



Monika CZOP¹, Amanda KOŚCIELNA², Karolina ŻYDEK³

Badanie właściwości fizykochemicznych i fitotoksyczności wybranego odpadu wydobywczego w aspekcie obiegu zamkniętego

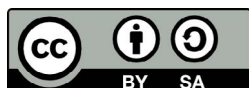
Streszczenie: Odpady wydobywcze są to uboczne produkty powstające przy poszukiwaniu, wydobywaniu, fizycznej czy chemicznej przeróbce rud oraz innych kopalin. W 2017 roku odpady z grupy 01 stanowiły 60% odpadów wytwarzanych w Polsce ogółem. Według danych statystycznych około 92% odpadów powstających podczas eksploatacji oraz przeróbki węgla kamiennego jest wykorzystywana gospodarczo, z czego zaledwie 30% wykorzystywane jest przemysłowo, a prawie 70% do robót odtworzeniowych i rekultywacyjnych terenów zdegradowanych. Obecny trend w Unii Europejskiej mówi o przejściu z gospodarki linearnej do obiegu zamkniętego. Cel to zachować wartość dodaną zasobów w obrębie gospodarki między innymi poprzez ich ponowne wykorzystanie w sposób produktywny, eliminując tym samym odpady. Jedną z gałęzi przemysłowych, w której można zrealizować założenia *Circular Economy* jest górnictwo. Odpady wydobywcze mogą stanowić jedno ze źródeł minerałów antropogenicznych, ponieważ są zaliczane do kruszyw alternatywnych. Uważa się, że złoża minerałów antropogenicznych stanowią zasób wartościowych surowców, gwarantujących wysoką jakość wytworzonych na ich bazie produktów. W artykule przedstawiono wyniki badań parametrów fizykochemicznych, wymywalność zanieczyszczeń oraz testu fitotoksyczności przeprowadzonych na wybranym odpadzie wydobywczym w kontekście zamknięcia obiegu.

Słowa kluczowe: odpad wydobywczy, górnictwo, wykorzystanie, obieg zamknięty

¹ Politechnika Śląska, Gliwice; ORCID iD: 0000-0002-5433-428X; e-mail: monika.czop@polsl.pl

² Politechnika Śląska, Gliwice; e-mail: amandakoscielna@gmail.com

³ Politechnika Śląska, Gliwice; ORCID iD: 0000-0002-2160-4431; e-mail: karolina.zydek@polsl.pl



Testing physicochemical properties and fitotoxicity of selected extractive waste in light of a Circular Economy

Abstract: Mining wastes are by-products generated during search, excavation and processing, both physical and chemical, of ores and other minerals. In 2017, wastes from group 01 constituted 60% of total wastes produced in Poland. According to the statistical data, approximately 92% of the waste generated during the excavation and processing of hard coal is economically reused. 30% of this waste used in industry and nearly 70% is used for the reclamation of the degraded industrial areas. At present, there is a tendency in the European Union to shift from a linear economy to the Circular Economy. The goal is to maintain economical value of the resources, among others, by their reuse in a productive way, which at the same time eliminates waste. One of the industrial branch where the ideals of a Circular Economy can be implemented is the mining industry. Mining wastes may form one of the sources of anthropogenic minerals, as they belong to alternative aggregates. Deposits of anthropogenic minerals are considered sources of valuable raw materials which guarantee that the products made on their basis will be of high quality. The article presents the results of physico-chemical tests, the leachability of contaminations and phytotoxicity tests carried out on the basis of the selected mining waste in light of a Circular Economy.

Keywords: extractive waste, waste management, physicochemical examinations, Circular Economy

Wprowadzenie

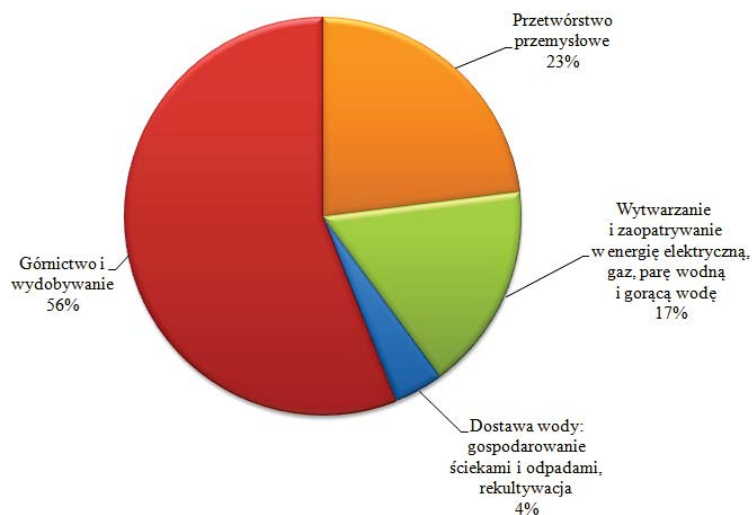
Odpady wydobywcze zgodnie z Ustawą o odpadach wydobywczych (Dz.U. 2008 Nr 138 poz. 865) są to odpady pochodzące z poszukiwania, rozpoznawania, wydobywania, przeróbki i magazynowania kopalin ze złóż. Ze względu na ich charakterystykę oraz procesy technologiczne i eksploatacyjne, odpady te można podzielić na odpady (Góralczyk red. 2011):

- przerobcze, czyli wydobyty wraz z urobkiem materiał skalny, który jest oddzielany w różnych procesach wzbogacenia kopaliny głównej, tj. sortowanie, płukanie, rozdrabnianie;
- górnicze, czyli skały, które pochodzą z robót górniczych i przygotowawczych w celu udostępnienia złoża kopaliny głównej w kopalniach głębinowych i odkrywkowych;
- wtórne przetwórcze, które stanowią pozostałości po obróbce kopaliny głównej. Powstają one w czasie wytwarzania produktów handlowych.

