedziale tym mieściły się współczynniki bioakumulacji w pszenicy takich pierwiastków jak Ba, Cd, Cr, Ni, Pb badane we wszystkich mieszaninach. Nie zaobserwowano natomiast akumulacji miedzi w roślinach rosnących na wszystkich badanych podłożach o czym świadczy bardzo niska wartość $BCF < 0,01$.

4. Wnioski

Badania wykazały, że zmieszanie kompostu z odpadów komunalnych z przywęglową skałą płonną z kopalni w Bogdance oraz zwiercinami powstającymi podczas poszukiwania gazu łupkowego w proporcji wagi 64%:3%:33% oraz 50%:5%:45% prowadzi do wytworzenia podłoża mineralno-organicznego, które może znaleźć zastosowanie do tworzenia warstwy rekultywacyjnej terenów zdegradowanych. Właściwości fizyczno-chemiczne badanych podłoży były zbliżone do właściwości typowych do gleb, bogatych w materię organiczną, ale wytworzonych na skałach nieorganicznych. Mimo podwyższonych w stosunku do wartości mierzonych w glebach zawartości metali ciężkich w wytworzonych podłożach

nie stwierdzono zwiększonej akumulacji metali w biomase roślin, ani ich przemieszczania w układzie korzeń-część nadziemna.

W mieszaninach, w których składzie przeważał komponent mineralny złożony z skały płonnej i zwiercin zmieszanych w proporcji wag. 10:1 nastąpiło wyraźne zhamowanie kiełkowania i wzrostu roślin, co wynika najprawdopodobniej z wyższej zawartości metali ciężkich i zasolenia w porównaniu do pozostałych podłoży. Biorąc pod uwagę wartości indeksu kiełkowania, indeksu zahamowania wzrostu roślin stwierdzono, że najlepsze warunki do wzrostu roślin panowały w mieszaninach, w których kompost stanowił do 50% wag. ich masy.

Literatura

- Abbe, E.O., Grimes, M.S., Fowler, D.G., Boccaccini, R.A. (2009). Novel sintered glass-ceramics from verified oil well drill cuttings. *Journal Material Science*, 44, 4296-4302.
- Al-Ansary, S.M., Al-Tabbaa, A. (2007). Stabilisation/solidification of synthetic north sea drill cuttings containing oil and chloride. *Journal of Hazard Materials*, 141(2), 410-421.
- Ball, S. A., Stewart, R. J., Schlieohake, K. (2015). A review of current options for the treatment and safe disposal of drill cuttings. *Waste Management & Research*, 30(5), 457-473.
- Bahri, N.B., Laribi, B., Soufi, S., Rezgui, S., Bettaieb, T. (2015). Growth performance, photosynthetic status and bioaccumulation of heavy metals by *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud growing on contaminated soils. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)*, 6, 32-43.
- Baran, A., Tarnawski, M. (2013). Phytotoxkit/Phytotestkit and Microtox® as tools for toxicity assessment of sediments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98, 19-27.
- Baran, A., Wiczorek, J. (2013). Ocena zagrożenia związanego z zawartością metali ciężkich w glebach na terenie powiatu Olkuskiego (woj. małopolskie). *Proceedings of EcOpole*, 7(1), 281-285
- Bzowski, Z., Szydeł, R., Zarębski, K., Zawiślak, J. (2010). *Wytyczne dotyczące wykorzystania odpadów wydobywczych z kopalni LW „Bogdanka” do niwelacji i rekultywacji niecek osiadań poeksploatacyjnych*. Wyd. Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie.
- Gołda, T. (2005). *Rekultywacja*. Kraków: AGH.
- GUS (2014). *Ochrona Środowiska. Informacje i opracowania statystyczne*. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.

