

Zbigniew Mirkowski, Jarosław Badera

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi

ODPADY GÓRNICICTWA WĘGLA KAMIENNEGO, ZAGROŻENIA i OCHRONA ŚRODOWISKA – PRZEGLĄD LITERATURY

1. Wstęp

Wydobywanie węgla kamiennego oraz jego przeróbka wiążą się z powstawaniem znacznej ilości odpadów mineralnych. Spadek wydobycia węgla kamiennego w Polsce oraz wdrażane na kopalniach programy minimalizacji wytwarzanych odpadów powodują, że ilość powstających odpadów systematycznie spada z 50-60 mln ton w latach 90-tych do 33,7 mln ton obecnie (GUS, 2013, Galos, Szlugaj, 2014). Mimo to górnictwo węgla kamiennego wciąż pozostaje jednym z największych wytwórców odpadów przemysłowych w Polsce. Większość odpadów powstaje na Górnym Śląsku, a jedyna kopalnia w Lubelskim Zagłębiu Węglowym – Bogdanka – wytwarza ich 4,7 mln ton rocznie. Większość odpadów (28,6 mln t) została poddana odzyskowi, co nie oznacza jeszcze ich gospodarczego wykorzystania. Większość z tych odpadów poddano odzyskowi poprzez tworzenie „budowli krajobrazowych”, jak od jakiegoś czasu niektórzy określają składowiska odpadów górniczych.

Tak czy inaczej, część odpadów deponowana jest na powierzchni terenu oddziałując negatywnie na szeroko rozumiane środowisko. Zajmowane są nowe obszary, z czym wiąże się zmiana ukształtowania powierzchni terenu, a forma jej dotychczasowego użytkowania ulega względnie trwałej zmianie. Zanieczyszczone zostaje lokalne środowisko wodne, gleby, w wyniku okresowego pylenia także powietrze. Pośrednio oddziaływania te mogą przenosić się na organizmy żywe (por. Pietrzyk, Sokulska, 1995). W świadomości mieszkańców składowiska odpadów zagrażają jakości ich życia, a hałas i inne oddziaływania towarzyszące pracy urządzeń stanowią subiektywną uciążliwość (Sokół, Tabor, 1996). Potencjalne oddziaływania zaznaczają się także w odniesieniu do wszystkich form ochrony przyrody, stanowiąc przedmiot zainteresowania organizacji ekologicznych. Tak więc dążyć należy do eliminacji lub ograniczenia wszelkich potencjalnych oddziaływań w duchu zrównoważonego rozwoju – zarówno w skali lokalnej, regionalnej, jak i ogólnokrajowej.

Celem niniejszego opracowania jest przegląd dostępnej literatury i opracowań w zakresie oddziaływania odpadów powęglowych oraz metod ich minimalizacji. Skupiono się na pracach dotyczących problematyki krajowej, ze szczególnym uwzględnieniem Lubelskiego

Zagłębia Węglowego (LZW), natomiast informacje bibliograficzne o publikacjach autorów zagranicznych potraktowano jako uzupełnienie. Tym niemniej stwierdzić należy, że to właśnie w Polsce badania nad odpadami powęglowymi prowadzone są na szczególnie dużą skalę, a ich wyniki prezentowane są w renomowanych czasopismach naukowych. Jest to rezultatem większego znaczenia węgla kamiennego dla krajowej energetyki w porównaniu z innymi krajami Europy, przy jednocześnie podobnych uwarunkowaniach geologicznych, techniczno-ekonomicznych, przestrzenno-środowiskowych i prawnych. Z kolei u pozaeuropejskich producentów węgla kamiennego uwarunkowania te są na ogół wyraźnie odmienne.

Opracowanie to nie jest również wyczerpującym kompendium wiedzy. Jego celem jest głównie zasygnalizowanie źródeł, w oparciu o które można pogłębiać zainteresowanie tematem w odniesieniu do poszczególnych, specyficznych zagadnień cząstkowych. Tak więc obszerny spis literatury stanowi ważną część niniejszego opracowania. Z uwagi na znaczną liczbę publikacji skupiono się na pozycjach klasycznych (kamieniach milowych w zakresie badania odpadów), publikacjach najnowszych oraz takich, które w opinii autorów mają największą wartość. Pominięto natomiast wiele pozycji, do których dostęp jest utrudniony lub są one praktycznie nieosiągalne (niektóre materiały konferencyjne, opracowania niepublikowane itp.). Ponadto autorzy ograniczają się do zaprezentowania zasadniczych wniosków zawartych w poszczególnych opracowaniach, nie oceniając poszczególnych publikacji pod względem prawidłowości zastosowanej metodyki, czy zasadności interpretacji – w większości przypadków są to artykuły recenzowane, tak więc kwestie te były już wcześniej weryfikowane przez innych specjalistów.

Zauważyć należy, że większość dostępnych opracowań dotyczy zwałowisk, czyli tzw. obiektów unieszkodliwiania odpadów. Z uwagi na charakter projektu realizowanego przez Towarzystwo dla Natury i Człowieka, autorzy podkreślili także aspekty wykorzystania odpadów do różnorodnych celów poza zwałowiskami – niwelacji terenu, rekultywacji wyrobisk popiaskowych, robót drogowych oraz inżynieryjnych. Tak czy inaczej można założyć, że oddziaływania odpadów na otoczenie są zbliżone niezależnie od formy ich zagospodarowania.

2. Odpady górnictwa węgla kamiennego

2.1. Pochodzenie i klasyfikacje

Z działalnością górnictwa węgla kamiennego nierozdzielnie związane jest generowanie odpadów. Przyjmuje się, iż wydobywaniu jednej tony węgla towarzyszy powstawanie około 400 kg odpadów (Strzyszczyński, Harabin, 2004), a według innych szacunków ilości wytwarzanych odpadów mogą zawierać się w przedziale od 200 do 400 kg (Ostrowski, 2001; Koperski, 2008). Stosunek ilości odpadów do wydobywania węgla w poszczególnych kopalniach jest zróżnicowany, co wynika z odmienności budowy geologicznej oraz technicznych uwarunkowań eksploatacji i przeróbki węgla.

Odpady górnictwa węgla kamiennego ze względu na źródło pochodzenia możemy najogólniej podzielić na górnictwowe i przerobowe. Odpady górnictwowe (wydobywcze sensu stricto) określane mianem dołowych skał płonnych (Ostrowski, 1969) lub odpadów skalnych (Kotowski, 2006), powstają w trakcie prowadzenia robót udostępniających i przygotowawczych. Odpady te charakteryzują się zróżnicowanym składem granulometrycznym w przedziale od 0 do 500 mm, który w dużym stopniu zależy od sposobu urabiania skał i rodzaju stosowanych maszyn górnictwowych (Plewa, 2001). W odpadach górnictwowych ziarna o wielkości do 100 mm stanowią 30-40 % masy, natomiast na ziarna o wielkości powyżej 100 mm przypada aż 60-70 % masy odpadów (Kotowski, 2001). Zróżnicowany jest również skład petrograficzny odpadów górnictwowych, szczególnie pochodzących z robót udostępniających, które zwykle zawierają wszystkie rodzaje skał karbońskich (Plewa, 2001).

Odpady przerobowe to grupa odpadów powstających (w przeciwieństwie do odpadów górnictwowych) na powierzchni, związanych z procesami wzbogacania węgla kamiennego. Odpady te stanowią około 94 % ogólnej masy odpadów górnictwa węgla kamiennego (Rosik-Dulewska, 2006) Odpady przerobowe możemy podzielić na kilka grup w zależności od zastosowanej technologii wzbogacania:

- odpady ze wzbogacania ręcznego,
- odpady z osadzarek wodnych,
- odpady ze wzbogacalników z cieczą ciężką,
- odpady poflotacyjne (z flotacji mułów),
- odpady mułowe (Ostrowski, 2001; Kotowski, 2006).

Odpady przeróbcze można również klasyfikować na podstawie uziarnienia, co również nawiązuje do technologii wzbogacania węgla:

- odpady gruboziarniste – pochodzące ze wzbogacania w płuczkach cieczy ciężkiej (wzbogacalnikach zawieszinowych) lub ze wzbogacania ręcznego,
- odpady drobnoziarniste – powstające podczas wzbogacania w osadzarkach wodnych-miałowych,
- odpady flotacyjne (bardzo drobnoziarniste) – powstające w trakcie flotacji najdrobniejszych frakcji urobku węglowego (Rosik-Dulewska, 2006).

Wzbogacanie węgla kamiennego jest obecnie powszechnie stosowanym procesem w praktycznie wszystkich zakładach górniczych, mającym na celu stworzenie produktu odpowiadającego wymaganiom odbiorcy głównie w zakresie wartości opałowej oraz zawartości popiołu i siarki. Węgiel surowy (niewzbogacony) często nie spełnia tych wymagań i zmusza do dostosowania jakości węgla poprzez usunięcie ziarn skał płonnych, piritów lub piasku z podsadzki hydraulicznej. Obecność skał płonnych w obrębie urobku węglowego wynika najczęściej z: występowania przerostów łupków ilastych i węglowych w obrębie pokładu węgla, przybierek skał stropowych i spągowych lub obrywów skał stropowych w trakcie urabiania pokładu węgla. W procesie wzbogacania węgla wykorzystuje się różnice w gęstości ziarn czystego węgla i ziarn skał płonnych oraz piritów, stąd określenie metod wzbogacania mianem grawitacyjnych (Blaschke, 2009).