W zależności od źródła powstawania, zgodnie z Rozporządzeniem w sprawie katalogu odpadów, odpady wydobywcze zakwalifikowane są do grupy 01, tj. odpady powstające przy poszukiwaniu, wydobywaniu, a także przy fizycznej i chemicznej przeróbce rud oraz innych kopalin (Dz.U. 2014 poz. 1923).

W 2017 roku na terenie Polski łącznie wytworzono ponad 113 mln Mg odpadów innych niż komunalne – przemysłowych. Głównym źródłem odpadów było górnictwo i wydobywanie, przetwórstwo przemysłowe oraz wytwarzanie i zaopatrywanie w energię elektryczną (Ochrona Środowiska 2018). Udziały danych źródeł w stosunku do ogólnej ilości wytworzonych odpadów obrazuje rysunek 1.

W 2017 roku odzyskowi poddano 49% ogólnej ilości odpadów przemysłowych, a 46,9% zostało unieszkodliwionych, z czego aż 42,5% poprzez składowanie (Ochrona Środowiska 2018).



Rys. 1. Główne źródła odpadów innych niż komunalne w 2017 roku (Ochrona Środowiska 2018)

Fig. 1. Main sources of non-municipal waste in 2017

Duży udział odpadów wydobywczych w ogólnym strumieniu odpadów spowodowany jest faktem, iż kopaliny pozbawione są właściwości użytkowych, co wymusza konieczność poddawania ich procesom uzdatniania, które generują odpad. Również duża skala działalności wydobywczej i przetwórstwa górnictwa w Polsce wiąże się z wytwarzaniem dużych ilości odpadów (CUPRUM 2017a). Zakłada się, że ilość wytwarzanych odpadów z tego sektora w kolejnych latach będzie stabilna. Fakt ten jest uwarunkowany głównie koniunkturą rynkową, która jest trudna do przewidzenia. Ze względu na spadek wydobycia kopaliny w Polsce oraz zwiększony import z zagranicy ilość odpadów z tego sektora nie powinna ulec znacznemu zwiększeniu (M.P. 2016 poz. 784).

1. Sposoby postępowania z odpadami wydobywczymi

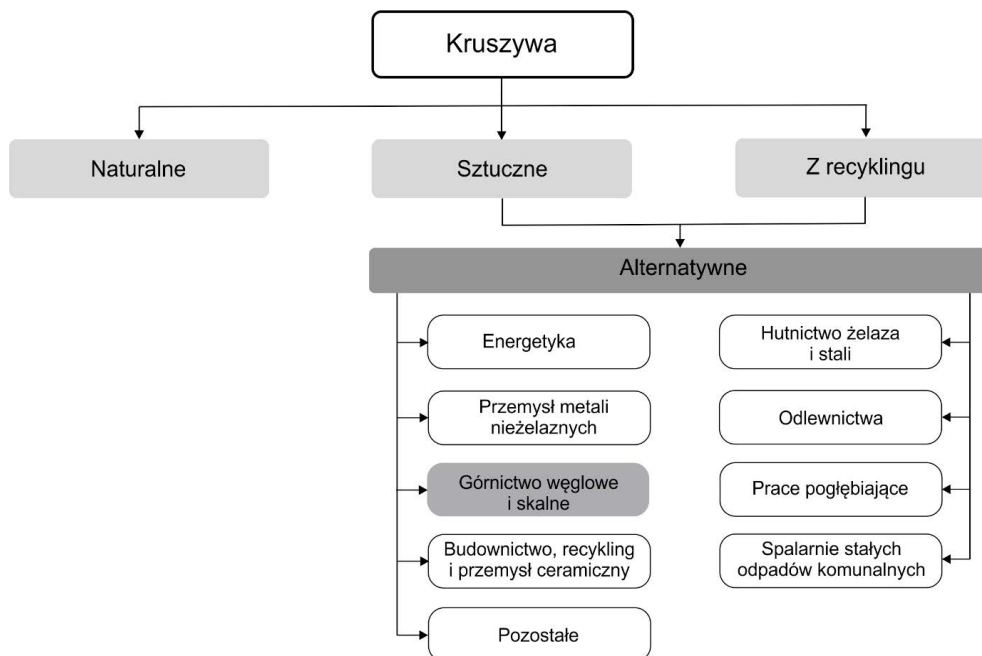
Coraz więcej substancji, uznawanych niedawno za odpady, obecnie w nowych technologiach zyskuje wartość surowców mineralnych. Aktualnie odpady wydobywcze są wykorzystywane nie tylko w celach niwelacji oraz rekultywacji terenów zdegradowanych działalnością wydobywczą, ale również m.in. jako posadzki lub materiał uszczelniający oraz w budownictwie inżynierskim (Góralczyk red. 2011). W latach ubiegłych odpady te były głównie składowane na powierzchni np. w hałdach czy stawach osadowych, przez co formy składowania obecne są do dziś. Odpady wydobywcze stosowane są również jako wypełnienie starych wyrobisk poeksploatacyjnych oraz wykorzystywane do zasypywania zamkniętych odkrywek lub nieczynnych wyrobisk. Odpady te znajdują również zastosowanie do celów budowlanych (CUPRUM 2017b).

