



Tests of phytotoxicity of mining wastes on selected group of plants

Monika CZOP¹, Karolina ŻORAWIK², Sylwia GROCHOWSKA², Laura KULKIŃSKA², Wiktoria JANUSZEWSKA²

¹ Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, tel. 32 237 21 04, Monika.Czop@polsl.pl

² Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, studenci specjalności Gospodarka Odpadami

Abstract

Mining industry is one of the main producers of industrial wastes in Silesia. The amount of mining wastes increases. It was noted that in 2014 it reached 27 M Mg. Such a stream of wastes requires appropriate management system. One of the possibilities is to reuse mining wastes in the process of remediation of landfills other than hazardous.

The article presents results of phytotoxicity tests that were carried out on the selected mining wastes with the use of monocotyledons and dicotyledons. The results obtained allow to look optimistically at possibilities to take advantage of the mine wastes for remediation of landfills. Determination of Polish legislature to limit depositing wastes contributes to gradual closures of landfills, which will need to be remediated soon. Use of deposited mining wastes for this purpose shall contribute to the decrease of volume of Silesian waste dumps and shall give them „a new life”.

Keywords: mining waste, management, phytotoxicity,

Streszczenie

Badanie fitotoksyczności wybranych odpadów górniczych na danej grupie roślin

Górnictwo jest jednym z głównych wytwórców odpadów przemysłowych na Śląsku. Ilość odpadów wydobywanych stale wzrasta, odnotowano, że w roku 2014 osiągnęła poziom 27 mln Mg. Taki strumień odpadów wymaga znalezienia odpowiedniego sposobu jego zagospodarowania. Jedną z możliwości jest ponowne wykorzystanie odpadu górniczego w procesie rekultywacji składowisk innych niż niebezpieczne i obojętne.

W artykule przedstawiono wyniki testu fitotoksyczności jaki przeprowadzono na wybranym odpadzie górniczym z zastosowaniem roślin jedno- i dwuliściennych. Uzyskane rezultaty pozwalają optymistycznie spojrzeć na potencjalne możliwości wykorzystania odpadu górniczego do rekultywacji składowisk.

Zdecydowane dążenie prawodawstwa polskiego w kwestii ograniczenia składowania odpadów przyczynia się do stopniowego zamykania składowisk, które w najbliższym czasie będą musiały zostać zrehabilitowane, zastosowanie zalegających odpadów górniczych w tym procesie przyczyni się do zmniejszenia objętości śląskich hałd i nada im „drugie życie”.

Słowa kluczowe: odpad górnicze, zagospodarowanie, fitotoksyczność,

1. Wstęp

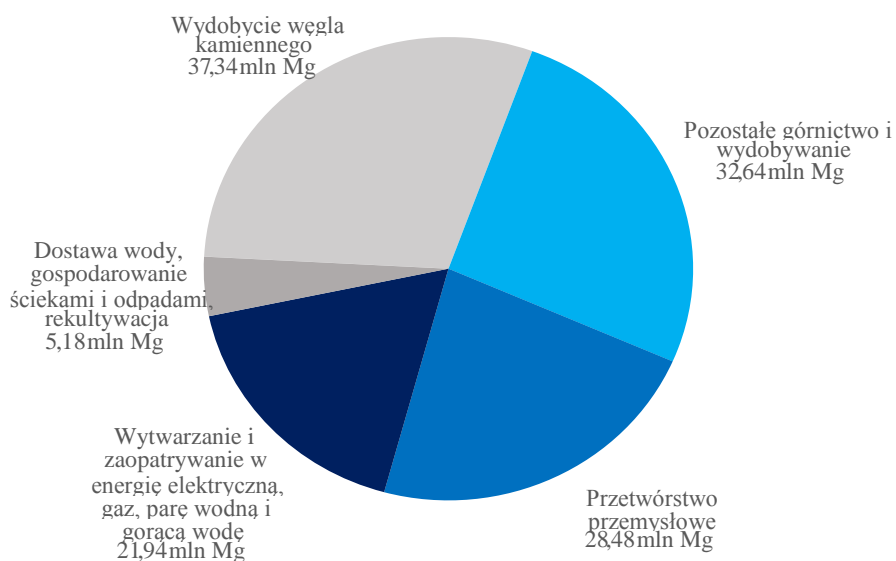
1.1. Składowiska odpadów komunalnych i przemysłowych

Rozwój gospodarki w Polsce przyczynia się do powstawania coraz to większej ilości odpadów. Biorąc pod uwagę ilość wytworzonych odpadów na przełomie lat 1995-2013 r. jest to strumień rzędu 10 000 tys. Mg

odpadów komunalnych. Niełatwo jest zmienić nawyki społeczeństwa w czasach tak silnego rozwoju gospodarczego państwa. Mimo wzrastającej świadomości ekologicznej społeczeństwa, ilość odpadów się nie zmniejsza. Do niedawna kierowanie odpadów bezpośrednio na składowiska było najpopularniejszą metodą unieszkodliwiania. Doprowadziło to do wzrostu ilości składowisk i zajmowania coraz to większych powierzchni. Pomimo podjętych działań w kierunku kompleksowego systemu przetwarzania odpadów, składowanie odpadów jest nadal powszechnie stosowaną metodą w Polsce. W 2013 roku, według danych opublikowanych przez Główny Urząd Statystyczny (GUS), 61% odpadów trafiło na składowiska. [1- 3]