W zakładach wzbogacania węgiel surowy początkowo poddawany jest wstępnej klasyfikacji i rozdzieleniu na dwie klasy ziarnowe – powyżej i poniżej 20 mm. Węgiel o uziarnieniu powyżej 20 mm poddawany jest wzbogacaniu w cieczach ciężkich, stanowiących zawiesinę wodną z bardzo drobno zmielonym magnetytem (obciążnik), co zwiększa ciężar właściwy cieczy do 1,8 g/cm³. Wzbogacanie przeprowadza się w płuczkach ziarnowych, wykorzystujących najczęściej wzbogacalniki zawieszinowe Disa . W wyniku wzbogacania uzyskuje się najczęściej dwa produkty koncentrat węglowy i gruboziarniste odpady (Poznański, 2004). W kopalni Bogdanka ze względu na duży udział skał ilastych i ich znaczną rozmywalność uzyskuje się jeszcze dodatkowo produkt pośredni, który jest kierowany do dalszego wzbogacania w płuczce miałowej (Bieńko, 2004)

Węgiel surowy o uziarnieniu poniżej 20 mm poddawany jest wzbogacaniu w osadzarkach (płuczkach) miałowych wykorzystujących zwykłą wodę. Proces przeprowadza się najczęściej w osadzarkach pulsacyjnych w systemie dwuproduktowym – koncentrat miałowy i odpad drobnoziarnisty lub trójproduktowym z produktem pośrednim, kierowanym do powtórnego wzbogacania. W Zakładzie Wzbogacania i Odsiarczania Miałów Węglowych

(Tauron Wydobycie S.A.) dodatkowo płukaniu we wzbogacalnikach spiralnych poddaje się klasę ziarnową 2,0-0,1 mm, uzyskując koncentrat węglowy dodawany do wzbogaconych miałów, a odpad jest wykorzystywany w prewencji przeciwpożarowej w wyrobiskach górniczych (Poznański, 2004). Woda wykorzystana w procesie wzbogacania trafia do osadników Dorra, gdzie następuje sedymentacja zawiesiny. Po wstępnym odwodnieniu uzyskuje się bardzo drobnoziarnisty osad (poniżej 1 mm), stanowiący mieszaninę ziarn węgla i skał płonnych, określany mianem muł węglowy.

Najdrobniejsze klasy ziarnowe węgla można wzbogacać wykorzystując proces flotacji, bazujący na różnicach własności fizyko-chemicznych (powierzchniowych) ziarn węgla i skał płonnych. Wzbogacanie określane jako flotacja pianowa jest przeprowadzane w pneumo-mechanicznych maszynach flotacyjnych z użyciem środków pianotwórczych. Do flotacji kierowana jest klasa ziarnowa poniżej 5 mm pochodząca z odwadniania produktów wzbogacania (miałów węglowych) z płuczek osadzarkowych. W wyniku flotacji uzyskuje się dwa koncentraty węglowe o zróżnicowanym zapopieleniu oraz odpady flotacyjne, które po zagęszczeniu i ewentualnie odwodnieniu są zagospodarowywane przez kopalnie. W zakładach wzbogacania węgla w Polsce proces flotacji jest stosowany tylko w przypadku węgla koksujących (Kowalczyk, Strzelec, 2004; Nycz, Zieleźny, 2004).

W pojawiających się klasyfikacjach odpadów górnictwa węgla kamiennego wyróżniane są także inne grupy odpadów. W. Kotowski (2006) wydzielił dodatkowo odpady z procesu odzysku węgla z odpadów, jednak odpady te w zasadzie niewiele różnią się od opisywanych powyżej odpadów przeróbczych. Proces odzysku odbywa się poza kopalniami przez firmy stosujące analogiczne technologie wzbogacania (np. Haldex S.A.), a zasadnicza różnica dotyczy nadawy kierowanej do wzbogacania, którą stanowią odpady górnicze lub muły węglowe z płuczek miałowych (Kucharzyk., 2004). W innych klasyfikacjach (Ostrowski, 2001) wyróżniane są także odpady wtórne przetworzone, powstające między innymi w wyniku spalania węgla, jednak odpady te powszechnie zaliczane są do ubocznych produktów spalania (odpady elektrowniane) i nie powinny być łączone z górnictwem węgla kamiennego.

Można przytoczyć jeszcze jedną klasyfikację odpadów, która odnosi się do czasu przebywania odpadów w środowisku i uwzględnia zmiany fizyko-chemiczne odpadów w trakcie składowania:

- świeże – do 6 miesięcy,
- względnie świeże – od 6 miesięcy do 1 roku,

- częściowo zwietrzałe – od 1 roku do 3 lat,
- zwietrzałe – od 3 do 15 lat,
- bardzo zwietrzałe – od 15 do 30 lat i dłużej (Skarżyńska, 1997).

2.2. Skład petrograficzny, mineralny i chemiczny

Podstawowym źródłem pochodzenia odpadów górnictwa węgla kamiennego w Polsce są skały budujące wraz z pokładami węglowymi górnokarbońskie serie węglonośne Dolnośląskiego, Górnośląskiego i Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Pod względem litologicznym są to klastyczne skały osadowe zaliczane głównie do iłowców, mułowców, i piaskowców, a w mniejszym stopniu do zlepieńców. Udział typów skał w seriach poszczególnych zagłębi węglowych jest różny. Generalizując stwierdzić można, że w Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym dominują mułowce oraz skały gruboklastyczne, czyli piaskowce i zlepieńce, w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym występują iłowce, mułowce i piaskowce, natomiast w Lubelskim Zagłębiu Węglowym przeważają mułowce i iłowce (Konstantynowicz, 1994). Osady węglonośne charakteryzują się bardzo dużą zmiennością, a zatem występowanie poszczególnych typów skał może być zróżnicowane w profilu pionowym oraz lateralnie, co przekłada się na różnice w składzie petrograficznym wytwarzanych odpadów (Strzyszczyński, Harabin, 2004).

Skały ilaste są poza piaskowcami najważniejszymi skałami w utworach karbonu węglonośnego i występują we wszystkich seriach litostratygraficznych (Kuhl, 1955). W niektórych warstwach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego skały ilaste nawet mogą dominować nad piaskowcami, a w utworach Lubelskiego Zagłębia Węglowego udział skał ilastych w większości profili może przekraczać 60 % (Kozłowski, 1984). Skały ilaste zwykle towarzyszą występowaniu pokładów węglowych, stanowiąc bardzo często ich bezpośrednie utwory stropowe i spągowe. Następstwem tej prawidłowości jest ich bardzo wysoki udział w odpadach górnictwa węgla kamiennego (około 70 %) i dominacja w odpadach przerobczych (Rosik-Dulewska, 2006). Pod względem składu mineralnego skały ilaste odznaczają się dużą zmiennością, a do najczęściej spotykanych zaliczamy iłowce kaolinitowe (łupki ilaste), iłowce kaolinitowo-illitowe (łupki plastyczne) i kaolinitowo-serycytowo-kwarcowe (łupki ilasto-piaszczyste). Dodatkowo skały ilaste mogą się charakteryzować zróżnicowanym stopniem zapiaszczenia, obecnością węgla i szczątków flory karbońskiej oraz obecnością kongrecji syderytowych (Kozłowski, 1984). W zależności od składu mineralnego i stopnia

zdiagnozowania skały ilaste mają różne cechy fizyczne i technologiczne (Rosik-Dulewska, 2006), co jest istotne w aspekcie ich składowania i gospodarczego wykorzystania.

Odrębną grupą skał ilastych są łupki węglowe i iłowce węgliste zbudowane z materii węglowej i mineralnej, stanowiące ogniwo przejściowe między węglem, a skałą płonną. W utworach karbonu górnego występują również skały ilaste pochodzenia wulkanicznego takie jak tonsteiny, łupki szlifierskie i bentonity.

Mułowce, zwane w górnictwie łupkami piaszczystymi zbudowane są z ziarn mineralnych o wielkości od 0,005 do 0,1 mm. W składzie mineralnym dominuje kwarc (40-60 %), a resztę stanowią skalenie, łyszczki, chloryty, kaolinit i minerały węglanowe. Wyróżniamy dwie odmiany mułowców: mułowce normalne oraz mułowce syderytyczne, zawierające większe ilości węglanów w postaci syderytu i ankerytu, co przekłada się na wzrost własności fizyko-mechanicznych (Kuhl, 1955). Mułowce lokują się głównie w odpadach przeróbczych, lecz ich udział nie przekracza 40 % (Rosik-Dulewska, 2006).