Zgodnie z Krajowym Planem Gospodarki Odpadami (KPGO) 2022 odpady wydobywcze zakwalifikowane są do grupy odpadów z wybranych gałęzi gospodarki, których zagospodarowanie stwarza problemy. Minimalizacja ilości powstających odpadów z grupy 01 realizowana jest poprzez: modernizację technologii wydobywania kopalni, m.in. przez zastosowanie technologii głębinowych zamiast odkrywkowych, które zmniejszają urobek „u źródła” lub planowanie i projektowanie prac wydobywczych w sposób zapewniający optymalne wykorzystanie zasobów. Aby zrealizować cele przyjęte w KPGO, należy zwiększyć udział odpadów poddawanych procesom odzysku oraz stopień zagospodarowania odpadów w podziemnych wyrobiskach kopalni (M.P. 2016 poz. 784).

Odpady o kodzie 01 04 12 zgodnie z Rozporządzeniem w sprawie składowisk odpadów mogą być wykorzystywane do kształtowania korony składowiska, zabezpieczania przed erozją wodną i wietrzną skarp i powierzchni korony, a także do wykonywania okrywy rekultywacyjnej (Dz.U. 2013 poz. 523). Odpady wydobywcze o dużej zawartości skał ilastych mogą znaleźć zastosowanie jako surowiec lub komponent masy ceramicznej oraz w produkcji cementu (Palarski i in. 2012).

Obecnie na odpady wydobywcze należy patrzeć jak na złoża minerałów antropogenicznych. Są to złoża wartościowych surowców, które gwarantują wysoką jakość wytworzonych na ich bazie produktów. Wykorzystanie minerałów antropogenicznych pochodzących z górnictwa spełnia ideę Gospodarki o Obiegu Zamkniętym (GOZ, z ang. *Circular Economy*). GOZ to nowa koncepcja, w której produkty, materiały oraz surowce powinny pozostawać w gospodarce tak długo, jak jest to możliwe, natomiast wytwarzanie odpadów winno być jak najbardziej zminimalizowane (Kotarska i in. 2019). W dokumentach promujących ideę GOZ prezentowane są trzy rodzaje kruszyw: naturalne, sztuczne oraz z recyklingu (rys. 2). Kruszywa naturalne są to kruszywa pochodzenia mineralnego, w ich przypadku akceptowalna jest jedynie obróbka mechaniczna. Natomiast kruszywa sztuczne stanowią kruszywa pochodzenia mineralnego, które uzyskuje się poprzez prowadzenie procesów przemysłowych, obejmujących np. modyfikację termiczną. Kruszywa sztuczne mogą być na przykład produkowane z wtórnych surowców odpadowych, które powstają w energetyce, hutnictwie żelaza i metali kolorowych oraz ciepłownictwie, ale także w przemyśle ceramicznym oraz górnictwie. Trzecim rodzajem są kruszywa z recyklingu, powstające w wyniku przeróbki materiału nieorganicznego zastosowanego poprzednio w budownictwie np. beton z robót wyburzeniowych, kruszywa z podbudów i nasypów, inne surowce z robót wyburzeniowych (Szczygielski 2015; Uzunow 2014). W tym miejscu należy dodać, że kruszywa sztuczne oraz z recyklingu określane są mianem kruszyw alternatywnych, które wytwarzane są z surowców odpadowych. Do kruszyw alternatywnych można zaliczyć kruszywa naturalne z surowca odpadowego.

Aktualnie wprowadzana idea Gospodarki Obiegu Zamkniętego (GOZ) nakazuje postrzeganie dotychczas sklasyfikowanych odpadów jako surowców do dalszych procesów. Taka polityka jest konieczna w celu realizacji strategii „Europa 2020”, w której to celem jest oszczędność zasobów (Jarosiński i in. 2018). Surowce dotychczas sklasyfikowane jako odpad górniczy, postrzegane są według tej idei jako minerały antropogeniczne, które mogą znaleźć zastosowanie w gospodarce, a tym samym zaspokoić znaczną część potrzeb kruszywowych dla budownictwa. Pozwala to na ograniczenie nowych mocy produkcyjnych



Rys. 2. Kierunek wykorzystania antropogenicznych surowców w obiegu zamkniętym (opracowanie własne na podstawie Szczygielski 2015)

Fig. 2. Direction of using anthropogenic raw materials in a Circular Economy

oraz emisji CO₂, a także zminimalizowanie zalegania odpadów na składowiskach. GOZ nastawiona jest na zwracanie materiałów do obiegu i utrzymywania wyrobów, materiałów oraz składników przez cały czas na najwyższym poziomie ich wartości i użyteczności, co stanowi przeciwieństwo obecnej gospodarki liniowej (Szczygielski red. 2015).

