

Materiały zasypowe do likwidacji szybów górniczych

Materials used in liquidating mining shafts



Joanna Całus Moszko^{*)}



Agnieszka Klupa^{*)}



Małgorzata Markowska^{*)}

Treść: W Polsce, zgodnie z obowiązującymi wymaganiami prawnymi, szyb likwiduje się przez jego wypełnienie materiałem odpowiednio dobranym do warunków geologicznych, z uwzględnieniem czynników decydujących o bezpieczeństwie. Przy doborze materiałów do likwidacji szybu należy również brać pod uwagę ich wpływ na środowisko naturalne. W publikacji przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych wymywalności substancji rozpuszczalnych z materiałów stosowanych do likwidacji szybów górniczych. Badanie wymywalności substancji rozpuszczalnych materiałów zasypowych przeprowadzono z zastosowaniem wody destylowanej oraz wody dołowej. Przeprowadzone badania wykazały, że wymywalność substancji rozpuszczalnych, zawartych w badanych materiałach z wodą dołową wykazują, że duże zasolenie wód może mieć wpływ na agresywne rozpuszczanie i wymywanie związków chemicznych, co powoduje zanieczyszczenie wód podziemnych.

Abstract: In Poland, in accordance with the applicable legal requirements, the shaft is dismantled by filling it with material selected for the geological conditions, taking into account the factors determining safety. When selecting materials used in liquidating mining shafts, one should also take into account their impact on the natural environment. The publication presents the results of laboratory tests on the leachability of soluble substances from materials used in liquidating mining shafts. The test of leachability of soluble substances was carried out with the use of distilled water and mine water. The conducted research showed that the leachability of soluble substances contained in the tested materials with mine water shows that high salinity of mine waters can have an aggressive dissolution and leaching of chemical compounds, which can cause groundwater contamination.

Słowa kluczowe:

likwidacja, szyb górniczy, materiały zasypowe, wymywalność, odpady pogórnice, żużel

Keywords:

liquidation, mining shaft, backfilling materials, leachability, post-mining waste, slag

1. Wprowadzenie

W Polsce, zgodnie z obowiązującymi wymaganiami prawnymi, szyb likwiduje się poprzez jego wypełnienie materiałem odpowiednio dobranym do warunków geologicznych, z uwzględnieniem czynników decydujących o bezpieczeństwie w trakcie, jak również po zakończeniu procesu likwidacji. Dla zapewnienia bezpieczeństwa powszechnego w otoczeniu zlikwidowanego szybu, które bezpośrednio związane jest ze statecznością gruntu, konieczne jest: trwałe zamknięcie rury i zabezpieczenie zrębu szybu, utworzenie statecznej kolumny zasypowej, kontrola wpływu gazów z szybu oraz zapewnienie odpowiednich warunków do odbudowy stosunków wodnych w otaczającym górotworze (Czaja, 2009, 2010). W otoczeniu zlikwidowanych szybów górniczych, wraz z upływem czasu, wzrasta zagrożenie występowaniem deformacji na powierzchni terenu. Istnienie tego zagrożenia

potwierdzają liczne zdarzenia, które miały miejsce w pobliżu zlikwidowanych szybów. W wielu przypadkach ich przyczyną było obniżenie się kolumny zasypowej, połączone ze zniszczeniem obudowy szybowej lub nieprawidłowo wykonane prace podczas likwidacji szybu.

W przypadku likwidowanych szybów, szczególnie tych zlokalizowanych w obszarach ze znacznym dopływem wody, niezwykle istotny jest dobór materiału do wypełnienia rury szybowej, warunkujący stateczność kolumny zasypowej. Do wypełnienia szybów najczęściej stosowane są materiały takie, jak: odpady z wydobywania i przeróbki rud oraz innych kopalin, granit, piasek, żwir, dolomit. W ostatnich latach do likwidacji szybów zaleca się również wykorzystywanie mieszanin wodno-popiołowych z dodatkiem środków wiążących (Całus Moszko i in. 2015, Prusek i in., 2012, 2014, Plewa, Kleta, 2005, Plewa i in. 2010).

Możliwe sposoby likwidacji szybów określa Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia

^{*)} Główny Instytut Górnictwa, Katowice

ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz. U. poz. 1118, z 2017r.), według którego szyb należy zlikwidować „przez całkowite zasypanie (wypełnienie) materiałem dobranym odpowiednio do warunków geologicznych”, z uwzględnieniem następujących czynników:

- hydrogeologicznych i gazowych warunków występujących w obrębie szybu;
- zagrożenia metanowego i pożarowego;
- sposobu zabezpieczenia poszczególnych poziomów na podszybiach;
- sposobu przewietrzania szybu przed rozpoczęciem likwidacji i podczas jego likwidacji;
- sposobu likwidacji zbrojenia szybu i urządzeń szybowych;
- rodzaju i sposobu zamknięcia szybu oraz zabezpieczenia jego wylotu;
- wpływu zagrożeń występujących po likwidacji szybu na powierzchnię i sąsiednie zakłady górnicze.

Podstawą do opracowania sposobu likwidacji jest zatwierdzony przez właściwy organ nadzoru górniczego projekt techniczny z technologią wykonania robót likwidacji szybu. Roboty związane z likwidacją szybu muszą odbywać się pod nadzorem osób dozoru ruchu wyznaczonych przez kierownika ruchu zakładu górniczego. Przepisy określają również obowiązek oznaczenia zlikwidowanego szybu na mapach sytuacyjno-wysokościowych i w terenie oraz powiadomienie właściwego organu gminy o lokalizacji szybu i sposobie jego likwidacji.