Piaskowce to skały, w których ziarna zasadniczego składnika mają wielkość od 0,1 do 2,0 mm. Występują głównie dwie odmiany piaskowców: kwarcowe, których podstawowym budulcem są ziarna kwarcu oraz arkozowe, składające się z ziarn skaleni. Mogą również występować piaskowce arkozowo-szarogłazowe i szarogłazowe, w których pojawiają się ziarna skał magmowych lub metamorficznych. Spoiwo w piaskowcach może być ilaste (kaolinitowe), węglanowe lub krzemionkowe. Od rodzaju spoiwa w głównej mierze zależą własności fizyko-mechaniczne piaskowców (Kuhl, 1955). Udział piaskowców w odpadach górnictwa węgla kamiennego zawiera się w granicach 13-15 % (Rosik-Dulewska, 2006). W utworach węglonośnych występują także zlepnieńce (żwirowce) oraz w niewielkich ilościach skały węglanowe (skały syderytowe, margle, wapienie piaszczyste), lecz ich udział w odpadach jest niezauważalny.

Skład mineralny odpadów górnictwa węgla kamiennego nawiązuje do udziału poszczególnych skał karbońskich w odpadach. Bezwzględnie dominują minerały ilaste illit (28-82 %) i kaolinit (9-65 %), a w mniejszych ilościach występuje kwarc (3-37 %), chloryt (do 10 %) oraz piryt (Skarżyńska, 1997). Inne siarczki metali (galena – Pb, sfaleryt – Zn, chalkopiryt – Cu, także markasyt – Fe) pojawiają się raczej lokalnie, w ilościach śladowych. W odpadach występują również skalenie potasowe i plagioklasy oraz muskowit (Bzowski, 2013).

Skład chemiczny odpadów górnictwa węgla kamiennego jest odbiciem składu petrograficznego skał karbońskich. W odpadach dominuje krzemionka (SiO_2), której zawartość może wynosić od 34,7 do 66,9 % w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (Rosik-

Dulewska, 2006), i w podobnym zakresie w odpadach kopalni Bogdanka (Kozłowski, 1984; Bzowski, Dawidowski, 2013). Kolejnym istotnym składnikiem jest tlenek glinu (Al_2O_3), którego zawartość może średnio wynosić około 21 %. Z innych komponentów chemicznych odpadów wymienić można: tlenki żelaza (0,9-12,9 %) i tlenek potasu (2,0-4,2 %), a wśród składników o zawartościach sięgających 1-2 % tlenek wapnia, sodu i tytanu. Sposobem oceny zmienności składu chemicznego odpadów jest porównywanie wskaźników obrazujących stosunek zawartości Al_2O_3 do SiO_2 oraz sumy zawartości sodu i potasu w stosunku do zawartości Al_2O_3 (Bojarska, Bzowski, 2012; Bzowski, Dawidowski, 2013; Strugała i in., 2014). Odpady z flotacji węgla dodatkowo zawierają substancje chemiczne stosowane w procesie flotacji (odczynniki flotacyjne) oraz w procesie sedymentacji (flokulanty) (Lutyński, Szpyrka, 2010). Obowiązek prowadzenia badań składu chemicznego odpadów przez kopalnie powoduje, iż dysponujemy ogromną bazą danych, która umożliwia monitorowanie w długim przedziale czasowym właściwości odpadów (Bzowski, 2014). Na podstawie tych wyników można stwierdzić, że odpady nie wykazują istotnych zmian składu chemicznego, a jedynie niewielkie zróżnicowanie można obserwować w przypadku tlenków wapnia i magnezu oraz siarki (Bzowski, Dawidowski, 2013).

W ramach monitoringu odpadów górnictwa węgla kamiennego prowadzone jest także oznaczanie zawartości pierwiastków, których dobór wynika głównie z przepisów i norm dotyczących zagospodarowania odpadów. Z oznaczanych pierwiastków (As, Ba, Cr, Sn, Zn, Cd, Co, Cu, Mo, Ni, Hg) większość występuje w ilościach śladowych od granicy oznaczalności do niecałych 100 mg/kg. Najwyższe wartości są odnotowywane w przypadku baru, którego zawartości kształtują się w zakresie od 270 do 762 mg/kg w odpadach z kopalni Bogdanka (Bzowski i in., 2010), a lokalnie w GZW mogą nawet dochodzić do blisko 3000 mg/kg (Grabowska, Sowa, 1999a). Dla porównania średnia zawartości tego pierwiastka w odpadach z zagłębia Douro (Portugalia) również kształtuje się na poziomie 550 mg/kg¹. Podwyższone wartości w odpadach z Bogdanki wykazują również chrom (do 132 mg/kg) i cynk (do 161 mg/kg), którego większe zawartości (do 332 mg/kg) notuje się w odpadach z GZW (Grabowska, Sowa, 1999a). Z innych pierwiastków śladowych w odpadach z GZW można stwierdzić podwyższone zawartości manganu (do 1360 mg/kg). Badanie obecności rtęci pokazuje, iż zawartości tego toksycznego pierwiastka w odpadach nie przekraczają 0,3 mg/kg, co jest wartością znacznie poniżej dopuszczalnych zawartości (Klojzy-Karczmarczyk, Mazurek, 2014). Interesujące jest występowanie w odpadach wzbogacania węgla tzw.

1 średnie koncentracje innych metali toksycznych w odpadach z tego zagłębia (As – 55; Pb - 39,5; Cd - 0,3) są niewielkie lub kształtują się na poziomie granicznym

pierwiastków krytycznych, czyli pierwiastków o bardzo ograniczonych zasobach – stwierdzono np. ponadklarkowe zawartości berylu, galu i kobaltu (Strugała i in., 2014). W odpadach górnictwa węgla kamiennego stwierdzić można także nieco podwyższone zawartości radioaktywnych izotopów potasu, uranu i toru, których obecność jest związana z występowaniem fosforanów, monocyту i cyrkonu (Michalik, 2006; Rubin, 2005).

Zawartości potasu, wapnia, magnezu, azotu i fosforu w odpadach są ważne dla prowadzenia rekultywacji z użyciem odpadów, szczególnie z zastosowaniem metody bezglebowej (Strzyszczyński, 2004). Zawartość potasu jest odpowiednio wysoka (Bojarska, Bzowski, 2012), natomiast pozostałe pierwiastki występują w ilościach niedostatecznych, szczególnie dotkliwy jest niedobór wapnia (Strzyszczyński, 2004).

Zawartość węgla w odpadach jest zróżnicowana i może wynosić od 1 do ponad 20 % przy zawartości średniej 9,4 %. Obecność węgla stwarza potencjalne zagrożenie aktywnością termiczną odpadów w przypadku ich składowania lub użycia do robót inżynierskich i rekultywacji (Bojarska, Bzowski, 2012).

Procesy wietrzenia zdeponowanych odpadów powodują zmiany w składzie mineralnym, przejawiające się głównie w rozkładzie węglanów i pirytu. Szacuje się, że redukcja pirytu w ciągu kilkunastu lat może sięgać 90 %. Efektem wietrzenia jest również wzrost zawartości chlorytu, który powstaje w wyniku rozkładu skaleni, illitu i mik (Bzowski, Zawiański, 2005; Gwoździwicz, 2012).

Skład mineralny i chemiczny odpadów ulega znacznym modyfikacjom wskutek aktywności termicznej zdeponowanych odpadów. W strefach umiarkowanie przeobrażonych okruchy materiału zachowały pierwotne struktury skał, jednak zmieniło się zabarwienie z szarego i czarnego na ceglaste, co wynika z utlenienia minerałów żelaza i powstania hematytu. Również kaolinit pod wpływem temperatury uległ dehydratacji i przeszedł w metakaolinit. W strefach intensywnie przeobrażonych termicznie materiał skalny uległ spieczeniu i sklejeniu w jednorodną masę. Większość minerałów (minerały ilaste, węglany) uległa termicznym przeobrażeniom lub rozpadowi. Charakterystyczna dla tych stref jest obecność szkliwa. W wyniku resublimacji gazów pożarowych powstają salmiak rodzimy, siarka rodzima oraz związki organiczne (Nowak, 2014).

2.3. Podstawowe formy zagospodarowania

Podstawowe kierunki gospodarczego wykorzystania odpadów to:

- redukcja "u źródła" na etapie projektowania oraz wykonywania robót górniczych,

- odzysk realizowany w kopalni lub na powierzchni oraz
- unieszkodliwianie poprzez składowanie (Góralczyk, Baic, 2009).