Obecnie w Polsce funkcjonuje 394 kontrolowanych składowisk odpadów komunalnych o powierzchni 1927 ha i 66 składowisk o zakończonej eksploatacji o łącznej powierzchni 157,9 ha (stan na 31 XII 2014 r.). Zrehabilitowane powierzchnie składowisk w 2014 r. wyniosły 98,5 ha. Na Śląsku zlokalizowanych jest 27 czynnych składowisk o łącznej powierzchni 158,5 ha (stan na 31 XII 2014r.), w tym 5 ha powierzchni zrehabilitowanej (w ciągu roku 2014), brak natomiast jest składowisk o zakończonej eksploatacji. Odejście od praktyki składowania odpadów jest niezbędne dla zrównoważonego rozwoju gospodarki odpadami każdego państwa i musi się wiązać z konsekwentnym wykorzystaniem potencjału materiałów odpadowych. Ponadto polityka ochrony środowiska idzie o krok dalej. Podjęte zostały działania mające na celu zamknięcie wszystkich składowisk w niedalekiej przyszłości. [3-5]

Istotną część odpadów przemysłowych stanowią odpady górnicze i wydobywcze. Na rysunku 1.1 przedstawiono podział odpadów przemysłowych ze względu na źródło pochodzenia w roku 2014. Górnictwo i wydobywanie wygenerowało ogółem 69,90 mln Mg odpadów, natomiast wydobywcie węgla kamiennego około 37,30 mln Mg odpadów, co stanowi 30% odpadów przemysłowych wytworzonych w Polsce w 2014 r. Odpadów pochodzących wyłącznie z przemysłu górnictwa kamiennego na terenie Śląska w 2014 roku wytworzono 26,64 mln Mg. [3-5]



Rys. 1.1. Podział odpadów przemysłowych ze względu na źródło pochodzenia w 2014r. [2]

Odpady wydobywcze można podzielić na trzy główne grupy:

- odpady górnicze, które powstają podczas robót górniczych i przygotowawczych złożeń kopaliny głównej,
 - odpady przerobowe, czyli materiał skalny wydobywany, a następnie oddzielany od kopaliny głównej przy wykorzystaniu metod wzbogacania,
 - wtórne odpady przerobowe, które są pozostałościami po procesach przetwarzania kopaliny głównej.
- [4-5]

Odpady z przemysłu wydobywczego to głównie skały i materiał skalny, które są zaliczane do ilowców, mułowców, piaskowców, a także zlepieńców. W składzie tych odpadów, dominuje krzemionka (SiO_2), tlenek

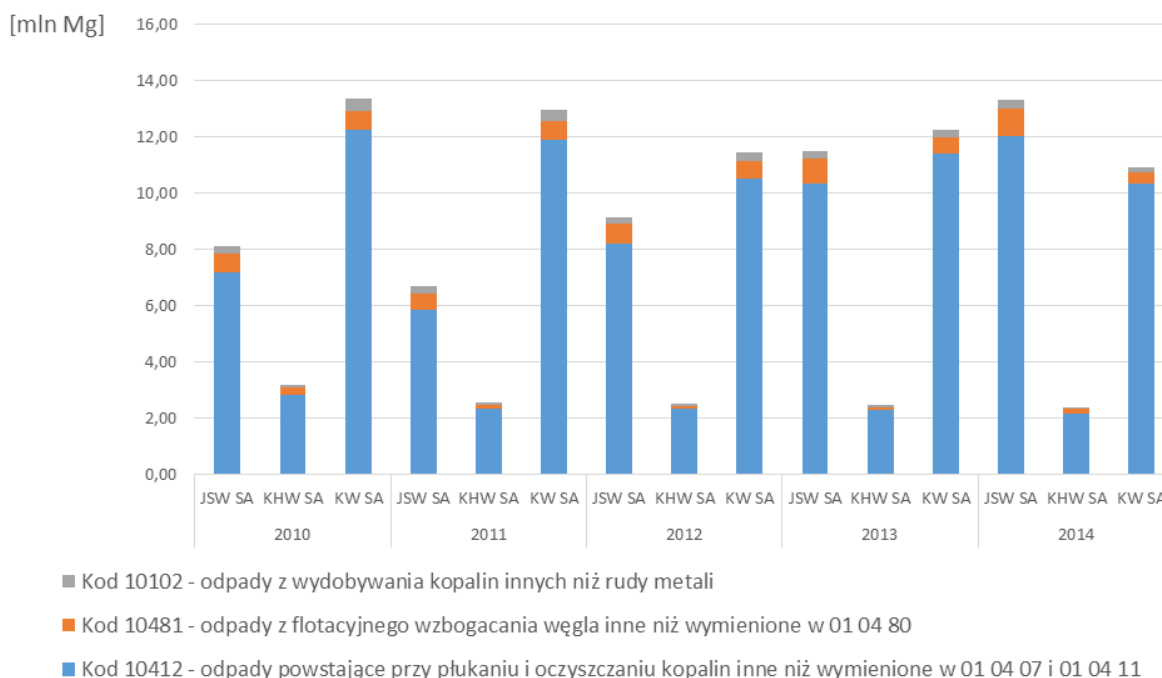
glinu (Al_2O_3), tlenki żelaza (Fe_xO_y), tlenek potasu (K_2O), węgiel (C) oraz w mniejszych ilościach tlenek wapnia (CaO), tlenek sodu (Na_2O) i tlenek tytanu (TiO_2). W śladowych ilościach mogą występować pierwiastki toksyczne, takie jak arsen (Ar), bar (Ba), chrom (Cr), cyna (Sn), cynk (Zn), kadm (Cd), kobalt (Co), miedź (Cu), molibden (Mo), nikiel (Ni) i rtęć (Hg). Pierwiastki te szkodliwie oddziałują na rośliny, zwierzęta i ludzi, można je jednak podzielić na takie, których obecność jest niezbędna do prawidłowego działania organizmu, a dopiero ich nadmierna ilość jest szkodliwa (np. Zn, Cu, Mo, Mn) oraz takie, których już niewielka ilość może powodować zatrucie organizmu (np. As, Hg, Cd). Ze względu na toksyczne oddziaływanie tych pierwiastków prowadzony jest monitoring. [6-10]