Kruszywa pochodzące z górnictwa węglowego znajdują zastosowanie w robotach inżynierskich, budowlanych oraz drogowych. Kruszywa mineralne wyprodukowane z odpadów wydobywczych można stosować nie tylko do niwelacji i rekultywacji terenów, ale również w budownictwie wodnym do budowy wałów przeciwpowodziowych. O tym, czy odpady wydobywcze znajdą zastosowanie w produkcji kruszyw, decydują ich właściwości fizykochemiczne (Palarski i in. 2012), a jakość odpadów wynika głównie z ich składu petrograficznego oraz zawartości zanieczyszczeń (Biały red. 2011).

2. Metodyka badań

W celu określenia podstawowych właściwości fizykochemicznych badanych popiołów przeprowadzono szereg oznaczeń zgodnie z obowiązującymi normami. W tabeli 1 zamieszczono wykaz zastosowanych w badaniach norm.

TABELA 1 Normy zastosowane w analizie

TABLE 1. Standards applied to the analysis

Oznaczenie	Symbol	Norma
Oznaczanie zawartości wilgoci – Metoda suszarkowa	W_c	PN-EN ISO 18134-2:2017-03
Oznaczanie gęstości nasypowe	ρ_n	PN-EN 1237:2000
Oznaczanie strat podczas prażenia	LOI	PN-EN 15935:2013-02
Oznaczanie zawartości części palnych i niepalnych	A	PN-Z-15008-03:1993 – wycofana bez zastąpienia
Oznaczanie: pH, zawartości substancji organicznej, węgla organicznego, azotu, fosforu i potasu	TOC, N	PN-Z-15011-3:2001
Oznaczanie pH	pH	PN-EN ISO 10523:2012
Oznaczanie przewodności elektrycznej właściwej	σ	PN-EN 27888:1999
Oznaczanie sumarycznej zawartości wapnia i magnezu – Metoda miareczkowa z EDTA	T_{og}	PN-ISO 6059:1999
Oznaczanie azotu amonowego – Metoda destylacyjna z miareczkowaniem	NH_4	PN-ISO 5664:2002
Oznaczanie chlorków – Metoda miareczkowania azotanem srebra w obecności chromianu jako wskaźnika (Metoda Mohra)	Cl^-	PN-ISO 9297:1994
Oznaczanie siarczanów(VI) – Metoda grawimetryczna z chlorkiem baru	SO_4^-	PN-ISO 9280:2002
Oznaczanie fosforu – Metoda spektrometryczna z molibdenianem amonu	PO_4^- , P	PN-EN ISO 6878:2006
Oznaczanie sodu, wapnia i potasu metodą emisyjnej spektrometrii płomieniowej	K, Na, Ca, Li, Ba	PN-ISO 9964-3:1994

Test fitotoksyczności został wykonany z zastosowaniem kielków rzeżuchy (pieprznicy siewnej) oraz gorczyca białej (test na wybranych roślinach sugerowanych przez OECD) (PN-EN ISO 11269-1:2013-06). Test przeprowadzono w ciemności, w temperaturze około 25°C przez okres 72 godzin. Na podstawie pomiaru długości części korzeniowej oraz pędów w wykiełkowanych nasionach przeprowadzono ocenę działania podłoża na badane rośliny.

Współczynnik inhibicji wzrostu części korzeniowej roślin (I_k) oraz pędu (I_L) wyliczono ze wzoru (2):

$$I_K(I_L) = \frac{L_k - L_b}{L_k} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

- L_k – średnia długość korzeni roślin w próbie kontrolnej, mm,
- L_b – średnia długość korzeni roślin w próbie badanej, mm.

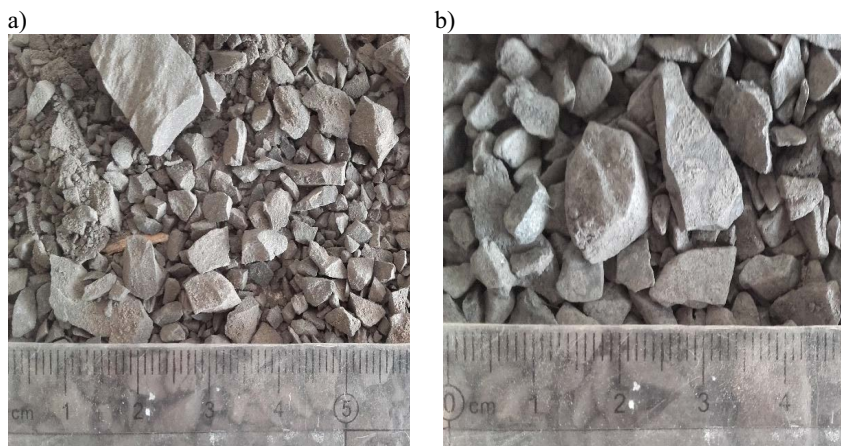
Z pobranego odpadu o masie 2 kg przygotowano reprezentatywną próbkę laboratoryjną, z tak przygotowanej próbki sporządzono wyciąg wodny przy stosunku cieczy do fazy stałej $L/S = 10 \text{ dm}^3/\text{kg}$ (test podstawowy). Ciecz wyciągającą stanowiła woda destylowana o pH 7,1 i przewodności elektrycznej właściwej 61,18 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Następnie wyciąg wytrząsano na wytrząsarce laboratoryjnej przez 24 godziny, po czym zawiesinę przefiltrowano. Procedurę przeprowadzono w oparciu o normę (Directive 1999/31/EC; PN-EN 12457-2:2006).