Ograniczenie ilości wytwarzanych odpadów kopalnie realizują poprzez dostosowanie maszyn wydobywczych i obudów do mniejszych grubości pokładów oraz ograniczenie przybierek skały płonnej przy prowadzeniu wyrobisk eksploatacyjnych (Gruszka, Pruciak-Karasek, 2011). Odpady górnicze i przeróbcze można zagospodarować na kopalni do podsadzania wyrobisk jako komponent podsadzki pneumatycznej lub hydraulicznej, oczywiście pod warunkiem, że kopalnia posiada instalację podsadzkową. Dodatek odpadów (skruszonej skały płonnej) w ilości rzędu 50 % do podsadzki hydraulicznej nie wpływa na pogorszenie własności podsadzki, wzrasta jedynie ściśliwość podsadzki i opory przepływu, poprawia się natomiast wodoodporność i prędkość sedymentacji (Plewa, 2001; Galos, Szlugaj, 2010). Do podsadzki hydraulicznej kopalnie dozuja popioły ze spalania węgla, można również jako dodatek wykorzystać bardzo drobnoziarniste odpady z flotacji węgla. Drobnoziarniste odpady ze wzbogacania węgla i odpady poflotacyjne można stosować bezpośrednio lub formie mieszanek z materiałem wiążącym w technologiach górniczych, takich jak doszczelnianie zrobów, sporządzanie podsadzki samozestalającej się, likwidację pustek w górotworze, wykonywanie korków i pasów podsadzkowych oraz w profilaktyce przeciwpożarowej. W podsadźce pneumatycznej wykorzystuje się wyłącznie materiał pochodzący z odpadów górniczych, jednak technologia ta obecnie nie jest stosowana (Plewa, 2001).

Powszechnym kierunkiem wykorzystania odpadów jest ich zastosowanie do rekultywacji, niwelacji terenu i likwidacji wyrobisk po eksploatacji surowców skalnych. Odpady wykorzystane do tego rodzaju przedsięwzięć muszą spełniać określone przepisami wymagania w zakresie składu chemicznego (patrz rozdz. 4). Kopalnie masowo zagospodarowują odpady poprzez wypełnianie terenów przekształconych działalnością górniczą (niecki osiadań, zapadliska) oraz do utwardzania powierzchni terenów przeznaczonych do zagospodarowania (Gruszka, Pruciak-Karasek, 2011). Istotnym warunkiem wykorzystania odpadów do rekultywacji i niwelacji jest minimalizacja zjawisk termicznych związanych z procesami utleniania substancji węglowej i pirytu. Brak jednoznacznych wytycznych w tym zakresie dla tych form zagospodarowania odpadów sprawia, że dla każdego obiektu należy określać indywidualne warunki techniczne (Dulewski i in., 2010). Podstawą profilaktyki przeciwpożarowej jest deponowanie odpadu warstwami i zagęszczanie (Tabor i in., 1995; Bieczek, 2007a). Ponadto zaleca się wykorzystanie odpadów elektrownianych (popioły lotne, żużle, mieszaniny popiołowo-żużłowe, odpady z odsiarczania

spalin) w formie ekranów w bryle odpadów lub rozproszanie rowami chłonnymi (Durczyński, Urbański, 1996; Bieczek, 2007b). Zastosowanie odpadów z elektrowni ogranicza również ługowanie odpadów i migrację zanieczyszczeń do wód gruntowych (Tabor i in., 1995). W celu poprawy zagęszczenia odpadów można również stosować bardzo drobnoziarniste odpady flotacyjne (Grabowska, Sowa, 1999a). Obecność skał ilastych, które łatwo ulegają dezintegracji sprzyja zagęszczaniu odpadów oraz zwiększa zdolność buforowania środowiska. Szczególnie korzystne parametry posiadają odpady wytwarzane przez kopalnię Bogdanka, które dzięki tym właściwościom są dobrym materiałem do rekultywacji bezglebowej (Bzowski, Zawisłak, 2000). Szczegółowe wytyczne sformułowane zostały dla niwelacji niecek osiadań z wykorzystaniem odpadów z kopalni Bogdanka. Opracowanie określa sposób przeprowadzenia prac w poszczególnych etapach z uwzględnieniem ochrony wód, regulacją stosunków wodnych oraz społecznych i środowiskowych aspektów biologicznej rekultywacji i zagospodarowania terenu (Bzowski i in., 2010 – patrz rozdz. 3.2).

Odpady wydobywcze i odpady gruboziarniste ze wzbogacania z bieżącej produkcji lub zdeponowane na składowiskach mogą stanowić potencjalny materiał wykorzystywany jako kruszywo lub masy skalne w budownictwie drogowym i robotach inżynierskich. Odpady są wykorzystywane przede wszystkim w robotach ziemnych przy inwestycjach drogowych, które charakteryzują się znaczną materiałochłonnością. W budownictwie drogowym odpady są głównie wykorzystywane do formowania nasypów i skarp (poniżej strefy zamarzania i powyżej poziomu wód) oraz do niwelacji terenu (Kozioł, Uberman, 1996; Sybilski, 2004). Zastosowanie odpadów wymaga określenia własności fizyko-mechanicznych i chemicznych, parametrów geotechnicznych oraz aprobaty technicznej dopuszczającej użycie odpadów dla danej inwestycji (Adamczyk, Mzyk, 2002; Bzowski, 2011). Odpady zawierające znaczne ilości węgla oraz skał ilastych podatnych na rozmywanie nie powinny być stosowane w tego typu inwestycjach (Kozioł, Uberman, 1996). Formowanie nasypów z odpadów powinno odbywać się przy zastosowaniu odpowiedniego zagęszczenia odpadów, co pozwoli na ograniczenia drenażu i erozji oraz zminimalizuje ewentualną aktywność termiczną (Sybilski, 2004). Znacznie szersze możliwości zastosowania w budownictwie drogowym stwarzają odpady przepalone, które charakteryzują się dobrymi parametrami fizyko-mechanicznymi i odpornością geomechaniczną (Pieczyrak, 2010). Przepalone odpady z eksploatowanych składowisk mogą być użyte do formowania nasypów bez ograniczeń oraz do wykonywania podbudowy i podłoża konstrukcji drogowych (Kozioł, Uberman, 1996; Sybilski, 2004). W ostatnim okresie odnotowano liczne wykorzystanie odpadów w inwestycjach drogowych na

Górnym Śląsku przy budowie dróg lokalnych i wojewódzkich, a także autostrad A-1 i A-4 (Sybilski, 2004; Pieczyrak, 2010; Drenda i in., 2011).

Właściwości mechaniczne odpadów, takie jak spójność i kąt tarcia wewnętrznego oraz parametry zagęszczania są istotne dla możliwości wykorzystania odpadów w pracach inżynierskich, w tym obiektach hydrotechnicznych (Adamczyk, Mzyk, 2002; Filipowicz, Borys, 2007; Zapał, Ratomski, 2007; Bzowski, 2011). Parametry geotechniczne odpadów wykazują zmiany wraz z czasem składowania, co przejawia się między innymi wzrostem spójności i zagęszczania odpadów po upływie kilku lat (Skarżyńska, 1997; Filipowicz, Borys, 2007), szczególnie w przypadku odpadów z kopalni Bogdanka. Odpady wydobywcze mogą stanowić budulec obiektów hydrotechnicznych, jednak zaleca się wykonanie badań w skali półtechnicznej w celu określenia warunków wykonania obiektu (Zapał, Ratomski, 2007).

Na podstawie licznych, zrealizowanych w ostatnich latach inwestycji wydaje się, iż jednym z najbardziej rozwojowych kierunków jest wytwarzanie tzw. kruszyw sztucznych na bazie odpadów. Zastosowanie bezpośrednio odpadów wydobywczych i przerobczych jako kruszywa nie zawsze jest możliwe ze względu na słabsze parametry mrozoodporności i nasiąkliwości oraz zawartość węgla (Galos, Szlugaj, 2010). Prekursorem w produkcji kruszyw jest firma Haldex S.A., która od lat prowadzi kilka instalacji przeróbki odpadów z odzyskiem węgla i kruszyw, jednak uzyskane kruszywo, ze względu na słabsze parametry stosowane jest głównie w robotach inżynierskich. W celu poprawy i ujednoczenia parametrów konieczne jest zastosowanie kilkukrotnego rozdrabniania i przesiewania połączonego z odzyskiem węgla. Instalacje produkcji kruszyw zostały wdrożone w kopalniach Kompani Węglowej S.A. (Gawenda, Olejnik, 2008) oraz Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. (Gruszka, Pruciak-Karasek, 2011). Dzięki zastosowanej technologii część wytwarzanych kruszyw odznacza się lepszymi parametrami i może być zastosowana w szerszym zakresie w robotach drogowych, a nawet w pewnym zakresie do produkcji betonu (Góralczyk, Baic, 2009). W kopalniach grupy Tauron Wydobycie S.A wdrożono instalację produkcji mieszanin kruszywowo-spoinowych o podwyższonych parametrach fizyko-mechanicznych, stanowiących mieszaninę kruszywa oraz spoiwa hydraulicznego lub popiołów lotnych (Wróbel i in., 2013).