Ze względu na ilość odpadów wydobywczych wytwarzanych w ciągu roku, niezwykle ważne jest znalezienie odpowiednio skutecznego sposobu ich zagospodarowania. Obecnie najbardziej popularnym kierunkiem unieszkodliwiania tego typu odpadów jest ich składowanie na hałdach, które stały się nieodłącznym elementem krajobrazowym Śląska. [8-14]

Do rekultywacji składowiska odpadów można byłoby wykorzystać 1 metrową pokrywę rekultywacyjną z odpadów górniczych i w ten sposób zrehabilitować wszystkie czynne składowiska na terenie Śląska. Wynikiem takiego działania ilość odpadów górniczych na terenie Śląska zmniejszyłaby się do wartości 24,61 mln Mg. [15, 16]

1.2. Analiza ilościowa odpadów górniczych

Odpady górnicze znajdujące się na terenie Śląska pochodzą z kopalni należących do spółek tj. Jastrzębska Spółka Węglowa SA, Katowicki Holding Węglowy SA, Kompania Węglowa SA. Tylko w 2014 roku, łącznie w trzech spółkach, wytworzone zostało 26,64 mln Mg odpadów górniczych. Ilość odpadów produkowanych przez poszczególne kopalnie została przedstawiona na rysunku 1.2.



Rys. 1.2. Analiza ilościowa odpadu górniczego wytworzonego w latach 2010-2014 na Śląsku [15, 16]

Według planu gospodarki odpadami dla województwa śląskiego w roku 2014 sporządzonego przez Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, na terenie Śląska istnieje 28 czynnych składowisk. W tabeli 1.1 zostały wyszczególnione wszystkie wraz z planowanym rokiem zamknięcia składowiska.

Tabela 1.1 Zestawienie informacji na temat lokalizacji czynnych składowisk odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w województwie śląskim, na których są składowane odpady komunalne. [15, 16]

Nazwa i adres składowiska	Pojemność całkowita [m3]	Pojemność wypełniona [m3]	Pojemność pozostała	Prognozowany czas zapelnienia przy maksymalnym strumieniu odpadów	Planowany rok zamknięcia wynikający z decyzji lub ankiety
Składowisko odpadów komunalnych w Pałyszu,	179 820	124 291,38	55 528,62	2013	2018
Składowisko odpadów komunalnych w Zawierciu,	381 558	116 168	265 390	2027	2027
Składowisko odpadów komunalnych w Krzepicach,	65 000	35 784,32	29 215,68	2018	2018
Składowisko odpadów komunalnych w Lipiu Śląskim,	385 151	325 000	60 151	2030	2020
Składowisko odpadów komunalnych w Sadowie Górnym,	198 000	134 877	63 123	2018	2013
Składowisko odpadów komunalnych w Sobuczynie,	1 035 812,87	77 909,66	957 903	2028	po 2022
Składowisko odpadów komunalnych w Radoszewnicy	190 540	68 334	122 206	2013	2016
Składowisko odpadów komunalnych w Wojkowicach,	262 700	190 972	71 728	2017	2017
Składowisko odpadów komunalnych w Bytomiu,	710 750	686 655	164 095	2014	2015
Składowisko odpadów komunalnych w Gliwicach,	1 885 000	520 000	1 365 000	2020	Po 2020
Składowisko odpadów komunalnych w Katowicach,	850 000	464 000	386 000	2018	2020
Składowisko odpadów komunalnych w Siemianowicach Śląskich,	4 950 000	2 329 308	2 620 692	2024	2013
Składowisko odpadów komunalnych w Świętochłowicach,	1 005 400	390 000	615 400	2037	po 2022
Składowisko odpadów komunalnych w Dąbrowie Górniczej,	715 570	253 460	-	2015	2022
Składowisko odpadów komunalnych w Pyskowicach,	Kw III – 680 000 Kw IV – 680 000	Kw III – 509 363 Kw IV – 0	Kw III – 170637 Kw IV – 680 000	Kw III – 2015 Kw IV – 2025	Kw III – 2016 Kw IV – po 2022

Nazwa i adres składowiska	Pojemność całkowita [m ³]	Pojemność wypełniona [m ³]	Pojemność pozostała	Prognozowany czas zapełnienia przy maksymalnym strumieniu odpadów	Planowany rok zamknięcia wynikający z decyzji lub ankiety
Składowisko odpadów komunalnych w Tarnowskich Górach,	478 060	347 498	130 562	2016	Po 2020
Składowisko odpadów komunalnych w Zabrze,	268 930	226 688	42 242	2012	2014
Składowisko odpadów komunalnych w Knurowie,	3 782 732	1 689 074	2 093 657	2024	2022
Składowisko odpadów komunalnych w Rybniku,	408 000	5 848	402 152	2020	Po 2020
Składowisko odpadów komunalnych w Jastrzębiu Zdroju,	4 500 000	1 667 361	2 832 639	2025	Po 2020
	1 064 400	-	1 064 400	2025	Po 2025
Składowisko odpadów komunalnych w Jankowicach,	52 000	27 996	24 004	2019	2013
Składowisko odpadów komunalnych w Tworkowie,	175 000	58 800	116 500	2040	2018
Składowisko odpadów komunalnych w Raciborzu,	565 000	357 711	207 289	2022	2017
Składowisko odpadów komunalnych w Łaziskach Górnych,	84 000	75 000	9 000	2012	2016
Składowisko odpadów komunalnych w Bielsku-Białej,	1 274 000	693 000	581 000	2018	Sektor I – 2012 Sektor II – 2027
Składowisko odpadów komunalnych w Wilkowicach,	45 423	35 069	10 354	2017	2016
Składowisko odpadów komunalnych w Żywcu,	307 383	225 286	90 800	2016	2016
Składowisko odpadów komunalnych w Tychach.	1 425 000	1 022 682	402 318	2019	Po 2022

Z tabeli 1.2 wynika, że w latach 2014-2018 zamknięte zostanie 14 składowisk odpadów komunalnych. Natomiast do końca roku 2020 planowane jest zamknięcie 18 składowisk odpadów komunalnych (w tym 2 kwatery).