3. Charakterystyka badanych odpadów wydobywczych

Badany odpad pochodzi z sektora przemysłowego, z kopalni węgla kamiennego, gdzie traktowany jest jako odpad wydobywczy. Powstaje w trakcie mechanicznej przeróbki węgla, a dokładnie w procesie wzbogacania węgla. Odpad charakteryzuje się kodem 01 04 12, jest to odpad powstający w trakcie płukania oraz oczyszczania kopaliny.

Pochodzi on z osadzarki miałowej (OM 16), która służy do wzbogacania węgla w klasie ziarnowej 0,5–20/30 mm.

Badany odpad należy do grupy odpadów drobnoziarnistych. Odpad charakteryzuje się kolorem ciemnoszarym. Charakteryzuje się szybkim uwalnianiem wilgoci przemijającej w warunkach otoczenia. Rysunek 3 przedstawia rzeczywisty wygląd badanego odpadu.



Rys. 3. Odpad wydobywczy stosowany w badaniach (wykonanie własne)

Fig. 3. Extractive waste used in research (self-made)

4. Wyniki badań

W tabeli 2 przedstawiono wyniki badań podstawowych parametrów fizykochemicznych badanego odpadu, a w tabeli 3 wyniki dla badań potencjalnych właściwości nawozowych.

TABELA 2. Parametry fizykochemiczne badanego odpadu wydobywczego

TABLE 2. Physicochemical parameters of the extractive waste

Parametr	Symbol	Jednostka	Wynik
Wilgotność całkowita	–	%	0,87
Gęstość nasypowa	ρ_{sn}	kg/m ³	1 024
Odczyn	pH	–	6,48
Twardość ogólna	–	mval/dm ³	0,27
Potencjał redox	–	mV	82,75
Współczynnik filtracji	k	m/s	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Substancje organiczne	SO	%	15,38
Trwała substancja odporna na rozkład	NSO	%	5,98
Substancje palne	–	%	0,19
Substancje niepalne	–	%	99,81

TABELA 3. Właściwości nawozowe badanego odpadu wydobywczego

TABLE 3. Fertilizer properties of the extractive waste

Parametr	Symbol	Jednostka	Wynik
Substancje organiczne łatwo rozkładalne biologicznie	RSO	%	9,40
Węgiel organiczny	TOC	%	4,42
Azot ogólny	Nog	%	0,18
Stosunek węgla do azotu	C/N	–	4,0
Dekatlunek tetrafosforu	P ₂ O ₅	%	0,29
Tlenek sodu	Na ₂ O	%	0,24
Tlenek potasu	K ₂ O	%	12,44
Lit	Li	%	0,01
Wapń	Ca	%	0,29
Bar	Ba	%	0,63

Analizując uzyskane wyniki, można stwierdzić, że badany odpad charakteryzuje się niskim uwilgotnieniem na poziomie 0,87%. Odpad składa się głównie z substancji niepalnych, które wynoszą 99,81%. Wartość gęstości nasypowej świadczy o możliwości zastosowania odpadu do kształtowania skarp i czaszy składowiska bez zagrożenia obsunięciem. Jednak wysoki współczynnik filtracji na poziomie 10^{-4} m/s świadczy o braku możliwości zastosowania odpadu jako warstwy izolacyjnej na składowiskach odpadów, gdyż nie będzie stanowił bariery dla powstających odcieków.

Odczyn odpadu wskazuje, że odpad ten jest bliski obojętnemu ze względu na pH równe 6,48. Niska zawartość substancji organicznych w porównaniu z wytycznymi zawartymi w Rozporządzeniu (Dz.U. 2008 nr 119 poz. 765) klasyfikującymi nawozy do nawozów mineralno-organicznych nie pozwala przyjąć, iż dany odpad zalicza się do nawozów mineralno-organicznych. Ze względu na zawartość azotu ogólnego, fosforu w postaci ortofosforanów(V) oraz potasu nie można zakwalifikować badanego odpadu do nawozów mineralnych. Porównując otrzymane wyniki z wytycznymi dla nawozów mineralnych są one o wiele niższe od wartości zawartych w Rozporządzeniu (Dz.U. 2008 nr 119 poz. 765). Zgodnie z tym Rozporządzeniem parametry te powinny być na poziomie 2%, gdzie w badaniach wartości te odpowiednio wynoszą 0,18 oraz 0,29%.

Niewielka zawartość azotu i fosforu w badanym odpadzie może powodować negatywny wpływ na prawidłowy rozwój roślin. Pozostałe parametry – RSO (9,40%) oraz zawartość węgla organicznego (4,42%) także przyjmują niskie wartości, co również wyklucza potencjalne właściwości nawozowe badanego odpadu.

W tabeli 4 przedstawiono wyniki dla zanieczyszczeń wymywanych z badanych odpadów.