Do likwidacji szybów górniczych, według zaleceń opracowanych w Głównym Instytucie Górnictwa (Stałęga i in. 1997), mogą być stosowane następujące rodzaje materiałów skalnych i odpadowych:

Granit – skała magmowa od drobno do grubokrystalicznej, w składzie której dominują takie minerały jak: kwarc, skalenie potasowe, plagioklasy rzadziej biotyt i muskowit. Charakteryzuje się on wysoką wytrzymałością na ściskanie, która przekracza 200 MPa i kwasoodpornością. Odnacza się strukturą fanerytową, często równoziarnistą, czasem porfirowatą i teksturą masywną, bezładną (Bolewski, Turnau-Morawska 1963). Granit zalecany jest do wypełniania kolumny zasypowej szybów, jednak jego zastosowanie wpływa na wysokie koszty procesu likwidacji.

Dolomit – osadowa skała węglanowa zbudowana głównie z minerału dolomitu. Ze względu na sposób powstawania tych skał wyróżniamy dolomity pierwotne (sedymenacyjne) oraz dolomity wtórne (metasomatyczne). Dolomity sedymenacyjne tworzą się wskutek bezpośredniego wytrącania dolomitu z wód morskich oraz jeziornych. Tworzą pokłady dość jednolite litologicznie, o wyraźnym uławiceniu i jednorodnej, zbitej strukturze. Dolomity metasomatyczne powstają w procesie metasomatycznych przemian osadów wapiennych (kalcytowych). Dolomity wtórne są porowate i jamiste. Skały dolomitowe najczęściej wykazują strukturę pelitową lub krystaliczną. Charakteryzuje się odpornością na procesy wietrzenia i wytrzymałością na ściskanie, która wynosi 30–160 MPa. Dolomit ze względu na swoje właściwości mechaniczne i odporność na działanie warunków środowiskowych znajduje szerokie zastosowanie w budownictwie, drogownictwie, kolejnictwie oraz jako składnik betonów (Bolewski, Turnau-Morawska 1963).

Odpady pogórnice z kopalń węgla kamiennego – materiał odpadowy powstający w trakcie eksploatacji i przeróbki mechanicznej węgla kamiennego. Ze względu na miejsce powstawania dzieli się na dwie grupy:

- odpady z robót górniczych i przygotowawczych o średnicy ziaren do 500 mm,
- odpady przerobcze z procesów wzbogacania węgla o średnicy ziaren 0–200 mm.

Odpady pogórnice charakteryzują się zmiennym składem petrograficznym i mineralogicznym, co ma wpływ na ich zmienne właściwości fizykochemiczne, które zależą przede wszystkim od udziału w nich minerałów ilastych, decydujących o właściwościach takich, jak: rozmakalność i pęcznienie (Skarżyńska 1997). Skład mineralogiczny odpadów pogórnicznych w seriach mułowcowych przedstawia się następująco: 50–70% stanowią minerały ilaste, 20–30% kwarc, 10–20% inne minerały (np. chloryt, piryty, syderyt, ankeryt) 2,5% substancja węglowa. (Skarżyńska 1997), natomiast odpadów pogórnicznych z robót prowadzonych w krakowskiej i górnośląskiej serii piaskowcowej będzie dominował kwarc, a minerały ilaste stanowiące lepiszcze będą uzupełnieniem. Odpady pogórnice stosowane jako materiał zasypowy do likwidacji szybów, stanowią tańszą alternatywę dla materiałów skalnych: granitu i dolomitu.

Odpady z procesów metalurgii żelaza (żużle stalownicze i wielkopiecowe). Żużle wielkopiecowe są materiałem odpadowym, który powstaje w wielkim piecu w trakcie procesu redukcji metalicznego żelaza. Materiał ten cechuje się wysoką ognioodpornością, mrozoodpornością oraz dobrymi własnościami izolacyjnymi (Zydroń i in. 2008). Żużle stalownicze to materiał odpadowy, który powstaje w trakcie wytapiania stali w urządzeniu zwanym konwertorem. Materiał ten charakteryzuje się dużą gęstością właściwą i nasypową, wysoką wytrzymałością na ściskanie, dużą szorstkością i niską nasiąkliwością.

Odpady paleniskowe z elektrowni (popioły lotne i żużle elektrowniane) – materiały odpadowe pochodzące z procesów energetycznego wykorzystania węgla. W zależności od kotła, w którym powstają dzieli się na: popioły lotne z konwencjonalnych palenisk pyłowych i popioły ze spalania w kotłach fluidalnych. Popioły lotne powstają w wyniku spalania węgla w temperaturach $> 1500^{\circ}\text{C}$. Pod względem składu chemicznego najważniejszymi składnikami popiołów lotnych są SiO_2 i Al_2O_3 , które wpływają na ich właściwości pucolanowe (wiążące). Pod względem składu fazowego, podstawową fazą popiołów lotnych jest szkło, którego ilość dochodzi do 80% (Kurdowski 2010). Popioły fluidalne powstają w wyniku spalania węgla w niższych temperaturach ($800\text{--}1000^{\circ}\text{C}$), w których część mineralna nie ulega stopieniu. W technologiach górniczych popioły z elektrowni wykorzystywane są w postaci hydromieszanin najczęściej do uszczelniania zrobów zawałowych (Plewa i in., 2011).