Celem artykułu jest jednak optymalne wykorzystanie odpadu górniczego do rekultywacji składowiska. W dyrektywie 1999/31/WE w sprawie składowania odpadów znajdują się informacje dotyczące sposobu zamykania składowisk odpadów i ich rekultywacji. Do najważniejszych postanowień dyrektywy można zaliczyć wymóg stosowania uszczelnienia wierzchowy składowiska składającego się z warstw takich jak (licząc od złoza odpadów): drenażu gazowego; trudno przepuszczalnego uszczelnienia mineralnego; warstwy drenażowej (dla wód opadowych), min. 0,5 m grubości oraz pokrywy glebowej, min. 1,0 m grubości. [5]

2. Materiały i metody

2.1. Charakterystyka badanego odpadu

Odpad górniczy, na którym zostanie przeprowadzony test toksyczności, pochodzi z obiektu unieszkodliwiania odpadów wydobywczych. Jego gęstość nasypowa wynosi 1,264 kg/dm³. Struktura badanego odpadu jest niespójna, a uziarnienie jest niejednorodne. Odpad zbudowany jest z ziaren o różnej wielkości, których średnica przekracza 1 mm. Podczas badania zaobserwowano niskie pylenie. Zauważono także, iż badany odpad charakteryzował się niską wilgotnością oraz higroskopijnością. Analizowany odpad górniczy przedstawiono na rysunku 2.1.



Rys. 2.1. Badany odpad górniczy (wyk. W. Januszewska)

2.2. Metodyka badań

W celu potwierdzenia hipotezy, którą założono na początku badań przeprowadzono test fitotoksyczności badanego odpadu z zastosowaniem nasion roślin jednoliściennych tj. pszenica i dwuliściennych tj. gorczyca, oraz rzeżucha. Test miał na celu identyfikację możliwych toksycznych substancji występujących w odpadzie, mających negatywny wpływ na rozwój roślin. Przygotowanie próbek polegało na wyłożeniu warstwy badanego odpadu na szalkę Petriego, przykryciu go bibułą filtracyjną, zwilżeniu wodą destylowaną oraz umieszczeniu na niej 25 wykiełkowanych nasion, których korzeń nie osiągnął długości większej niż 1mm. W ten sposób przygotowane próbki umieszczono w pomieszczeniu bez dostępu światła. Po upływie 72 h dokonano pomiaru długości korzenia oraz pędu. Badanie powtórzono dwa razy dla każdej z roślin. Sporządzono również próby kontrolne w ten sam sposób co próby badane, bez nanoszenia odpadu na szalkę. Dla porównania stopnia wzrostu roślin na badanym odpadzie oraz innych podłożach, sporządzono dodatkowe próbki z wykorzystaniem następujących podłoży: kompost, ziemia, gruz zmielony, gleba referencyjna. Próby zostały wykonane w identyczny sposób, jak próby z odpadem górniczym [17, 18].

Toksyczność (lub stymulację) określono jako współczynniki inhibicji korzeni oraz pędu roślin w odniesieniu do prób kontrolnych. [17, 18]

Siła kiełkowania (Z_k , %) [2.1] obliczono zgodnie ze wzorem:

$$Z_k = \frac{n_k}{n_c} \cdot 100 [\%] \quad (2.1)$$

gdzie:

n_k - liczba nasion wykiełkowanych po zadanym czasie,

n_c - liczba wszystkich wysianych nasion.

Współczynnik inhibicji wzrostu korzeni roślin (I_K , %) [2.2]:

$$I_K = \frac{L_k - L_b}{L_k} \cdot 100 [\%] \quad (2.2)$$

gdzie:

L_k – średnia długość korzeni roślin w próbce kontrolnej [mm],

L_b – średnia długość korzeni roślin w próbce badanej [mm].

Współczynnik inhibicji wydłużenia pędu roślin (I_N , %) [2.3]:

$$I_N = \frac{L_k - L_b}{L_k} \cdot 100 [\%] \quad (2.3)$$

gdzie:

L_k – średnia długość pędu roślin w próbce kontrolnej [mm],

L_b – średnia długość p¹ roślin w próbce badanej [mm].

Określono stosunek średniej długości korzenia do pędu [2.4]:

$$\frac{L_k}{L_1} \approx 1 \quad (2.4)$$

gdzie:

L_k – średnia długość korzeni roślin w próbce badanej [mm],

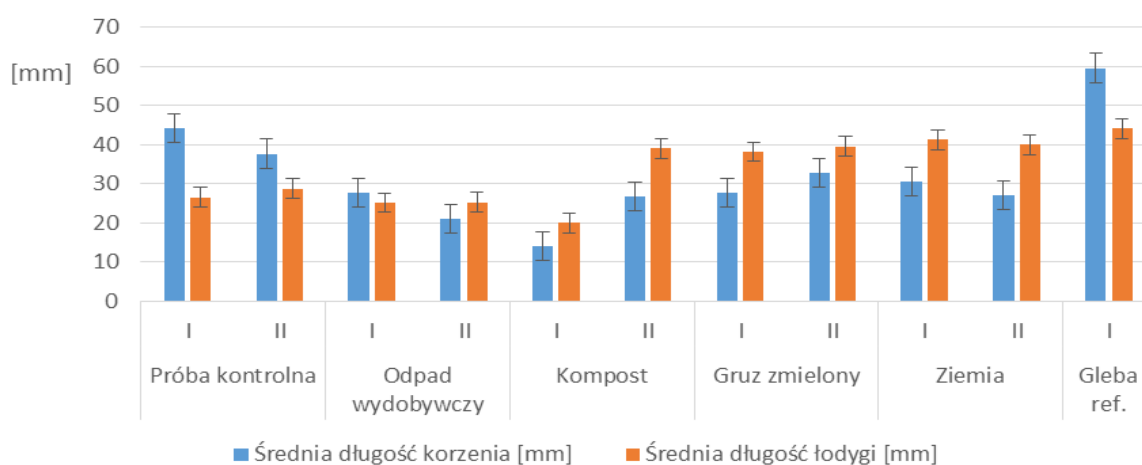
L_1 – średnia długość pędów roślin w próbce badanej [mm].