Odpady górnictwa węgla kamiennego ze względu na duży udział skał ilastych mogą znaleźć zastosowanie do produkcji ceramiki budowlanej. W procesie wypalania ceramiki obecne w odpadach mułowce i piaskowce pełnią rolę schudzającą masę ceramiczną. Obecność składników szkodliwych, takich jak syderyty i piryty, a w mniejszym stopniu węgiel uniemożliwia uzyskanie odpowiednich jakościowo produktów. Odpady, aby spełniały

wymagania mogą być użyte w połączeniu z glinami ceramicznymi, gdzie pełnią rolę czynnika schudzającego (Góralczyk i in., 1996; Chodyniecka, Walter, 1999). Zastosowanie procesu rozdrabniania i mieszania materiału pozwoliło na obniżenie zawartości siarki w masie (Drob i in., 1996), a w konsekwencji uzyskania wysokich jakościowo produktów. Technologia została wdrożona w firmie Ecoklinkier przerabiającej łupkowe odpady kopalni Bogdanka. Drobnosiarniste odpady ze wzbogacania węgla można również stosować jako komponent mas uzyskanych z glin ceramicznych, co ze względu na obecność węgla w odpadach zmniejsza koszty zużycia energii w czasie wypału (Góralczyk i in., 1996).

Firma Haldex S.A. prowadziła do lat 90. produkcję łupkoporytu, który stanowił sztuczne kruszywo lekkie powstające w wyniku spiekania okruchów skał łupkowych (Mokrzycki, 1992). Nową technologią jest spiekanie granulatu mułów węglowych z dodatkiem osadów ściekowych, co pozwala na utylizację odpadów oraz produkcję wysokiej jakości kruszywa (Góralczyk, Baic, 2009).

Odpady z dużym udziałem łupków ilastych są wykorzystywane w przemyśle cementowym jako surowiec glinonośny i krzemonośny w produkcji klinkieru portlandzkiego. Zagospodarowywane w ten sposób są odpady z Górnego Śląska w cementowniach na opolszczyźnie oraz z kopalni Bogdanka w cementowniach Chełm i Rejowiec (Galos, Szlugaj, 2010).

Muły powstające jako produkt uboczny w procesie płukania miałów węglowych, w przeszłości były deponowane na stawach osadowych (Grudziński, 2005; Lutyński, Szpyrka, 2010). Obecnie muły traktowane są jako niskoenergetyczne paliwo dodawane do miałów lub bezpośrednio spalane w elektrownianych kotłach fluidalnych (Jelonek i in., 2010; Jelonek, Mirkowski, 2015). Firma Haldex S.A. na bazie mułów uzyskiwanych z bieżącej produkcji kopalń oraz z pozyskiwanych z osadników mułowych wytwarza poprzez dodatek tlenku wapnia i aglomerację granulatu mułowy. Produkt ten jest znacznie wygodniejszy w transporcie, ma mniejszą zawartość wilgoci, a ponadto w trakcie spalania w elektrowni obecne w nim związki wapnia pełnią rolę sorbentu wiążącego tlenki siarki. W ostatnim czasie w kopalniach należących do grupy Tauron również rozpoczęto produkcję granulatu mułowego (Wróbel i in., 2013). Innym produktem wytwarzanym przez Haldex S.A. jest BioCarbohumus, powstający w oparciu o muły węglowe i osady ściekowe. Produkt ten jest przeznaczony do rekultywacji terenów zdegradowanych działalnością przemysłową oraz składowisk odpadów (Kugiel, Piekło, 2012).

3. Wpływ na środowisko oraz techniczne i organizacyjne sposoby zapobiegania negatywnym oddziaływaniom

3.1. Atmosfera

Odpady górnictwa węgla kamiennego w trakcie przemieszczania, składowania i technicznej rekultywacji podlegają działaniu czynników atmosferycznych. W wyniku działania słońca i wiatru powierzchnia odpadów wysycha, co prowadzi do wzmożonej emisji pyłów. Wielkość sił emisji jest funkcją wymiarów, kształtu i gęstości cząsteczek pyłu, a także sił adhezji na nie działających. Emisja jest również uzależniona od prędkości wiatru i turbulencji (Kotowski, 2006). Dostęp powietrza do wnętrza bryły składowanych odpadów powoduje utlenianie substancji węglowej oraz mineralnej, a w konsekwencji emisję: CO, CO₂, NO_x, SO₂, WWA (wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne) oraz C_xH_y. Wzmożona emisja pyłów i gazów występuje w trakcie transportu i deponowaniu odpadów oraz podczas prowadzenia prac rekultywacyjnych (Pikoń, Bugała, 2007). Procesy utleniania materii węglowej powiązane z utlenianiem pirytu (reakcja egzotermiczna) prowadzić mogą do zjawiska samozagrzewania się odpadów i wytworzenia temperatury krytycznej zapłonu węgla. W wyniku samozapalenia się odpadów dochodzi do powstania pożaru endogenicznego. Procesy termiczne mogą być także inicjowane przez źródła zewnętrzne (pożary egzogeniczne), najczęściej wywołane w trakcie zagospodarowania lub rekultywacji odpadów (Dulewski i in., 2010). Aktywne termicznie i zapożarowane zwałowiska odpadów są źródłem wzmożonej emisji gazów, wśród których występują: dwutlenek węgla, tlenek węgla, dwutlenek siarki, siarkowodór, amoniak, chlor oraz para wodna (Falcon, 1986; Adameczyk, Białecka, 1999; Róžański, 2009). Zdecydowanie najgroźniejsze z pewnością jednak są związki WWA o potwierdzonych własnościach kancerogennych (Kuna-Gwoździewicz, 2013).

3.2. Hydrosfera

Kwestia wpływu odpadów powęglowych na wody podziemne i powierzchniowe jest zagadnieniem kluczowym nie tylko z punktu widzenia możliwości bezpośredniego wykorzystania wód przez człowieka, ale także z uwagi na pośrednie oddziaływania potencjalnych zanieczyszczeń na biosferę, w szczególności ekosystemy terenów podmokłych.

W Polsce pierwsze obszerne i nowoczesne opracowania w zakresie wpływu odpadów powęglowych na środowisko wodne datują się na lata 80. ubiegłego wieku (Twardowska, 1981; Szczepańska, Twardowska, 1986, 1987; Szczepańska, 1987; Herzig i in., 1986; Twardowska i in., 1988). Dotyczyły one głównie skał karbońskich gromadzonych na zwałowiskach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW), w mniejszym stopniu odpadów z Lubelskiego Zagłębia Węglowego (LZW)².

Część doświadczalna objęła badania mineralogiczno-strukturalne, mikrobiologiczne, fizyko-chemiczne i lizymetryczne. Przeprowadzono także rozpoznanie hydrologii zwałowisk i warunków przenikania powietrza. W oparciu o wyniki badań laboratoryjnych i terenowych skonstruowano matematyczny model ługowania odpadów i transportu składników rozpuszczalnych (w środowisku suchym i podtopionym), ze szczególnym uwzględnieniem parametrów kinetycznych. Wyniki przeprowadzonych badań świadczą, iż heterogeniczność odpadów i zróżnicowanie warunków hydro(geo)logicznych wpływają na zróżnicowanie charakteru i stopnia oddziaływania na środowisko wodne.

Pierwszym z czynników decydujących o skali oddziaływania odpadów na środowisko wodne jest rodzaj i zawartość składników rozpuszczalnych w świeżym odpadzie. Są to głównie chlorki, a także pierwotne siarczany – ich koncentracja jest generalnie niewielka, na łączną ilość tych składników wpływa jednak masa zgromadzonych odpadów. Zdecydowanie większe znacznie mają składniki rozpuszczalne powstałe w wyniku procesów fizyko-chemicznych zachodzących po zdeponowaniu odpadu (wietrzenie). Są to głównie produkty rozpadu reaktywnych siarczków (głównie żelaza), takie jak siarczany i kwas siarkowy. Buforujące (neutralizujące, stabilizujące) działanie mogą mieć natomiast minerały ilaste, a zwłaszcza węglany wapnia i magnezu (zasadniczą rolę odgrywa w tym przypadku tzw. pojemność jonowymienna).

Kolejny czynnik to dostępność wody ługującej oraz zasięg i pojemność strefy aeracji w obrębie bryły zwałowiska, co z kolei uwarunkowane jest przepuszczalnością odpadów i intensywnością wymiany wody. Skala i zasięg transportu zanieczyszczeń poza bryłę składowiska zależą natomiast od budowy geologicznej podłoża i przedpoła oraz warunków hydrologicznych i hydrogeologicznych całego obszaru. W rezultacie ługowania (chemicznego i biochemicznego) składników rozpuszczalnych stężenia jonów Cl^- oraz SO_4^{2-} w wodach porowych, wolnych i wyciekach z odpadów liczących kilka-kilkanaście lat przekraczać mogą wartości dopuszczalne dla wód pitnych nawet w przypadku składowisk o stosunkowo

² głębinie szybów w LZW rozpoczęto w 1975, a pierwsza ściana badawcza rozpoczęła wydobywanie w 1982 r., toteż materiał badawczy w latach 80. był jeszcze dość skromny

niewielkiej miąższości (1,5-2 m). Jak zauważa A. Morawiec (1987) ilość substancji rozpuszczonych w wodzie pozostającej w kontakcie z odpadami wzrasta aż 150 razy, a przewodność elektryczna 10-krotnie. Generalnie jednak zdolność zakwaszająca i buforująca odpadów jest zróżnicowana, co wpływa na niejednolity charakter i stopień ich oddziaływania na środowisko wodne.