Inne odpady mogą być dopuszczone do wykorzystania jako materiały zasypowe na podstawie badań laboratoryjnych (Stałęga i in. 1997).

Spośród wyżej wymienionych materiałów, najczęściej do likwidacji szybów stosowane są odpady pogórnice, przerobcze o granulacji 40–100 mm oraz dolomit o granulacji 30–150 mm i wytrzymałości na ściskanie $R_c > 30$ MPa (Stałęga i in. 1997). Ponadto zaleca się, aby do wypełniania szybu stosować materiały niepalne, wytrzymałe, nietoksyczne i odporne na działanie wody, takie jak: skała płonna (ewentualnie przelewane zaprawą cementową), piasek, żwir, dolomit, tłuczeń, beton. Do likwidacji szybów górniczych stosowane mogą być również mieszaniny wodno-popiołowe z dodatkiem środków wiążących (Plewa, Kleta 2001, 2005, Plewa i in. 2010).

Wymagania dotyczące materiałów stosowanych do likwidacji szybów opracowano również w innych krajach. Na przykład, w górnictwie czeskim do likwidacji szybów należy stosować: skały karbońskie o uziarnieniu do 250 mm i wytrzymałości na ściskanie $R_c = 60\text{--}200$ MPa dla piaskowców i $R_c = 10\text{--}80$ MPa dla iłowców, odpady z przeróbki węgla o uziarnieniu do 200 mm, materiał z hałd pogórnicznych, naturalne kruszywa o uziarnieniu do 125 mm, piasek, żużle wielkopiecowe, gruz z rozbiórki obiektów budowlanych (Chudek i in., 2001).

W górnictwie niemieckim (Patzke, Schneider 1991, Stobiński, 1992, Czaja, Kohutek, 1994) do likwidacji szybów górniczych można stosować materiały takie, jak:

- tłuczeń o uziarnieniu 20–80 mm, wolny od podziarna i obcych wtrąceń podatnych na agresję wód kopalnianych (odcinki szybu o podwyższonej stabilności),
- podsadzka utwardzana lub beton pozaklasowy (strefy przy podszybiach),
- nierozmywalne materiały, tj. piasek, żwir, odpady z płuczki (środkowa część szybu),

Przy doborze materiałów do likwidacji szybu należy również brać pod uwagę ich wpływ na środowisko naturalne. Do likwidacji szybów górniczych nie można stosować materiałów odpadowych radioaktywnych oraz tych, które w kontakcie z wodą mogą spowodować zanieczyszczenie wód podziemnych. Chemiczne kryteria oceny odpadów stosowanych do wypełniania szybów podano w *Rozporządzeniu Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych (Dz.U. 2019 poz. 1311)*.

W tabeli 1. Materiały do likwidacji wyrobisk górniczych podziemnych i pionowych (Chudek, 2001).

3. Metody i badania

W pracy przedstawiono przeprowadzone badania wymywalności substancji rozpuszczalnych z następujących odpadów:

- Próba 1 – żużel wielkopieczowy,
- Próba 2 – żużel stalowniczy,
- Próba 3 – odpad pogórnicy.

Badanie wymywalności substancji rozpuszczalnych materiałów zasypowych do likwidacji szybów kopalnianych przeprowadzono z zastosowaniem wody destylowanej oraz dołowej wody dołowej. Ponadto żużel wielkopieczowy, stalowniczy oraz odpad pogórnicy zostały poddane namaczaniu w wodzie dołowej na okres 7 i 14 dni. Po upływie tego czasu wykonano badanie wymywalności substancji rozpuszczalnych w tych materiałach.

Woda dołowa została pobrana z KWK „Ziemowit”. Skład chemiczny wody dołowej został przedstawiony w tabeli 2.

Przedmiotem badań były próbki:

- P.1d, P.2d, P.3d (badanie wymywalności substancji rozpuszczalnych z zastosowaniem wody destylowanej);
- P.1k, P.2k, P.3k (badanie wymywalności substancji rozpuszczalnych z zastosowaniem wody dołowej);
- P.1k7, P.2k7, P.3k7 (badanie wymywalności substancji rozpuszczalnych z zastosowaniem wody dołowej po na-

Tabela 1. Materiały do likwidacji wyrobisk górniczych podziemnych i pionowych
Table 1. Materials for liquidation of underground and vertical mining excavations

Rodzaj materiału	Wymagania (właściwości)
Materiały w stanie fizycznym stałym	Średnica do 250 mm, w wyjątkowych przypadkach do 500 mm.
Skąły karbońskie głównie piaskowce i ilowce	Wytrzymałość na ściskanie R_c (N/mm ² , MPa) - piaskowiec: 60 - 200 - ilowiec: 10-80 Uwaga: wypełnienie piaskowcami może wywoływać iskrzenie, co należy wziąć pod uwagę zwłaszcza w przypadku pojawienia się CH ₄
Odpady z przeróbki mechanicznej: piaskowce, ilowce, inne	Średnica do 80 mm, niekiedy do 200 mm. Materiałem o średnicy ziaren 200 mm można wypełnić 74% objętości pustki, pozostałe należy wypełnić materiałem drobniejszym.
Materiały ze zwalów nieprzepalonych oraz przepalonych	Średnica do 100 mm, względnie do 250 mm.
Naturalny kamień (kruszywo naturalne)	Uziarnienie do 125 mm Uwaga: Uważany za najlepszy lecz najdroższy materiał
Piasek	Średnica do 4 mm,
Żużel wielkopieczowy	Fracje o uziarnieniu 0-8 mm, 8-24 mm Uwaga: Przy zawartości w żużlu powyżej 43% CaO występuje niekorzystne zjawisko rozpadu wapniowego lub żelazowego przy zawartości powyżej 3% FeO i 1% S w obu przypadkach masa żużla pęcznieje
Popiół	Materiał o charakterze ryzykownym, możliwość ucieczki materiału, dobry dodatek do cementu
Gruz z rozbiórki obiektów budowlanych (cegła, beton, zaprawa)	Materiał często używany do wypełniania pustek