3. Wyniki badań

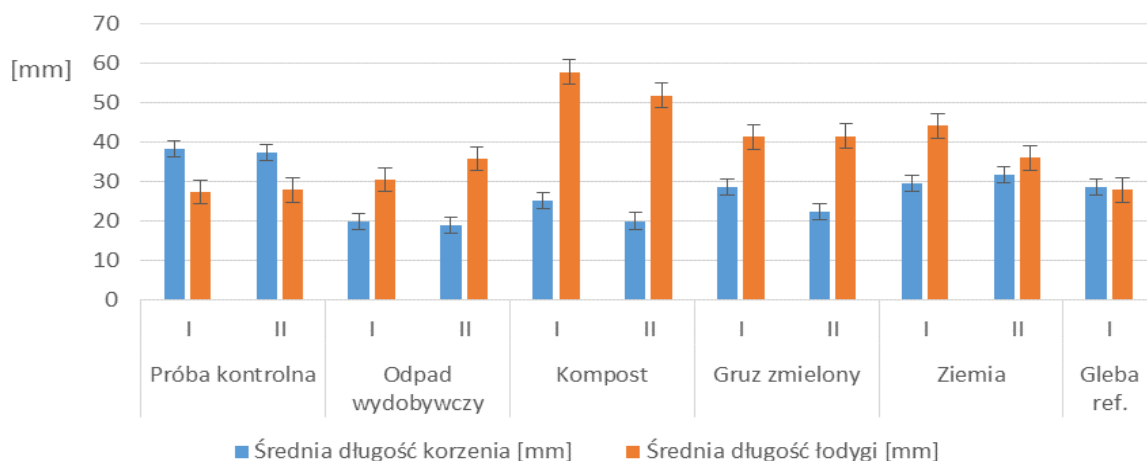
W tabeli 3.1 przedstawiono zdolność kiełkowania roślin: rzeżuchy, gorczycy oraz pszenicy na badanych podłożach. Zdolność kiełkowania w większości przypadków osiągnęła wartość 100%. Oznacza to, że prawie we wszystkich przypadkach zaobserwowano proces wzrostu rośliny. W wypadku odpadu górniczego zdolność kiełkowania wynosi kolejno w próbie I i II 92% oraz 96% dla nasion rzeżuchy. Oznacza to, że kiełkowanie było zahamowane u dwóch nasion w próbie I i u jednego nasiona w próbie II. Na tej podstawie można by przypuszczać, że badany odpad wpływa hamująco na wzrost, bądź uniemożliwia kiełkowanie nasion rzeżuchy, jednak stosunek nasion niewykiełkowanych do wykiełkowanych jest zbyt mały by można było tę teorię potwierdzić.

Tabela. 3.1. Siła kiełkowania [%] poszczególnych roślin na badanych podłożach

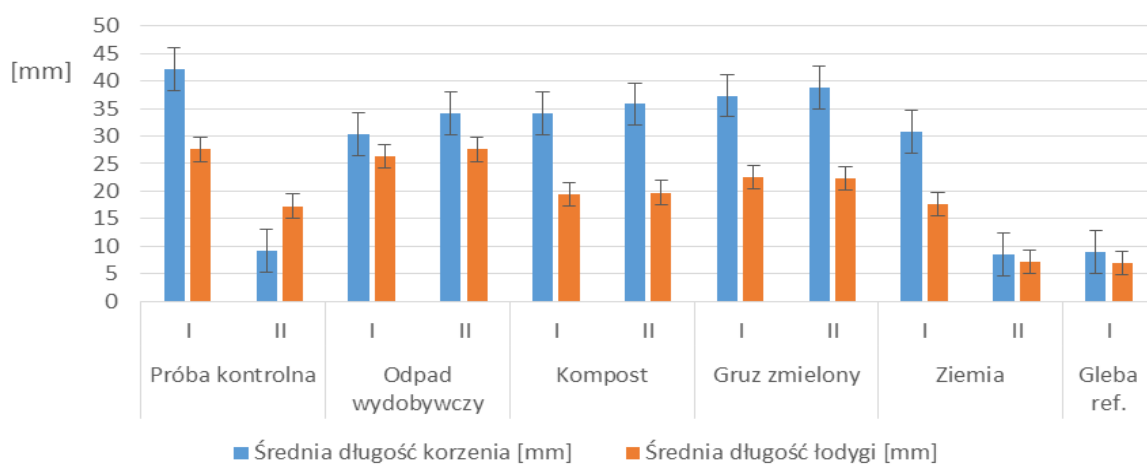
Wybrane rośliny	Próba kontrolna		Odpad wydobywczy		Kompost		Gruz zmielony		Ziemia		Gleba ref.
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I
Rzeżucha	100	100	92	96	100	100	100	100	100	100	100
Gorczyca	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Pszenica	100	68	100	100	100	100	100	100	100	100	68



Rys. 3.1. Średnia długość korzenia i pędu rzeżuchy dla poszczególnych podłoży.