W oparciu o wyniki badań laboratoryjnych i terenowych oraz programy komputerowe, stworzono model matematyczny umożliwiający prognozowanie ruchu wody, ługowania, transportu i rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń (Twardowska i in., 1988). Model taki umożliwi wieloletnią prognozę wpływu odpadów na środowisko wodne w każdym konkretnym przypadku decyzji lokalizacyjnej. Przede wszystkim określono zalecenia do projektowania zwałowisk, obejmujące:

- rozpatrzenie kilku wariantów i wybór optymalnej lokalizacji (z uwzględnieniem aspektów środowiskowych),
- kształt bryły składowiska (w świetle przeprowadzonych badań koncepcja płytkich zwałowisk podziemnych nie jest uzasadniona, gdyż nadmierne rozwinięcie powierzchni w stosunku do objętości sprzyja szybkiemu wypełnianiu się pojemności sorpcyjnej oraz stwarza optymalne warunki do transportu zanieczyszczeń³; korzystniejsze są wysokie zwałowiska centralne o kształcie stołowym),
- zapewnienie szczelności części bryły w stosunku do wody i powietrza (lokalizacja na naturalnie nieprzepuszczalnym podłożu, odmienny sposób formowania bryły wewnętrznej i płaszcza zewnętrznego, wprowadzanie dodatkowych warstw izolujących, zagęszczanie mechaniczne, obudowa biologiczna odpowiednimi gatunkami roślin),
- kontrolowany system wymiany wody w zwałowisku i drenażu wycieków (studnie rurowe wyposażone w filtry, rowy opaskowe, zbiorniki retencyjno-odparowujące),
- monitoring wód w zasięgu oddziaływania składowiska.

Zdaniem I. Twardowskiej (inf. ustna, 2015) zasadnicze wnioski wypływające z badań i modelowań przeprowadzonych w latach 80. dla składowisk odpadów pozostają nadal aktualne. Analogiczny charakter wpływu na środowisko mają także odpady stosowane do niwelacji i rekultywacji (Morawiec, 1987). W następnych latach kontynuowano badania, uszczegółowiając je w odniesieniu do zagadnień cząstkowych lub wybranych obiektów, rozszerzając jednocześnie zakres regionalny o badania odpadów z LZW.

³ 3 odmiennego zdania wydają się być K. Grabowska i M. Sowa (1999a), wg których stopień zanieczyszczenia wód jest wprost proporcjonalny do ilości odpadów, ale odwrotnie proporcjonalny do powierzchni składowania.

Wpływ składowiska skał płonnych kopalni Bogdanka na wody podziemne i powierzchniowe analizowała m.in. A. Majka-Smuszkiewicz (1995). Według J. Borowca i J. Magierskiego (1991), J. Borowca i J. Gajdy (1993/94) oraz J. Borowca i in. (2002) obserwowane w LZW zmiany środowiska wodnego zachodzące pod wpływem odpadów, aczkolwiek zauważalne, mają powolny przebieg. Zdaniem tych autorów materiał odpadowy górnictwa węgla w LZW jest względnie nieszkodliwy, stanowiąc jednocześnie źródło wapnia, a także pewnych ilości K, Mg, Zn i Cu.

Bardziej szczegółowymi badaniami (Dawidek, Piszcz, 2001) objęto m.in. wpływ odpadów na zlewnię dolnej Świnki, w obrębie której odpady powęglowe (głównie przerobcze, z dominującym udziałem minerałów ilastych) wykorzystywano do wypełniania wyrobisk po eksploatacji piasku i innych surowców skalnych. Degradację jakości wód piętra czwartorzędowego notowano w odległościach do 1 km od składowisk, gdzie stwierdzono podwyższoną zawartość składników antropogenicznych (chlorków, siarczanów i sodu). Określono dynamikę ługowania i czas stabilizacji, a największe i najszybsze zmiany składu wód obserwowano zgodnie z nachyleniem zwierciadła wód. Jak wykazały badania modelowe, czas dopływu wody do cieków powierzchniowych waha się od kilku do kilkudziesięciu lat zależnie od odległości oraz zdolności podłoża do przewodzenia wody. Osady czwartorzędowe sorbując zanieczyszczenia, stanowią bowiem barierę hydrogeochemiczną, która spowalnia migrację zanieczyszczeń. Autorzy zwrócili uwagę, iż zmiany hydrochemiczne zlewni modyfikują także ustalony system równowagi w glebach i biosferze.

Podjęto się również oceny właściwości fizyczno-chemicznych wody z rowu opaskowego wokół składowiska skały płonnej kop. Bogdanka w kontekście jej gospodarczego wykorzystania (Czernaś i in., 2003). Stwierdzono, że badane wody charakteryzują się znacznie lepszymi właściwościami fizyko-chemicznymi w porównaniu z wodami odpadowymi z kopalń GZW, nie przekraczają norm dla wody przemysłowej i mogą być wykorzystane gospodarczo, w tym do nawadniania użytków zielonych (co wymaga jednak dalszych badań z uwzględnieniem aspektów ekologicznych).

Prowadzono też badania odpadów z LZW wykorzystywanych do rekultywacji (Bzowski, Zawislak, 2005). Wykazały one, że pod wpływem wietrzenia następuje dezintegracja ziarnowa, skutkująca naturalnym zagęszczeniem odpadów i zmniejszeniem przepuszczalności dla wody. Ogranicza to powstawanie siarczanów, ale nie zmniejsza wymywania Cl^- i Na^+ . Wpływu wietrzenia na parametry fizyko-chemiczne i migrację zanieczyszczeń dotyczą także prace M. Gwoździwicza (2011, 2012) oraz M. Gwoździwicza i M. Bukowskiej (2012). Szczegółowymi badaniami objęto skład chemiczny, uziarnienie,

parametry filtracji i właściwości mechaniczne różnowiekowych odpadów wydobywczych LZW. Przyjęto model pionowego zagęszczenia odpadów wskutek wietrzenia i nacisku nadkładu. Wykazano, że po upływie kilku lat odpady z kop. Bogdanka nabierają charakteru gruntu spoistego i słabo przepuszczalnego (typu gliny piaszczystej). W związku z tym, w okresie kilku-kilkunastu lat zaobserwowano postępujące zmniejszanie się współczynnika filtracji odpadów od początkowego poziomu 10^{-3} m/s do 10^{-8} m/s, a na podstawie badań modelowych prognozuje się jego dalszy spadek. W odróżnieniu od cech fizyko-mechanicznych, skład chemiczny i mieneralny odpadów zmienia się nieznacznie, co wiąże się ze znikomym wpływem na środowisko zarówno w etapie początkowym, jak okresie wieloletnim.

Szczegółowe wytyczne dotyczące wykorzystania odpadów powęglowych LZW do niwelacji i rekultywacji, ze szczególnym uwzględnieniem kwestii wodnych, zawarte zostały w opracowaniu Z. Bzowskiego i in. (2010), stanowiącym swego rodzaju kompendium wiedzy na temat odpadów LZW i warunków ich deponowania. Autorzy Ci zalecają m.in.:

- Makroniwelację prowadzić należy w warunkach „suchy”, przy poziomie wodonośnym na głębokości poniżej 1 m p.p.t. w gruntach przepuszczalnych i 0,5 m p.p.t. w gruntach nieprzepuszczalnych; w przypadku występowania płytszych wód gruntowych teren pokryć należy warstwą zagęszczonych odpadów wydobywczych o miąższości co najmniej 1 m. Nie zaleca się natomiast niwelacji terenów podmokłych związanych z występowaniem gruntów organicznych.
- Przed zdeponowaniem odpadów należy usunąć warstwę glebową w celu jej późniejszego wykorzystania do rekultywacji biologicznej.
- Odpady wydobywcze powinny być dobrze zagęszczone, zwłaszcza w dolnej warstwie.
- Niecka powinna być wypełniana odpadami od jej osi w kierunku partii brzeżnych.
- Prace należy prowadzić szybko celem uniknięcia efektów wietrzenia i ługowania.
- Kształt powierzchni rekultywacyjnej powinien uwzględniać nachylenie w kierunku lokalnej bazy drenażu, a w przypadku przeznaczenia pod uprawy umożliwiać stagnowanie niewielkich ilości wody.

Wskazano ponadto możliwe kierunki rekultywacji (z określeniem miąższości warstwy gleby lub piasku) oraz harmonogram prac (przygotowanie terenu, rekultywacja techniczna, rekultywacja biologiczna, zagospodarowanie docelowe, monitoring efektów rekultywacji).

Oczywiście znaczna część badań dotyczy składowisk odpadów w GZW, rzadziej Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym (DZW) lub też posiada bardziej uniwersalny charakter.