W Rozporządzeniu w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi (Dz.U. 2014 poz. 1800) określono najwyższe dopuszczalne wartości wskaźników zanieczyszczeń. Zawartość chlorków jest niższa od dopuszczalnych 1000 mg/dm^3 i wynosi 640 mg/dm^3 . Jedynie zawartość azotu amonowego oraz baru przewyższa wartości określone przez Rozporządzenie. Pozostałe parametry spełniają wymagania. Wśród makroelementów najwyższą wartość przyjmuje potas. W porównaniu do wyników uzyskanych w próbach przeprowadzonych na odpadzie, wyniki dla wyciągów są o wiele mniejsze, co wskazuje na małe wymywanie się analizowanych zanieczyszczeń z odpadu. W wyciągu w kilogramie badanych odpadów zbadano 580,06 mg azotu amonowego. Twardość ogólna wynosi $0,27 \text{ mval/dm}^3$, co odpowiada $0,756^\circ\text{n}$ (Biegańska red. 2008). Świadczy to o tym, że uzyskany wyciąg z odpadów jest wyciągiem bardzo miękkim.

Chcąc sprawdzić, czy dany odpad można kierować na składowiska odpadów obojętnych należy spełnić wymagania określone w Rozporządzeniu w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach (Dz.U. 2015 poz. 1277). Wśród wymagań zawarte są parametry przedstawione w tabeli 5.

Na badanych odpadach przeprowadzono test fitotoksyczności z zastosowaniem nasion rzeżuchy ogrodowej oraz gorczycy białej. Rysunek 4 przedstawia średnie długości korzenia i pędu tych roślin wysianych na wybranych podłożach.

Średnia długość korzenia oraz pędu rzeżuchy wysianej na badanym odpadzie jest większa w porównaniu do próby kontrolnej przeprowadzonej na wodzie destylowanej, natomiast mniejsza od długości uzyskanych na glebie ogrodowej i referencyjnej.

TABELA 4. Zanieczyszczenia wymywane z badanego odpadu wydobywczego

TABLE 4. Impurities eluted with the test extractive waste

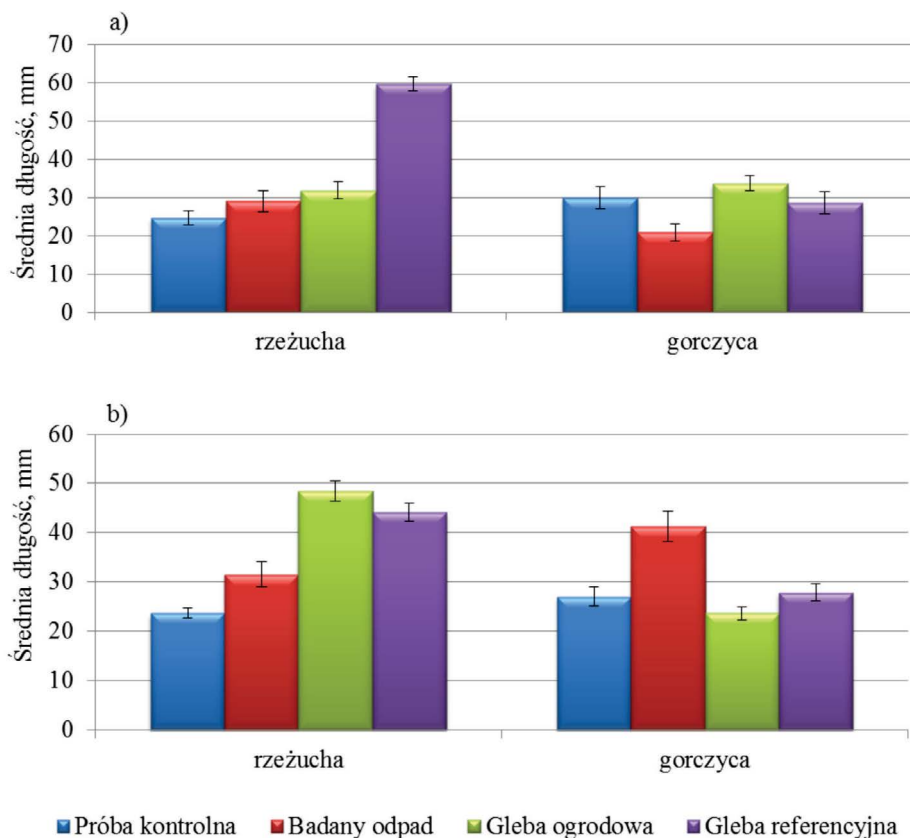
Parametr	Symbol	Jednostka	Wynik
Chlorki	Cl ⁻	mg/dm ³	640
		mg/kg	6 400
Azot amonowy	N _{NH₄}	mg/kg	580
Fosfor	P	mg/dm ³	0,65
		mg/kg	6,50
Siarczany	SO ₄	mg/dm ³	0,12
		mg/kg	1,20
Sód	Na	mg/dm ³	1,38
		mg/kg	1 380
Potas	K	mg/dm ³	20,86
		mg/kg	208,60
Lit	Li	mg/dm ³	0,16
		mg/kg	1,60
Wapń	Ca	mg/dm ³	1,45
		mg/kg	14,50
Bar	Ba	mg/dm ³	6,77
		mg/kg	67,70

TABELA 5. Kryteria dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach odpadów obojętnych

TABLE 5. Waste acceptance to storage in inert waste landfill site

Parametr	Symbol	Jednostka	Wynik	Norma z Rozporządzenia (Dz.U. 2015 poz. 1277)
Chlorki	Cl ⁻	mg/kg	6 400	800
Siarczany(VI)	SO ₄	mg/kg	1,2	1 000
Bar	Ba	mg/kg	67,7	20

W przypadku gorczycy wysianej na badanym odpadzie, średnia długość korzenia jest mniejsza od średniej długości korzeni uzyskanych na pozostałych podłożach, natomiast średnia długość pędu jest większa od długości otrzymanych w próbach na innych podłożach.