Rys. 3.2 Średnia długość korzenia i pędu gorczycy dla poszczególnych podłoży.



Rys. 3.3. Średnia długość korzenia i pędu pszenicy dla poszczególnych podłoży.

Największy wzrost, zarówno korzenia jak i pędu, rzeżucha osiągnęła na glebie referencyjnej, najmniejszy – na kompoście. Podłoże wykonane z odpadu górniczego nie wpłynęło negatywnie na roślinę. Wielkość rzeżuchy wykiełkowanej na odpadzie górniczym była porównywalna do pozostałych, wykiełkowanych na innych podłożach. (rys. 3.4.)



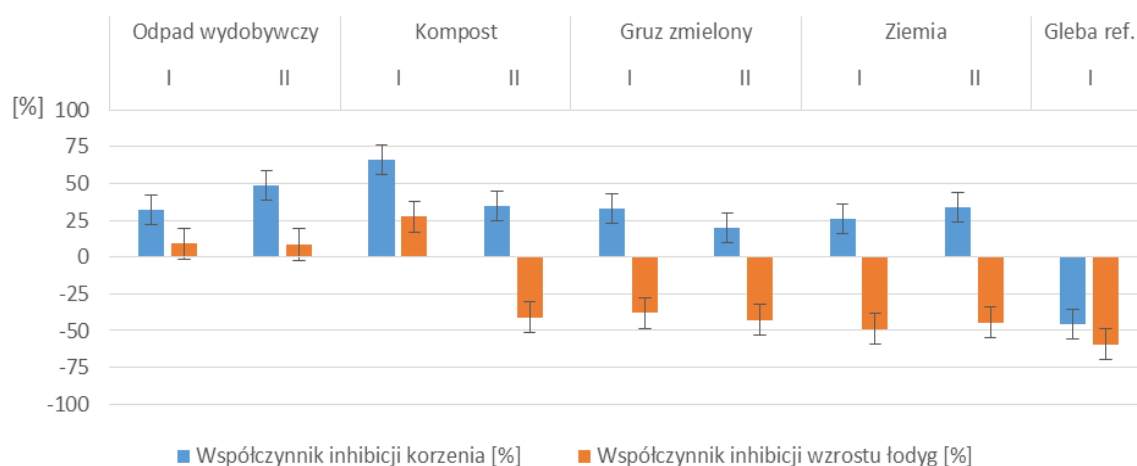
Rys. 3.4. Rzeżucha wyhodowana na odpadzie górniczym (wyk. S. Grochowska).

W przypadku nasion gorczycy, najlepszy wzrost roślin zaobserwowano na podłożu z kompostu, jednak stosunek długości korzenia do pędu, który odpowiednio dla próby pierwszej wynosi 0,43 oraz 0,39 dla próby drugiej, nie jest korzystny (korzeń jest zbyt krótki do długości pędu).

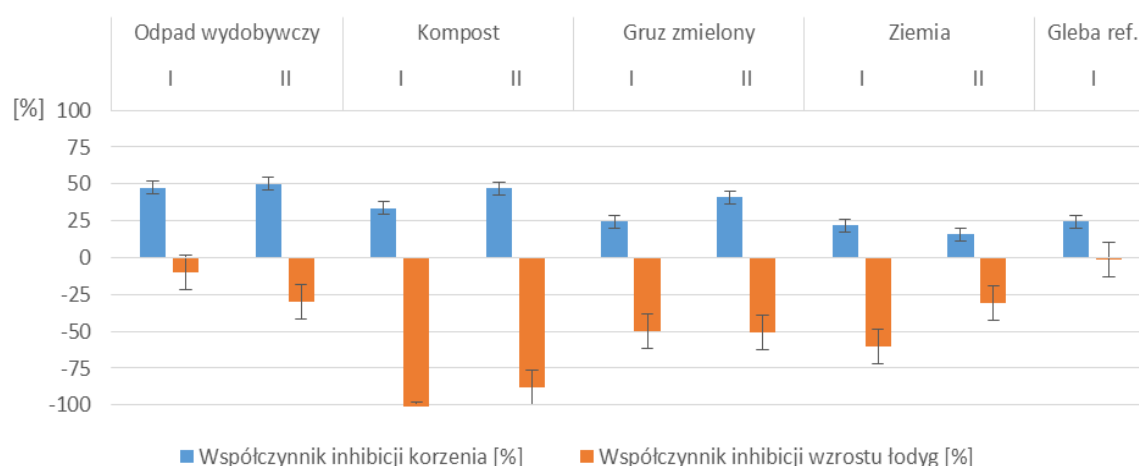
Na podłożu z odpadu górniczego zaobserwowano prawidłowy rozwój nasion ze względu na równomierny przyrost obu części rośliny. Wielkość wykiełkowanych nasion nie odbiega znacząco od pozostałych, wykiełkowanych na innych podłożach.

Nasiona pszenicy charakteryzują się największym kiełkowaniem. Najmniejszą średnią długość korzenia i pędu (bo jedynie 8,96 mm dla korzenia i 6,96 mm dla pędu) odnotowano na glebie referencyjnej. Nasiona na odpadzie wydobywczym, w stosunku do pozostałych podłoży, wyrosły najlepiej bazując na analizie szybkości wzrostu nasion z jednoczesnym uwzględnieniem równomierności rozrostu w łodydze i korzeniu. Stosunek długości korzenia i pędu wyniósł 1,15 i 1,23 w dwóch próbach, przy średniej długości korzenia równej 32,22 mm a pędu 26,98mm co jest bezpośrednim potwierdzeniem pozytywnego wpływu odpadu wydobywczego na rośliny.