Tabela 2. Skład chemiczny wód dołowych KWK „Ziemowit”
Table 2. Chemical composition of mine water of KWK “Ziemowit”

Oznaczenie	Jednostka	Woda dołowa KWK „Ziemowit”
odczyn	pH	7,0
chlorki (max)	mg/l	10640
siarczany (max)	mg/l	909
jony amonu	mg/l	3
mangan	mg/l	0,33
potas	mg/l	127
sód	mg/l	5309
wapń	mg/l	362
żelazo	mg/l	0,88

- maczaniu przez okres 7 dni);
- P.1k14, P.2k14, P.3k14 (badanie wymywalności substancji rozpuszczalnych z zastosowaniem wody dołowej po namaczeniu przez okres 14 dni);

Ługowanie zanieczyszczeń z odpadów prowadzi się najczęściej w oparciu o badanie wyciągów wodnych zgodnie z normą PN-Z-15009 (Odpady stałe. Przygotowanie wyciągu wodnego). Metoda polega na wymyciu zanieczyszczeń znajdujących się w badanej próbce odpadów wodą o stopniu czystości 3. Do odważonych próbek dodaje się taką ilość wody destylowanej, aby stosunek suchej masy odpadów do masy wody wynosił 1:10. Badania laboratoryjne obejmują trzy 27-godzinne cykle wymywania, obejmujące ługowanie w warunkach statycznych oraz wytrząsanie. Czynności wymywania składników wykonuje się na tych samych próbkach odpadów 3-krotnie. Wyciągi odsąca się przez sączki o średnicy porów $d = 0,45 \mu\text{m}$ i poddaje analizie chemicznej. Każdy

z wyciągów analizuje się oddzielnie, a następnie sumuje się wyniki uzyskane we wszystkich trzech cyklach wymywania.

Wyniki analizy chemicznej odcieków wodnych zostały przedstawione w tabeli 3 i 4. Wyniki uzyskane metodą wyciągów wodnych, nie odzwierciedlają całkowitej zawartości danego składnika w badanych próbkach, mogącego ulec uruchomieniu w środowisku naturalnym. Pozwalają one jednak na uzyskanie przybliżonej oceny potencjalnego zagrożenia, jakie stwarza dla środowiska dany materiał.

Wymywalność chemiczną odcieków zestawiono z wartościami granicznymi elementów fizykochemicznych stanu wód podziemnych (*Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 11 października 2019 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych Dz.U.2019 poz.2148*). Wyniki zestawiono w tabeli 5 i 6.

Tabela 3. Wartość pH oraz wymywalność zanieczyszczeń chemicznych z odpadu pogórnego, żużla wielkopiecowego i stalowniczego z wodą destylowaną

Table 3. pH value and leachability of chemical pollutants from mining waste, blast furnace and steel slag with distilled water

Oznaczenie	Jednostka	Odciek P.1d	Odciek P.2d	Odciek P.3d
odczyn	pH	7.6	7.7	7.6
azot amonowy	mg/l	0.93	0.72	0.5
chlorki	mg/l	96.1	118	14.6
OWO	mg/l	5.1	3.1	2.4
siarczany	mg/l	42.8	110	291
suma Cl+SO ₄	mg/l	139	228	306
jony amonu	mg/l	1.2	0.93	0.64
chrom	mg/l	0.004	0.0032	<0.003
cynk	mg/l	0.19	0.11	0.12
kadm	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001
mangan	mg/l	0.038	0.022	0.028
miedź	mg/l	0.016	0.0094	0.0053
nikiel	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005
ołów	mg/l	0.018	<0.005	<0.005
potas	mg/l	89.4	113	10.4
sód	mg/l	12.6	18.2	80.9
wapń	mg/l	15.7	23.6	32.1
żelazo	mg/l	0.92	0.11	0.036

Tabela 4. Wartość pH oraz wymywalność zanieczyszczeń chemicznych z odpadu pogórnego, żużla wielkopiecowego i stalowniczego z wodą dołową

Table 4. pH value and leachability of chemical pollutants from mining waste, blast furnace and steel slag with mine water