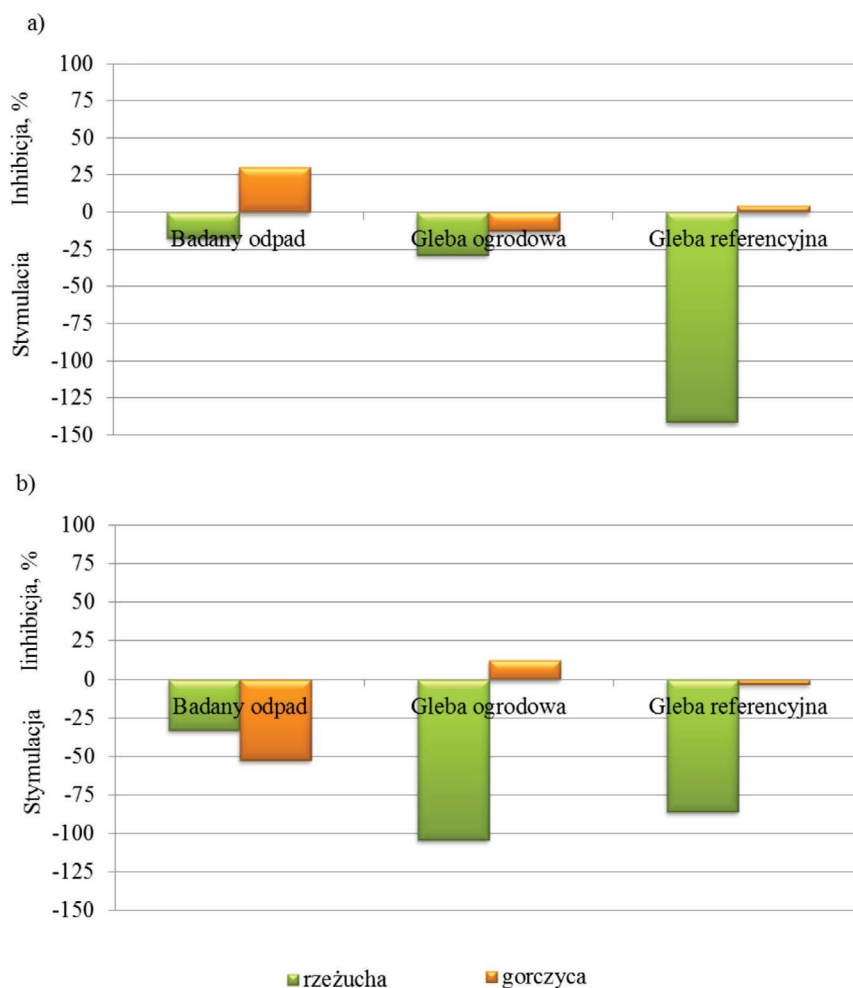
Rys. 4. Średnie długości a) korzenia, b) pędu

Fig. 4. Average length of a) root, b) sprout

Zgodnie z otrzymanymi wynikami testu fitotoksyczności można zauważyć, że podłoże z badanego odpadu stwarza porównywalne warunki dla wzrostu rzeżuchy jak w próbie kontrolnej, natomiast gorsze niż na pozostałych podłożach. W przypadku gorczycy odnotowano najlepszy wzrost pędu na podłożu z badanego odpadu oraz najgorszy wzrost korzenia. Pomiar długości pędów oraz korzenia pozwoliły na określenie współczynników stymulacji/inhibicji wzrostu wybranych roślin.

Rysunek 5 przedstawia współczynnik inhibicji wzrostu korzeni oraz pędów roślin na podłożach.

W próbie przeprowadzonej na badanym odpadzie odnotowano inhibicję wzrostu korzenia gorczycy oraz stymulację wzrostu korzenia rzeżuchy. Pędy zarówno gorczycy, jak i rzeżuchy wykazują stymulację. Rzeżucha wysiana na badanym odpadzie w porównaniu do gleby referencyjnej oraz ogrodowej wykazuje słabszy wzrost. W przypadku gorczycy wzrost korzenia jest silniej zahamowany na podłożu z badanego odpadu, natomiast pęd wykazuje silniejszy wzrost niż na pozostałych glebach. W porównaniu do pozostałych podłoży,



Rys. 5. Współczynnik stymulacji/inhibicji wzrostu a) korzenia, b) pędu dla testu fitotoksyczności

Fig. 5. Stimulation/growth inhibition ratio of a) root, b) sprout for phytotoxicity test

badany odpad wydobywczy nie stanowi najlepszego podłoża dla wybranych roślin, ale też nie wykazuje działania fitotoksycznego.