- Jia, G.D., Yangb, Y.S., Zhouc, Q., Sunc, T., Nia, J.R. (2004). Phytodegradation of extra heavy oil-based drill cuttings using mature reed wetland: an in situ pilot study. *Environment International*, 30, 509-517.
- Kisic, I., Mesic, S., Basic, F., Brkic V., Mesic, M., Durn, G., Zgorelec Z., Bertovic, L. (2009). The effect of drilling fluids and crude oil on some chemical characteristics of soil and crops. *Geoderma*, 149, 209-216.
- Kujawska, J., Pawłowska, M., Cel, W., Pawłowski, A. (2016). Potential influence of drill cuttings landfill on groundwater quality – comparison of leaching tests results and groundwater composition. *Desalination And Water Treatment* 3(57), 1409-1419.
- Lityński, T., Jurkowska, H., Gorlach, E. (1976). *Analiza chemiczno-rolnicza*. Warszawa: PWN.
- Monitoring chemizmu gleb ornych Polski, IUNG 2012,
http://www.gios.gov.pl/chemizm_gleb/index.php?mod=wyniki&cz=F
- Netty, S., Wardiyati, T., Maghfoer, M.D., Handayanto, E. (2013). Bioaccumulation of nickel by five wild plant species on nickel-contaminated soil. *IOSR Journal of Engineering*, 3, 1-6.
- Ozimek, A., Kopec, M. (2012). Ocena aktywności biologicznej biomasy na różnych etapach procesu kompostowania przy użyciu systemu pomiarowego oxitop control. *Acta Agrophysica*, 19(2), 379-390.
- PN-PN-ISO 11465:1999P – Jakość gleby. Oznaczanie zawartości suchej masy gleby i wody w glebie w przeliczeniu na suchą masę gleby. Metoda wagowa).
- PN-EN ISO 11269-1:2013-06. Jakość gleby – Oznaczanie wpływu zanieczyszczeń na florę glebową – Część 1: Metoda pomiaru hamowania wzrostu korzeni.
- PN-EN ISO 11269-2:2013-06. Jakość gleby. Oznaczanie wpływu zanieczyszczeń na florę glebową. Wpływ związków chemicznych na wschody i wzrost roślin wyższych.
- PN-EN ISO 11274:2014-06 Jakość gleby. Oznaczanie charakterystyki retencji wodnej. Metody laboratoryjne.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. 2014, poz. 1923).
- Siuta J., Wasiak G. (1991). *Zasady gospodarki odpadami bytowymi w środowisku przyrodniczym*. Warszawa: IOS.
- Technical Report (2011). *Land farming of drilling wastes impacts on soil biota within sandy soils in Taranaki (Year 1 of 3)*. Stratford: Taranaki Regional Council.
- Turek M. (2008). *Scenariusz rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego*. Katowice: Główny Instytut Górnictwa.

Application of Exploratory Waste and Compost from Municipal Waste for the Production of Soil-Like Materials for Reclamation of Degraded Areas

Abstract

Exploratory waste, which is created in the course of mining activities, constitutes more than half of all wastes produced in Poland. In majority, they are considered inert, i.e. harmless for the environment, which enables them to be employed in reclamation of degraded areas. However, the lack of basic nutrients and inappropriate granulometric composition necessitates the introduction of components which remove these limitations. The aim of the conducted research was assessing the possibility of producing mechanically and chemically stable soil-like material out of compost from municipal waste and exploratory waste: coal gangue and drill cuttings from shale gas exploration. Physicochemical properties of the created mixtures were investigated, and their impact on the growth of test plant – common wheat – was evaluated. It was observed that the mineral component, which comprised coal gangue and drill cuttings mixed in the weight ratio of 10:1, was a significant source of potassium, whereas the compost yielded nitrogen and improved the physical properties determining the adequate water-air relations. The best conditions for the growth of the best plants were achieved with the mixture consisting in 50% of compost and 50% of mineral component.

Słowa kluczowe:

odpady wydobywcze, odpady wiertnicze, zwierciny, skała płonna, rekultywacja terenów zdegradowanych

Keywords:

exploratory waste, drilling waste, drill cuttings, coal gangue, reclamation of degraded areas