Oznaczenie	Jednostka	Odciek P.1k	Odciek P.2k	Odciek P.3k	Odciek P.1k7	Odciek P.2k7	Odciek P.3k7	Odciek P.1k14	Odciek P.2k14	Odciek P.3k14
odczyn	pH	7.6	7.6	7.6	7.5	7.7	7.7	7.7	7.8	7.7
azot amonowy	mg/l	11	12	11	9.3	8.5	9.3	10	11	10
chlorki	mg/l	47100	49300	49000	47500	44400	48900	47400	49600	48600
OWO	mg/l	5.1	4.9	5.3	5.1	5.2	5.9	4.3	4.7	5.4
siarczany	mg/l	2490	2490	2630	2430	2460	2980	2340	2600	2940
suma Cl+SO ₄	mg/l	49600	51800	51600	49900	46900	51900	49700	52200	51500
jony amonu	mg/l	14	15	14	12	11	12	13	14	13
chrom	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
cynk	mg/l	0.27	0.32	0.69	0.28	0.28	0.17	0.55	0.59	0.33
kadm	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.0082
mangan	mg/l	1.18	1.63	2.22	0.88	0.65	2.59	0.43	0.25	1.43
miedź	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
nikiel	mg/l	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.03	<0.03	<0.03	0.041
ołów	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
potas	mg/l	447	450	465	437	463	482	490	502	534
sód	mg/l	24700	26000	25700	25100	24200	26000	25600	26000	25700
wapń	mg/l	1780	1920	1870	1860	1730	1890	1970	1910	1930
żelazo	mg/l	0.053	0.042	0.014	0.062	0.044	0.1	0.069	0.1	0.088

Tabela 5. Wymywalność chemiczna odcieków z zastosowaniem wody destylowanej w porównaniu z wartościami granicznymi elementów fizykochemicznych stanu wód podziemnych

Table 5. Chemical leachability of leachate with distilled water compared to the limit values of the physicochemical elements of groundwater status

Oznaczenie	Jednostka	Odciek P.1d	Odciek P.2d	Odciek P.3d	Wartości graniczne dla wód podziemnych Dz.U.2019 poz.2148
odczyn	pH	7.6	7.7	7.6	<6,5 do >9,5
chlorki	mg/l	96.1	118	14.6	500
OWO	mg/l	5.1	3.1	2.4	20
siarczany	mg/l	42.8	110	291	500
jony amonu	mg/l	1.2	0.93	0.64	3
chrom	mg/l	0.004	0.0032	0.003	0.1
cynk	mg/l	0.19	0.11	0.12	2
kadm	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	0.01
mangan	mg/l	0.038	0.022	0.028	1
miedź	mg/l	0.016	0.0094	0.0053	0.5
nikiel	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	0.1
olów	mg/l	0.018	<0.005	<0.005	0.1
potas	mg/l	89.4	113	10.4	20
sód	mg/l	12.6	18.2	80.9	300
wapń	mg/l	15.7	23.6	32.1	300
żelazo	mg/l	0.92	0.11	0.036	10
Przekroczenie wartości granicznych dla wód podziemnych Dz.U.2019 poz.2148					

Tabela 6. Wymywalność chemiczna odcieków z zastosowaniem wody dołowej w porównaniu z wartościami granicznymi elementów fizykochemicznych stanu wód podziemnych

Table 6. Chemical leachability of leachate with mine water compared to the limit values of the physicochemical elements of groundwater status

Oznaczenie	Jednostka	Odciek P.1k	Odciek P.2k	Odciek P.3k	Odciek P.1k7	Odciek P.2k7	Odciek P.3k7	Odciek P.1k14	Odciek P.2k14	Odciek P.3k14	Wartości graniczne dla wód podziemnych Dz.U.2019 poz.2148
odczyn	ph	7.6	7.6	7.6	7.5	7.7	7.7	7.7	7.8	7.7	<6,5 do >9,5
chlorki	mg/l	47100	49300	49000	47500	44400	48900	47400	49600	48600	500
OWO	mg/l	5.1	4.9	5.3	5.1	5.2	5.9	4.3	4.7	5.4	20
siarczany	mg/l	2490	2490	2630	2430	2460	2980	2340	2600	2940	500
jony amonu	mg/l	14	15	14	12	11	12	13	14	13	3
chrom	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.1
cynk	mg/l	0.27	0.32	0.69	0.28	0.28	0.17	0.55	0.59	0.33	2
kadm	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.0082	0.01
mangan	mg/l	1.18	1.63	2.22	0.88	0.65	2.59	0.43	0.25	1.43	1
miedź	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.5
nikiel	mg/l	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.03	<0.03	<0.03	0.041	0.1
olów	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.1
potas	mg/l	447	450	465	437	463	482	490	502	534	20
sód	mg/l	24700	26000	25700	25100	24200	26000	25600	26000	25700	300
wapń	mg/l	1780	1920	1870	1860	1730	1890	1970	1910	1930	300
żelazo	mg/l	0.053	0.042	0.014	0.062	0.044	0.1	0.069	0.1	0.088	10
Przekroczenie wartości granicznych dla wód podziemnych Dz.U.2019 poz.2148											

4. Analiza wyników badań

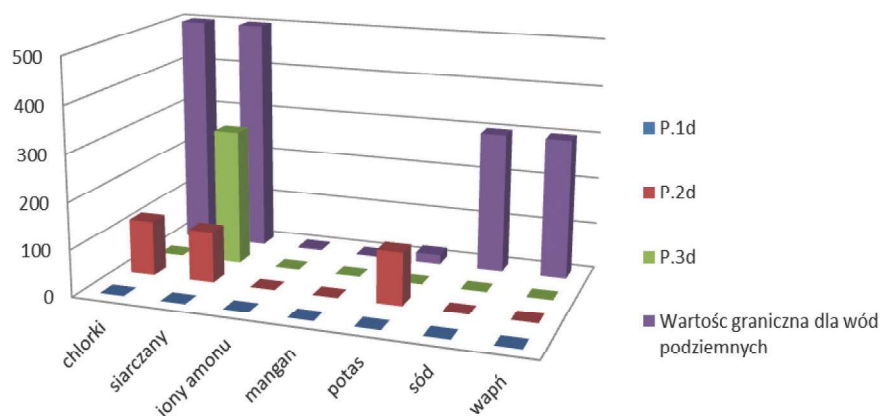
Wymywalność zanieczyszczeń wodą destylowaną (Rys. 1.) w badanych materiałach zasypowych wykazuje odczyn zasadowy (pH= 7,6 dla P.1d i P.3d, dla P.2d pH=7,7), ale mieści się on w granicach dopuszczalnych dla wód podziemnych.