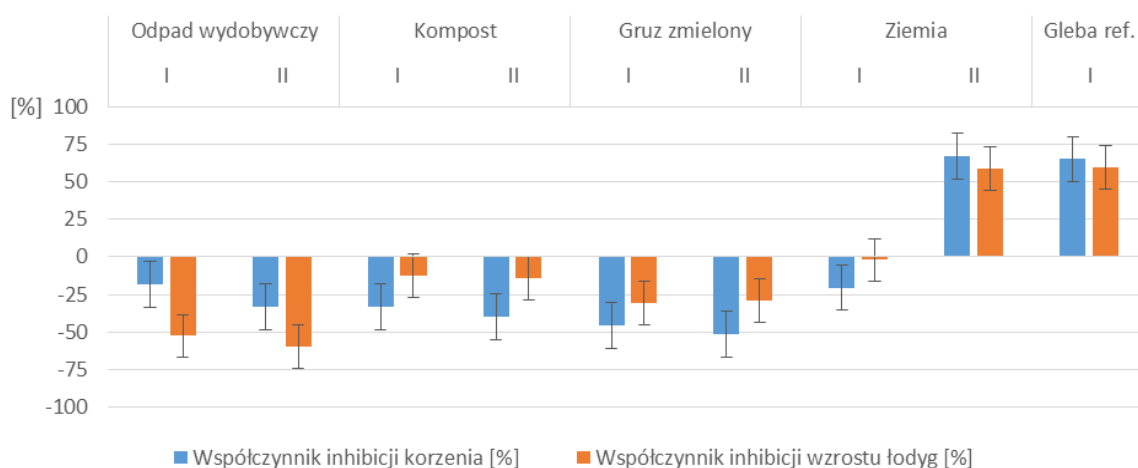
Współczynnik inhibicji odnosi wynik do próby kontrolnej, dzięki czemu można określić, czy podłoże powoduje zahamowanie wzrostu, czy też przyspiesza rozwój kiełków. Ujemna jego wartość wskazuje na właściwości przyspieszające wzrost danej części rośliny. Zdolność kiełkowania ziaren określa ilość ziaren wykiełkowanych z badanej próbki na 25 ziaren przypadających na poszczególną próbę badawczą.



Rys. 3.5. Współczynnik inhibicji wzrostu korzenia i pędu rzeżuchy dla poszczególnych podłoży.



Rys. 3.6. Współczynnik inhibicji wzrostu korzenia i pędu gorczycy dla poszczególnych podłoży.



Rys. 3.7. Współczynnik inhibicji wzrostu korzenia i pędu pszenicy dla poszczególnych podłoży.

Dla prób wykonanych dla rzeżuchy zaobserwowano stymulację wydłużenia pędu na podłożach z kompostu, gruzu, gleby referencyjnej oraz ziemi. Dla odpadu wydobywczego nie zaobserwowano takiej zależności, lecz na pewno nie mamy do czynienia ze zjawiskiem inhibicji wzrostu (rys. 3.5.).

W wypadku nasion gorczycy, każde podłoże zadziało stymulująco na rozwój pędu, szczególnie w przypadku kompostu w, którym to stymulacja sięgnęła wartości 100%. W przypadku badanego odpadu również możemy mówić o zjawisku stymulacji wydłużenia pędu (rys. 3.6.).

Nasiona pszenicy były natomiast stymulowane do wzrostu głównie przez odpad wydobywczy a zjawisko inhibicji wystąpiło przy pomiarach wykonywanych na glebie referencyjnej i przy jednej z prób przeprowadzonych na ziemi (rys. 3.7.).



Rys. 3.8. Gorczyca wyhodowana na kompoście (wyk. W. Januszewska).

Nasiona pszenicy wykazały aktywny proces stymulacji wzrostu rośliny. Największą stymulację odnotowano dla odpadów górnicych, co oznacza, że podłoże nie oddziałuje negatywnie na wzrost wybranych roślin.

W tabeli 3.2 przedstawiono stosunek długości korzenia poszczególnych roślin do długości pędu. Stosunek ten jest istotnym wskaźnikiem rozwoju roślin pod kątem wpływu podłoża na dysproporcje rozwoju. Wskaźnik należy wówczas przyrównać do wartości optymalnej, która wynosi około 1. Oznacza to, że korzeń i pęd rosną proporcjonalnie do siebie i uzyskują jednakową długość.

Tabela 3.2. Stosunek długości korzenia do długości pędu

Wybrane rośliny	Próba kontrolna		Odpad wydobywczy		Kompost		Gruz zmielony		Ziemia		Gleba ref.
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
Rzeżucha	1,67	1,31	1,10	0,84	0,70	0,68	0,72	0,83	0,74	0,68	1,35
Gorczyca	1,40	1,34	0,65	0,53	0,43	0,39	0,69	0,54	0,67	0,88	1,02
Pszenica	1,53	1,31	1,15	1,23	1,76	1,82	1,65	1,74	1,75	1,18	1,29

Z przeprowadzonych badań wynika, że współczynnik $\frac{L_k}{L_t}$ osiągał wielkości powyżej wartości optymalnej. Oznacza to, że przyrost korzenia był szybszy. Największy jego przyrost uzyskano dla prób przeprowadzanych na kompoście a następnie na gruzie zmielonym. Najbardziej zbliżone wyniki do jedności wykazuje próba przeprowadzona na odpadzie wydobywczym. Jest to optymalny dla rośliny stosunek, który powoduje utrzymanie rośliny w pionie podczas wzrostu części nadziemnej, jak i wystarczający dla zapewnienia roślinie potrzebnej ilości substancji odżywczych potrzebnych do równomiernego wzrostu. Nie zaobserwowano przypadku upośledzenia rozwoju poszczególnych części rośliny (karłowacenia), co pozwala na wyeliminowanie potencjalnie negatywnego wpływu podłoża na rośliny.