Warto wspomnieć o szczegółowych badaniach nad zdolnościami buforującymi odpadów powęglowych (Twardowska, 1990) oraz ich własnościami barierowymi w stosunku do jonów metali ciężkich w roztworach (Jarosińska, Twardowska, 1991), czy też migracją jonów chlorkowych w strefach aeracji składowisk (Szczepańska, Krawczyk, 1994). Swoje dotychczasowe badania podsumowały J. Szczepańska oraz I. Twardowska wraz z innymi autorami (1997, 1999, 2007). Badania fizyko-chemiczne wód odciekowych z odpadów kopalnianych węgla kamiennego i ich wpływ na środowisko w aspekcie wykorzystania w budownictwie ziemnym prowadzili m.in. J. Ratomski i A. Zapał (2002). Uwzględnienie stałej kontroli stężeń jonów Cl^- i SO_4^{3-} w środowisku ich deponowania przy wyborze sposobu zagospodarowania odpadów (roboty inżynieryjne, niwelacja, składowanie powierzchniowe lub podziemne) sugerują K. Grabowska i M. Sowa (1999b).

Według J. Rózkowskiego i A. Chmury (1997, 2000) czas przesiąkania przez strefę aeracji składowisk z rejonu Rybnika jest silnie zróżnicowany. Szybki przepływu zanieczyszczeń do cieków powierzchniowych zależy od wielkości spadków hydraulicznych i przepuszczalności środowiska porowego, a zwałowiska zlokalizowane w dolinach rzecznych stanowić mogą długotrwałe ogniska zanieczyszczeń.

Znaczący wkład w rozwój badań nad wpływem odpadów powęglowych na środowisko wodne wniosły niewątpliwie prace S. Stefaniaka i I. Twardowskiej (2003ab; 2005 ab) oraz S. Stefaniaka (2006), nawiązujące do opracowań z lat 80. ubiegłego wieku (Twardowska, 1981; Twardowska i in., 1988). Potwierdziły one, że odpady te są materiałem niestabilnym, a ich składowiska stanowią ogniska zanieczyszczeń wód aktywne przez dziesięciolecia. W pracach tych szczególną uwagę poświęcono uwalnianiu się i migracji zanieczyszczeń ze składowisk odpadów redeponowanych po odzysku węgla, w tym oddziaływaniu budowli inżynieryjnych wykonanych z takich odpadów na jakość wód. Wykorzystano w tym celu wieloletnie badania monitoringowe oraz symulacje komputerowe (bilansu wodnego, kinetyki utleniania się siarczków, migracji zanieczyszczeń). Stwierdzono, że odzysk węgla z odpadów powoduje zmianę profilu hydrochemicznego składowisk, intensyfikację rozkładu siarczków, przy jednoczesnym wzroście buforującego działania minerałów węglanowych, co prowadzi do neutralizacji pierwotnie kwaśnego materiału. Z uwagi na niską zawartość metali w odpadach skał karbońskich GZW nie stwierdzono uruchamiania większych ilości pierwiastków toksycznych, nawet przy bardzo niskim pH. Budowle inżynieryjne wykazują natomiast silne oddziaływania na wody podziemne z uwagi na wysoką mineralizację siarczanową, co jest cechą charakterystyczną odpadów z GZW. Niejako podsumowaniem dotychczasowych badań prowadzonych przez IPIŚ PAN są kolejne

wspólne publikacje S. Stefaniaka oraz I. Twardowskiej (2010, 2011). Kolejnym natomiast efektem współpracy I. Twardowskiej oraz J. Szczepańskiej jest publikacja dotycząca zdolności barierowych odpadów w stosunku do metali migrujących wraz z wodami infiltracyjnymi (Szczepańska-Plewa J. i in., 2012).

W podobnym czasie dynamiką generowania zanieczyszczeń z odpadów powęglowych i jej wpływem na stan chemiczny wód podziemnych zajmowała się M. Sarga-Gaczyńska (2007), nawiązując do wcześniejszych prac J. Szczepańskiej i in. (1996). Obiektem badań modelowych (w skali laboratoryjnej i terenowej) było jedno ze składowisk GZW. Stwierdzono, że tempo rozkładu siarczków rośnie wraz ze spadkiem wielkości ich ziarn, dostępem tlenu i odczynem pH. Proces ługowania jest bardzo powolny, a wskaźnik infiltracji oraz zawartość SO_4^{2-} spadają wraz z upływem czasu. Czas połowicznego rozpadu siarczków wg badań lizymetrycznych wynosi ok. 1000 dób i maleje wraz z wiekiem odpadu. 99% siarczków zostaje wylugowanych w okresie do 20 lat. Potwierdziło się również, że proces odzysku węgla powoduje ponowny wzrost stężeń Cl^- i SO_4^{2-} w roztworach.

Na wpływie odpadów wykorzystywanych w budownictwie hydrotechnicznym i rekultywacji obwałowań rzek skupili się E. Pertile i in. (2010). Na przykładzie rejonu Karviny (czeska część GZW) stwierdzili oni, że zawartości rozpuszczonych węglowodorów i chlorków z uwagi na obecność jonów Ca^{+2} i Mg^{+2} oraz zakres przewodnictwa elektrolitycznego wody (117-284 mS/m)⁴ nie wpływają negatywnie na ekosystem wodny. Badając zawartości wybranych składników w glebach i wodzie wokół jednego z termicznie przekształconych składowisk odpadów stwierdzono natomiast przekroczenia zawartości takich pierwiastków jak Ba, Co, Cu, Cr, Zn, Pb i Ni w stosunku do lokalnego tła glebowego (Hanak, Nowak, 2010).

Przykład innego składowisk odpadów powęglowych w GZW pokazuje, że wyniki pomiarów zawartości metali ciężkich, chlorków i siarczanów w przepalonym łupku oraz wyciągach wodnych nie przekraczają wartości 0,5 wartości dopuszczalnych (NDS). Można więc przyjąć, że ryzyko negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne i człowieka jest na poziomie pomijalnym. Wymywalność zanieczyszczeń z ocenianego kruszywa jest niższa od najwyższych dopuszczalnych wartości tych zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych do wód i gleby, co pozwala stwierdzić, iż kruszywo zalegające na badanym zwałowisku jest ekologicznie bezpieczne (Korban, 2011).

⁴ trwałe uszkodzenie komórek z powodu ciśnienia osmotycznego następuje przy wartościach powyżej 3000 mS/m, jednak szkodliwe działanie zaznacza się już na niższym poziomie

Również K. Bojarska i Z. Bzowski (2012) potwierdzili, że podstawowe jony (Na, K, Cl, SO₄) wymywają się z odpadów GZW w ilościach znacznie mniejszych niż wartości dopuszczalne dla ścieków wprowadzanych do wód lub do ziemi. Tym niemniej, część odpadów wydobywczych może jednak (głównie z uwagi na zawartość chlorków powyżej 100 mg/dm³) wpływać niekorzystnie na środowisko wodne. Zdaniem w/w autorów ich wykorzystanie do rekultywacji biologicznej powinno zostać ograniczone, a wykorzystanie do niwelacji podlegać monitoringowi.

T. Suponik (2011) proponuje natomiast (na przykładzie wybranych cieków GZW) remediację wód podziemnych i powierzchniowych z zastosowaniem technologii PRB (ang. *Permeable Reactive Barrier*). Polega ona na zmianie składu chemicznego zanieczyszczonych wód poprzez wytrącenie metali i niemetali za pomocą procesów biochemicznych (bakterie redukujące siarczany), adsorpcji, zmiany potencjału redox oraz regulacji pH. Materiałem aktywnym mogą być torf, zeolity lub metaliczne Fe, którego wpływ na środowisko przyrodnicze jest stosunkowo niewielki.

Wśród najnowszych opracowań wyróżnić można artykuł K. Chudego i in. (2014), opisujący specyficzną sytuację w DZW, czy też publikację M. Jabłońskiej-Czapli i in. (2014) poświęconą koncentracjom metali ciężkich w osadach rzek przepływających w pobliżu składowisk powęglowych z rejonu Bytomia (GZW).

Jeśli chodzi o publikacje zagranicznych autorów to fundamentalny charakter posiadają prace P. Singera i W. Stumma (1970) oraz F. Caruccio (1978 i inne), dotyczące reaktywności i zakwaszającej zdolności siarczków oraz zjawiska kwaśnego drenażu, aczkolwiek odnoszą się one raczej do właściwości skał węglonośnych. Od tego czasu liczba opracowań dotyczących zagadnienia rosła, obejmując także odpady powęglowe. Badania dotyczą różnych obiektów na całym świecie, tym niemniej dotyczą na ogół podobnych problemów, jakie opisano już w przeglądzie literatury krajowej, ukazują też różny stopień oddziaływania na środowisko wodne (por. Hutchinson, Ellison, 1992; Foos, 1997; Lawrence, Sheske, 1997; Dang i in., 2002; Denimal i in., 2002; Devasahayam, 2006; Shaver i in., 2006; Ribeiro i in., 2010; Ardejani i in., 2011 oraz wiele innych publikacji w renomowanych wydawnictwach o zasięgu międzynarodowym). Część z nich dotyczy specyficznych zagadnień o charakterze lokalnym, jak np. badania S. Baldwina i A. Hodaly'ego (2003) w Elk River Valley (SE Kolumbia Brytyjska) świadczące, że osady podmokłych terenów przyjmujących odpływy ze składowiska odpadów tamtejszej kopalni węgla mogą być ważnymi zbiornikami selenu sorbowanego w postaci SeO₃²⁻.