Stwierdzono przekroczenie granicznej zawartości potasu dla żużla wielkopieczowego (89.4 mg/l) i żużla stalowniczego (113 mg/l). Odcieki wodne nie wykazują podwyższenia zawartości pozostałych składników chemicznych.

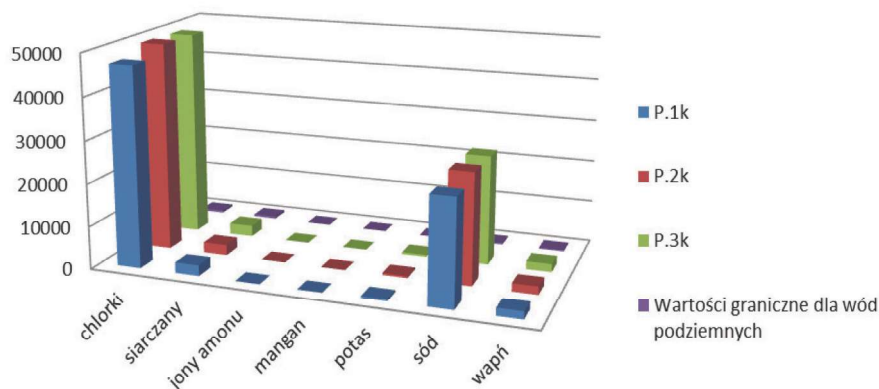
Przeprowadzone analizy wymywalności z zastosowaniem wody dołowej w odpadzie pogórnym, żużlu stalowniczym i wielkopieczowym wykazują odczyn zasadowy (pH waha się od 7,5 do 7,8). Stwierdzono wysokie wartości chlorków i siarczanów, które są wskaźnikami zasolenia wód dołowych. Ponadto występują wysokie stężenia sodu, wapnia, potasu i jonu amonu. Nieznacznie podwyższona jest zawartość manganu.

Na rysunku 2. przedstawiono wyniki badań P.1k, P.2k, P.3k (badanie wymywalności substancji rozpuszczalnych z za-

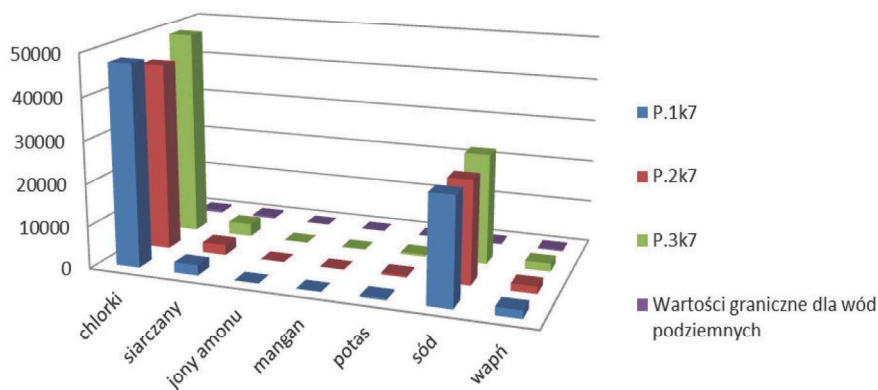
Wymywalność zanieczyszczeń wodą destylowaną



Rys. 1. Wymywalność zanieczyszczeń wodą destylowaną
Fig. 1. Leachability of contaminants with distilled water



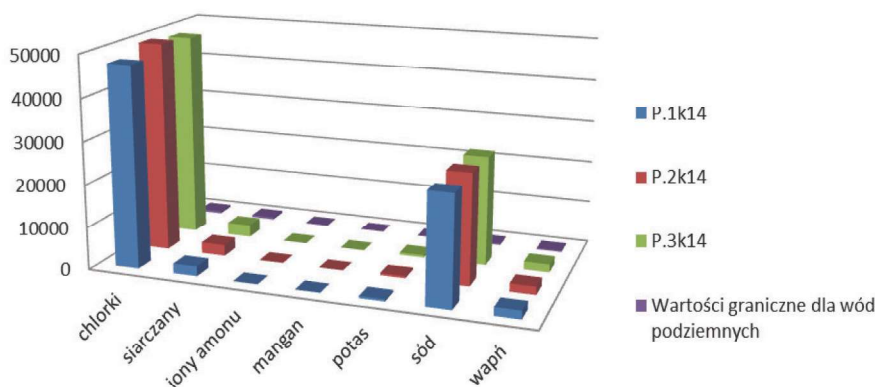
Rys. 2. Wymywalność zanieczyszczeń z zastosowaniem wody dołowej
Fig.2. Leachability of contaminants with mine water



Rys. 3. Wymywalność zanieczyszczeń z zastosowaniem wody dołowej po namoczeniu przez 7 dni
Fig. 3. Leachability of contaminants with the use of mine water after soaking for 7 days

stosowaniem wody dołowej); na rysunku 3.: P.1k7, P.2k7, P.3k7 (badanie wymywalności substancji rozpuszczalnych z zastosowaniem wody dołowej po namoczeniu przez okres 7 dni); oraz na rysunku 4. próbki: P.1k14, P.2k14, P.3k14 (badanie wymywalności substancji rozpuszczalnych z zastosowaniem wody dołowej po namoczeniu przez okres 14 dni);

Wszystkie przeprowadzone analizy z zastosowaniem wody dołowej wykazują wysoką mineralizację odcieków, związaną z obecnością chlorków, siarczanów, jonu amonu, sodu, wapnia i potasu. Wśród mikroelementów stwierdza się podwyższone stężenie manganu.