Wnioski

Badania przeprowadzone na odpadzie o kodzie 01 04 12, powstającym w trakcie płukania oraz oczyszczania kopalni wykazały, że odpad nie może być stosowany jako warstwa izolacyjna na składowiskach odpadów ze względu na wysoki współczynnik filtracji oraz wysoką zawartość frakcji mineralnej. Może być składowany w hałdach (proces unieszko-

dliwiania) oraz do tworzenia koron składowisk (proces odzysku) ze względu na gęstość nasypową oraz słabą wymywalność zanieczyszczeń. Trzeba pamiętać jednak, że badany odpad jest odpadem z wydobycia i przeróbki węgla kamiennego, i z czasem może nastąpić uruchomienie siarczanów. Badanie potencjalnych właściwości nawozowych wykazało, iż odpad ten nie spełnia wymagań określonych prawnie w Rozporządzeniu (Dz.U. 2008 nr 119 poz. 765), zatem nie wykazuje użyteczności w celach nawozowych. Wyniki testu fitotoksyczności potwierdzają zdolność wykorzystania tego odpadu do tworzenia okryw rekultywacyjnych oraz jako podłoże pod tereny zielone na terenach rekultywowanych. Odpad nie wykazuje działania fitotoksycznego na badane rośliny. Nie wykazuje również znaczącego działania inhibicyjnego na wzrost wybranych roślin.

Jeszcze do niedawna głównym sposobem unieszkodliwiania odpadów wydobywczych było ich składowanie. Obecnie idea GOZ skłania, aby sklasyfikować badany odpad do minerałów antropogenicznych. A co za tym idzie zwiększyć poziom oszczędności zasobów naturalnych, na poczet wykorzystania kruszyw pochodzących z górnictwa. Według źródeł minerały antropogeniczne znajdują zastosowanie przy wytwarzaniu cementu i betonu, a także w budownictwie inżynieryjnym oraz drogownictwie. Aby określić, czy badane odpady wydobywcze znajdują zastosowanie jako kruszywa w powyższych dziedzinach, należałoby sprawdzić ich wymagania określone przez odpowiednie normy.

Literatura

- Biały, W. red. 2011. *Górnictwo węgla kamiennego – wybrane problemy funkcjonowania*. Gliwice: Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, s.103–106.
- Biegańska, J., red. 2008. *Metody analizy w gospodarce odpadami. Zbiór instrukcji do ćwiczeń laboratoryjnych*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- BN-796048-02-06. Oznaczanie gęstości nasypowej.
- Council Decision of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex II to Directive 1999/31/EC.
- CUPRUM 2017a. [Online] http://geoportals.pgi.gov.pl/geosam/odpady_wydobywcze, Państwowy Instytut Geologiczny [Dostęp: 3.07.2017].
- CUPRUM 2017b. [Online] http://www.czasopismo.cuprum.wroc.pl/upfiles/journal-articles-files/Cuprum_3-2011_Wykorzystanie_odpadow_Kudelko-Nitek_Str_51-64.pdf, CUPRUM Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud [Dostęp: 3.07.2017].
- Dz.U. 2008 nr 119 poz. 765 – Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu.
- Dz.U. 2008 Nr 138 poz. 865 – Ustawa z dnia 10 lipca 2008r. o odpadach wydobywczych.
- Dz.U. 2013 poz. 523 – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów.
- Dz.U. 2014 poz. 1800 – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.
- Dz.U. 2014 poz. 1923 – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów.
- Dz.U. 2015 poz. 1277 – Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach.
- Góralczyk, S. red. 2011. *Gospodarka surowcami odpadowymi z węgla kamiennego*. Warszawa: Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego.
- Jarosiński, A. i Kulczycka, J. 2018. Ocena możliwości pozyskiwania niektórych surowców krytycznych w Polsce w związku z realizacją koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym. *Inżynieria Mineralna* 19(1), s. 315–324.

- Kotarska, I. i Mizera, B. 2019. Odpady wydobywcze w gospodarce obiegu zamkniętego. *Przegląd Górniczy* 75(2), s. 67–71.
- M.P. 2016 poz. 784 – Uchwała nr 88 Rady Ministrów z dnia 1 lipca 2016r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami 2022.
- Ochrona środowiska 2018, Główny Urząd Statystyczny.
- OECD. 2006. Guideline for the testing of chemicals: Proposal for a new Guideline 227. Terrestrial Plant Test: Vegetative Vigour Test. [Online] http://www.biotechnologiebt.it/pdf_our_services/OECD227.pdf.
- Palarski i in. 2012 – Palarski, J., Plewa, F. i Mysiek, Z. 2012. *Odzysk i unieszkodliwianie odpadów w górnictwie podziemnym*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- PN-EN 12457-2:2006 – Characterization of waste – leaching – compliance test for leaching of granular waste materials and sludges. Part 2: one stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 l/kg for materials with particle size below 4 mm (without or with size reduction).
- PN-EN ISO 11269-1:2013-06 – Jakość gleby. Oznaczanie wpływu zanieczyszczeń na florę glebową. Część I: Metoda pomiaru hamowania wzrostu korzeni.
- PN-ISO 9297:1994P – Jakość wody. Oznaczanie chlorków. Metoda miareczkowania azotanem srebra w obecności chromianu jako wskaźnika (Metoda Mohra).
- PN-Z-15011-3:2001 – Kompost z odpadów komunalnych. Oznaczanie: pH, zawartości substancji organicznej, węgla organicznego, azotu, fosforu i potasu.
- Szczygielski, T. red. 2015. *Minerały antropogeniczne a gospodarka o obiegu zamkniętym*. Instytut Badań Stosowanych. Politechnika Warszawska.
- Uzunow, E. 2014. *Surowce odpadowe jako alternatywa wobec kruszyw naturalnych* [W:] Lerch D. red. *Kruszywa* [Online] nr 4, s. 36–39, Katowice.