4. Podsumowanie

Analizując kolejno wyniki wysunięto następujące wnioski:

- współczynnik inhibicji korzeni na odpadzie górnicyzycznym występuje w wartościach dodatnich w przypadku rzeżuchy oraz gorczycy, co oznacza, że doszło do zahamowania rozwoju rośliny,
- w przypadku pszenicy zaobserwowano stymulację wzrostu korzenia. Zahamowanie wzrostu pędu zaobserwowano wyłącznie na rzeżusze
- odpad górnicyzyczny podziałał stymulująco na wydłużenie pędu gorczycy i pszenicy,
- porównując oddziaływanie fitotoksyczności odpadu górnicyzycznego z pozostałymi badanymi materiałami nie zauważono diametralnych różnic.
- odpad górnicyzyczny nie oddziałuje hamująco na rozwój wybranych roślin,
- odpad górnicyzyczny nie powoduje znaczących zmian w procesie wzrostu roślin co uniemożliwiło by jego wykorzystanie do celów rekultywacyjnych,
- badany odpad nie wpływa hamująco na rozwój roślin, a wręcz wspomaga wzrost i poprawia rozwój roślin.

Na podstawie niniejszych badań można stwierdzić, że odpad górnicyzyczny nie wykazuje toksycznych właściwości i z powodzeniem może zostać wykorzystany w procesie rekultywacji składowisk odpadów np. komunalnych. Umożliwi to wykorzystanie potencjału odpadu zmieniając jego końcowe przeznaczenie z podwójną korzyścią dla środowiska. Takie działanie mogłoby spowodować odejście od dotychczasowo stosowanych metod rekultywacji, jednocześnie zmniejszając objętość hałd górnicyzycznych z zalegającego odpadu, który może zostać z pożytkiem wykorzystany. Prezentowana propozycja rekultywacji jest w stanie obniżyć koszt procesu oraz poprawić stan środowiska naturalnego.

Literatura

1. Główny Urząd Statystyczny. Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej. http://stat.gov.pl/cps/rde/xbc/gus/RS_rocznik_statystyczny_rp_2013.pdf, w dniu 22.03.2016
2. Główny Urząd Statystyczny. Rocznik statystyczny przemysłu. http://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5515/5/8/1/rocznik_statystyczny_przemysl.pdf, w dniu 22.03.2016r.
3. Infrastruktura komunalna w 2014 r. Informacje i opracowania statystyczne, GUS.
4. Barszcz A.; Zagospodarowanie odpadów z górnictwa węglowego i surowców skalnych „Recykling” 2006, r6, s. 14-16.

5. Mirkowski Z., Badera J.; Odpady górnictwa węgla kamiennego, zagrożenia i ochrona środowiska w Raport z monitoringu zagospodarowania odpadów wydobywczych, Towarzystwo dla natury i człowieka, Lublin 2015.
 6. Schreck P., Environmental impact of uncontrolled waste disposal in mining and industrial areas in Central Germany, *Environmental Geology*, 1998, 35, 1, pp 66–72.
 7. AU Zaman, A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines, *Journal of Cleaner Production*, 2015, 91, pp. 12–25.
 8. Brunner P. H., Rechberger H., Waste to energy – key element for sustainable waste management, *Waste Management*, 2015, 37, pp. 3–12.
 9. Biegańska J., Czop M., Analiza odpadów górniczych w aspekcie ich zagospodarowania. Zrównoważona produkcja i konsumpcja surowców mineralnych. Red. J. Kulczycka, E. Pietrzyk-Sokulska, H. Wirth. EUROMINES - Europejskie Stowarzyszenie Przemysłu Wydobywczego, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Związek Pracodawców Polska Miedź S. A.. Kraków : Wydaw. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, 2011, 139-147.
 10. Czop M., Biegańska J., Zastosowanie kruszywa mineralnego w procesie rekultywacji składowiska. Zrównoważona produkcja i konsumpcja surowców mineralnych. Red. J. Kulczycka, E. Pietrzyk-Sokulska, H. Wirth. EUROMINES - Europejskie Stowarzyszenie Przemysłu Wydobywczego, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Związek Pracodawców Polska Miedź S. A.. Kraków : Wydaw. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, 2011, 131-138.
 11. Ociepa-Kubicka A., Ociepa E.; Toksyczne oddziaływanie metali ciężkich na rośliny, zwierzęta i ludzi, *Inżynieria i ochrona środowiska*, 2012, 2, s.169-180.
 12. Góralczyk S.; Odpady z górnictwa węgla kamiennego i możliwości ich gospodarczego wykorzystania, Opole 2009.
 13. Manczarski P., Lewicki R., Wytoczne dotyczące zamykania i rekultywacji składowisk odpadów komunalnych, Warszawa, marzec 2012.
 14. Biegańska J., Czop M., Kajda-Szcześniak M., Czekalska Z.; Metody analizy w gospodarce odpadami Gliwice 2008.
 15. Plan gospodarki odpadami dla województwa śląskiego 2014. Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego. <http://bip.slaskie.pl/dokumenty/2012/08/29/1346244652.pdf>, w dniu 27.10.2016.
 16. Raport województwa śląskiego dotyczący gospodarki odpadami 2014. Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego. <http://bip.slaskie.pl/dokumenty/2015/07/17/1439189120.pdf>, w dniu 27.10.2016.
 17. OECD. 2006. Guideline for the testing of chemicals: Proposal for a new Guideline 227. Terrestrial Plant Test: Vegetative Vigour Test. DOI: http://www.biotechnologiebt.it/pdf_our_services/OECD227.pdf.
 18. 8. PN-EN ISO 11269 – 1:2013 – 06. Jakość gleby. Oznaczanie wpływu zanieczyszczeń na florę glebową. Część I: Metoda pomiaru hamowania wzrostu korzeni.
-