Rys. 4. Wymywalność zanieczyszczeń z zastosowaniem wody dołowej po namoczeniu przez 14 dni.
Fig. 4. Leachability of contaminants with the use of mine water after soaking for 14 days

Porównując oznaczenia chemiczne wody dołowej pobranej z KWK „Ziemowit” z wynikami badań przeprowadzonymi w GIG, można stwierdzić, że duże zasolenie wód kopalnianych ma wpływ na rozpuszczanie składników znajdujących się w materiałach zasypowych. Rozpuszczanie tych składników powoduje zanieczyszczenie wód podziemnych.

5. Podsumowanie i wnioski

Agresywne środowisko wód kopalnianych w istotny sposób może wpływać na parametry fizykochemiczne stosowanych materiałów zasypowych, powodując wymywanie substancji łatwo rozpuszczalnych w wodzie.

Zachodzące reakcje chemiczne w materiałach zasypowych z wodą dołową powodują zwiększenie zawartości łatwo rozpuszczalnych soli (chlorków i siarczanów, jak również zmian pH). Wymywalność związków chemicznych z odpadów pogórnich, żużla stalowniczego i wielkopieczowego z wodą kopalnianą jest znacznie większa w porównaniu z wymywalnością związków chemicznych z zastosowaniem wody destylowanej. Ze względu na dużą zawartość związków wapnia następować może silny wzrost odczynu pH. W wodzie dołowej stwierdzono również duże ilości manganu. Chlorki są w większości łatwo rozpuszczalne w wodzie. Znaczny ich wzrost zawartości może świadczyć o zanieczyszczeniu wód. Siarczany są anionem powszechnie występującym w wodach. Dostają się do wód wskutek wymywania skał.

Skład chemiczny wód podziemnych jest efektem współdziałania wielu czynników i procesów zachodzących w określonych warunkach środowiska hydrogeochemicznego. Podstawową rolę w kształtowaniu składu chemicznego wód podziemnych odgrywają procesy rozpuszczania.

W odciekach wodnych stwierdzono również podwyższone wartości jonu amonu.

Wyniki badań wykazują negatywny wpływ odcieków wodnych pochodzących z materiałów zasypowych do likwidacji szybów na zanieczyszczenie wód podziemnych.

Reasumując, nasuwają się następujące wnioski:

1. Dotychczas przeprowadzone badania wykazały, że odpad pogórnicy, żużel stalowniczy i wielkopieczowy z punktu widzenia wymywalności z wodą destylowaną spełniają warunki odnośnie granicznych wartości dla wód podziemnych.
2. Ocieki wodne (z zastosowaniem wody dołowej) badanych materiałów zasypowych zawierają znaczne stężenie sodu, potasu, wapnia, jonu amonowego, chlorków oraz siarczanów wielokrotnie przekraczając najwyższe dopusz-

czalne ich zawartości określone dla wód podziemnych (Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 11 października 2019 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych Dz.U.2019 poz.2148).

3. Wymywalność substancji rozpuszczalnych zawartych w badanych materiałach z kopalnianą wodą dołową z KWK Ziemowit wykazują, że duże zasolenie wód może mieć wpływ na agresywne rozpuszczanie i wymywanie związków chemicznych, co powoduje zanieczyszczenie wód podziemnych.
4. Wartość pH w ekstraktach wodnych z badanych materiałów przy stosowaniu wody destylowanej wahała się w granicach 7,6 - 7,7. W przypadku wody dołowej 7,5 - 7,8. Zmiana wartości pH ma wpływ na wymywalność substancji rozpuszczalnych zawartych w badanych materiałach.
5. Stosowanie odpadów pogórnich, żużli stalowniczych i wielkopieczowych do likwidacji szybów górniczych może mieć negatywny wpływ na jakość wód dołowych, dlatego proponuje się pobieranie próbek wód podziemnych w rejonie, w którym stosowane będą badane materiały zasypowe.

Acknowledgements

Praca opublikowana w ramach projektu międzynarodowego TEXMIN współfinansowanego w ramach Funduszu Badawczego Węgla i Stali (RFCS), umowa Grant Agreement nr 847250 oraz ze środków programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pn. „PMW” w latach 2019-2023, umowa nr 5042/FBWiS/2019/2”.

Literatura

- BOLEWSKI A., TURNAU-MORAWSKA M. 1963 - Petrografia, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.
- CAŁUS MOSZKO J., BOCK S., PRUSEK S. 2015 - Badania degradacji ziarnowej wybranych materiałów zasypowych do likwidacji szybów górniczych. „Przeгляд Górnicy” nr 6, s. 42-49.
- CHUDEK M., JANICZEK S., PLEWA F. 2001 - Materiały w budownictwie geotechnicznym. T.III, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- CZAJA P., KOHUTEK Z. 1994 - Konstrukcyjne aspekty likwidacji szybów. VI Sympozjum – Wybrane problemy eksploatacji złóż na dużych głębokościach. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej.
- CZAJA P. 2009 - Ocena rozwiązań projektowych likwidacji szybów zastosowanych w procesie restrukturyzacji polskiego górnictwa węglowego. „Górnictwo i Geoinżynieria”, 33, z. 3/1.
- CZAJA P. 2010 - Ocena rozwiązań projektowych likwidacji szybów zastosowanych w procesie restrukturyzacji polskiego górnictwa węglowego. „Budownictwo Górnicze i Tunelowe” nr 3, s. 37-52.

- KURDOWSKI W. 2010 - Chemia cementu i betonu. SPC, Warszawa.
- PLEWA F., KLETA H. 2001 - Zastosowanie odpadów energetycznych do likwidacji wyrobisk górniczych w kopalniach metanowych. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Górnictwo, z. 250, s. 175-185.
- PLEWA F. i in. 2011 - Wykorzystanie materiałów z udziałem odpadów energetycznych do likwidacji zapadlisk wywołanych działalnością górniczą. „Polityka Energetyczna” t. 14, z. 2, s. 325-334.
- PATZKE D., SCHNEIDER M. 1991 - Inertsierung beim Verfüllen tiefer Tagesschachte. Glückauf nr 7-8.
- PLEWA F., KLETA H. 2005 - Analiza możliwych koncepcji likwidacji szybów z uwzględnieniem zagrożeń naturalnych i uwarunkowań powierzchniowych w świetle bezpieczeństwa powszechnego wraz z realizacją zadania pt: Projekt techniczny likwidacji szybu „Fortuna I” wraz z opracowaniem technologii prowadzenia prac oraz kosztorysu inwestorskiego. Fundacja „Nauka i Tradycje Górnicze”.
- PLEWA F., POPCZYK M., PIERZYNA P. 2010 - Wykorzystanie UPS z kół fluidalnych do likwidacji szybów w górnictwie węgla kamiennego. „Polityka Energetyczna” t. 13 (2), s. 374-384.
- PLEWA F. i in. 2011 - Wykorzystanie materiałów z udziałem odpadów energetycznych do likwidacji zapadlisk wywołanych działalnością górniczą. „Polityka Energetyczna” t. 14, z. 2, s. 325-334.
- PRUSEK S., BOCK S., SZYMAŁA J., CAŁUS MOSZKO J. 2012 - Underground and laboratory tests of filling materials used for shafts closure. 3rd International Conference on Shaft Design and Construction, London.
- PRUSEK S., CAŁUS MOSZKO J., BUKOWSKI P. 2014 - Laboratory tests of filtration coefficient of selected materials used in liquidating shafts in collieries. Journal of Mining Science, Vol. 50, Nr 2, s. 265-276.
- SKARŻYŃSKA K.M. 1997 - Odpady powęglowe i ich zastosowanie w inżynierii ładowej. Wydawnictwo AR w Krakowie, Kraków.
- STAŁĘGAS, GOLEC D, MROWIEC Z, GUZIK P. 1997 - Zasady likwidacji szybów i wyrobisk przyszybowych w kopalniach węgla kamiennego. Poradnik techniczny. GIG Katowice – Seria: Instrukcja, nr 6.
- STOBIŃSKI J. 1992 - Likwidacja szybów. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie” nr 3.
- Rozporządzenie** Ministra Energii w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. poz. 1118 z 2017 r.).
- Rozporządzenie** Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla

środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych (Dz.U. 2019 poz. 1311).

Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 11 października 2019 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (Dz.U.2019 poz.2148)

ZYDRON T. i in. 2008 - Badania parametrów zagęszczalności gruboziarnistego kruszywa z żużla wielkopiecowego”. „Górnictwo i Geoinżynieria” R. 32, s. 381-389.

Artykuł wpłynął do redakcji w styczniu 2022 r.
Artykuł akceptowano do druku 28.03.2022 r.

Joanna CAŁUS MOSZKO, dr inż. adiunkt w Zakładzie Monitoringu Środowiska, kierownik Laboratorium Przeróbki Kopalni i Gospodarki Odpadami w Głównym Instytucie Górnictwa, e-mail: jmoszko@gig.eu Specjalista w zakresie mechanicznej przeróbki surowców mineralnych i gospodarki odpadami

Agnieszka KLUPA, dr inż. adiunkt w Zakładzie Monitoringu Środowiska, Laboratorium Przeróbki Kopalni i Gospodarki Odpadami w Głównym Instytucie Górnictwa, e-mail: akupa@gig.eu. Specjalista w zakresie zagadnień związanych z identyfikacją składu chemicznego i mineralnego z wykorzystaniem technik mikroskopowych.

Małgorzata Markowska, mgr Zakład Ochrony Wód GIG, mmarkowska@gig.eu, specjalizuje się w tematyce zrównoważonego rozwoju, sprawiedliwej transformacji oraz ekoinnowacji. Wieloletnie doświadczenie w działaniach na rzecz innowacyjnego rozwoju w województwie śląskim, a także analizach w zakresie zagospodarowania przestrzennego, gospodarki wodnej i rewitalizacji. Koordynator projektu TEXMIN (Wpływ ekstremalnych zjawisk pogodowych na działalność górniczą).