Pomimo tego w literaturze światowej notuje się niedostatek danych dotyczących wpływu na środowisko budowli inżynierskich bazujących na odpadach skał karbońskich oraz procesów recyklingu odpadów powęglowych.

Tabela 1. Stężenia wybranych zanieczyszczeń oraz odczyn wód związanych z deponowaniem odpadów powęglowych (przykłady)

	pH	Cl (mg/l)	SO ₄	Ba	Pb	Cd	Hg
Grabowska, Sowa, 1999a ⁵	--	912,9	4805	--	--	--	--
Grabowska, Sowa, 1999a ⁶	--	1136	54	--	--	--	--
Grabowska, Sowa, 1999ab ⁷	6,6-8	44,5-170,1	27,7-133,3	--	<0,05	<0,005	--
Czernaś i in., 2003 ⁸	8,4	743	610	2	0,02	0,003	--
Stefaniak, 2006 ⁹	4,5-8,4	11-823	2061-4447	0,05-0,146	<0,033	<0,065	<0,017
Sarga-Gaczyńska, 2007 ¹⁰	6,1	474	2489	--	0,004	0,003	---
Korban, 2011 ¹¹	--	<0,75	391	--	<0,05	<0,005	--
Ribeiro i in., 2010 ¹²	3,8-4,6	25-39	--	0,04-0,17	< 0,009	0,002-0,06	--
Bojarska, Bzowski, 2012 ¹³	7,2-9,2	4,2-867	<10-52,7	--	--	--	--
Chudy i in., 2014 ¹⁴	3,4-4,8	14-116	832-40532	1-6,3	0-5,4	0,002-0,415	--
stężenia dopuszczalne ¹⁵	6,5-9	1000	500	2	0,5	0,4 ¹⁶	0,06 ¹⁷

5 Smolnica (GZW), woda z rowu opaskowego

6 Sośnica (GZW), różnica mineralizacji rz. Kłodnicy przed i za składowiskiem

7 wybrane składowiska GZW, wymywalność odpadów

8Bogdanka (LZW), woda z rowu opaskowego

9 Dębieńsko i Buków (GZW), wody porowe (Cl i SO₄ wg symulacji)

10 Smolnica, wody podziemne z piezometrów w strefie odpływu

11 składowisko 5A/W-1 (GZW), wymywalność odpadów (przepalonego łupka)

12 Serrinha (Portugalia), odcieki ze składowiska

13 wybrane kopalnie (GZW), ekstrakty wodne z odpadów

14 Nowa Ruda (DZW), ekstrakty wodne z odpadów

15 wg Rozporządzenia MŚ (2014)

16 dobowo (miesięcznie 0,2)

W Tab. 1 zestawiono przykładowe wyniki badań różnych parametrów charakteryzujących stopień zanieczyszczenia wód. Były one przeprowadzane przez różnych autorów, w różnych okresach, dla różnie zlokalizowanych obiektów, różnego rodzaju próbek (woda z piezometrów, ekstrakty wodne z odpadów itp. – patrz przypisy) i różnymi metodami. Porównanie danych ukazuje dużą zmienność jakości wód w zależności od różnych czynników (uwaga: można porównywać dane wyłącznie dla tego samego typu próbek). Dodatkowo podano obowiązujące normy dla ścieków wprowadzanych do wód lub gruntu.

3.3. Biosfera

Nie ulega wątpliwości, że pod wpływem oddziaływania eksploatacji na stosunki wodne i jakość wód zachodzić mogą także zmiany niektórych ekosystemów. Wiele lat trwały dyskusje nad związkiem szczypania wód karbońskich i jurajskich przez górnictwo LZW a obniżaniem się lustra wody w jeziorach i zanikiem torfowisk (Borchulski, Łyszczarz, 1995; Borchulski, 1996). Aktualnie przyjmuje się, że związek taki raczej nie zachodzi, na przyrodę ożywioną mogą natomiast oddziaływać nowopowstałe zalewiska w nieckach osiadań oraz zrzuty wód kopalnianych do cieków powierzchniowych.

Wpływać na biosferę mogą również odpady wydobywcze. W wyniku gromadzenia odpadów powęglowych zajmowane są nowe obszary, w związku z czym zmienia się forma ich dotychczasowego użytkowania. W pewnej mierze dotyczyć to może lokalnych agrocenoz lub zbiorowisk leśnych, które na obszarze zajęтым przez składowisko ulegają całkowitej likwidacji. Oddziaływanie odpadów na biosferę jest jednak głównie efektem sumowania się czynników pośredniczących tj. zanieczyszczeń powietrza, wód powierzchniowych i gruntowych oraz gleby wskutek uruchomienia substancji zawartych w odpadzie do środowiska (Pietrzyk-Sokulska, 1995).

Jeśli chodzi o LZW to w 1989 r. część torfowiska przylegającego do Jez. Piaseczno, wcześniej częściowo zdegradowanego wskutek obniżenia się lustra wody (co spowodowało mineralizację górnej warstwy torfu), została przysypana grubą warstwą skały płonnej pochodzącej z kop. Bogdanka oraz odwodniona rowem przekopanym przez wschodnią część torfowiska w kierunku jeziora. Pomiar właściwości wody w tym rowie wykazały odczyn rzędu około pH 10-11 i przewodność elektrolityczną powyżej 1000 mS/m. Prawdopodobnie woda ta wymywała substancje z wprowadzonego tu materiału skalnego, a po spłynięciu do

17 dobowo (miesięcznie 0,03)

jeziora alkalizowała jego wodę do poziomu wywołującego gwałtowny rozpad kompleksów mineralno-humusowych zarówno spływających w tym czasie z torfowiska, jak i zalegających w jeziorze z dawniejszych okresów (Wojciechowski, 2000). Obecnie torfowisko nad Jeziorem Piaseczno jest już całkowicie i nieodwracalnie zniszczone – przesuszone, torf do znacznej głębokości zmurszały, a torfotwórcze zbiorowiska roślinne zostały zastąpione innymi.

Zagadnienie wpływu odpadów na biosferę w sąsiedztwie składowisk odpadów powęglowych jest jednak dość słabo rozpoznane. W przypadku wysokiego wskaźnika zasolenia, przy przewodnictwie wody powyżej 3000 mS/m, następuje trwałe uszkodzenie komórek roślinnych z powodu ciśnienia osmotycznego (Pertile i in. 2010). Wiadomo zatem, że część odpadów wydobywczych może wpływać niekorzystnie na wzrost roślin, głównie z uwagi na zawartość chlorków (Bojarska, Bzowski, 2012).

Liczne publikacje dotyczą kwestii rekultywacji biologicznej składowisk. Stąd wywieść można pośrednio, jaki jest mechanizm oddziaływania odpadów na roślinność, jakie gatunki są podatne na te oddziaływania itp. Pozytywną rolę fitochemiczną odgrywa z pewnością obecność wapnia i magnezu, zarówno w podłożu glebowym, jak i odpadach. Zwraca natomiast uwagę fakt, że zawartość metali ciężkich w glebach leśnych i uprawnych jest często zdecydowanie większa niż w odpadach górniczych, co w szczególności dotyczy terenów GZW (2004). Na gruntach bardzo kwaśnych dobrze kształtują się zbiorowiska obejmujące mało wymagające gatunki drzew (sosna zwyczajna *Pinus silvestris*, modrzew europejski *Larix decidua*, brzoza brodawkowata *Betula verrucosa*, robinia akacjowa *Robinia pseudoacacia*), niektóre trawy i zioła (kostrzewa nitkowata i owcza *Festuca capillata* i *F. ovina*, trzcinnik piaskowy *Calamagrostis epigejos*, mietlica pospolita *Agrostis capillaris*, nawłóć pospolita *Solidago virgaurea*) czy też mchy (Strzyszczyński, 1989; Patrzalek, 2003, 2010; Pietrzykowski i in., 2012; Patrzalek, Nowińska, 2013). Tak więc potencjalne zanieczyszczenie gleb i wód gruntowych związkami wylugowanymi z odpadów powęglowych również nie powinno mieć istotnego wpływu na siedliska typu borów sosnowych i mieszanych, dominujących na obszarze Górnego Śląska i w innych rejonach kraju.

Jak się wydaje, potencjalnie większy wpływ mogą wywierać odcieki z odpadów na zbiorowiska związane ze środowiskiem wodnym, jednak i to nie jest wystarczająco opisane w ogólnodostępnej literaturze. Ciekawe spostrzeżenia zawierają m.in. prace E. Sierki i W. Sierki (2008), E. Sierki i in., (2009) oraz innych autorów (Buszman i in., 1993; Tokarska-Guzik, Rostański, 1996; Stalmachova, 1997), dotyczące flory naczyniowej zalewisk w nieckach osiadań z GZW, przeznaczonych do rekultywacji odpadami powęglowymi. Według tych autorów w zalewiskach tych wytwarzają się tzw. wyspy środowiskowe o różnorodności

biologicznej większej niż na terenach sąsiadujących. Natomiast prace rekultywacyjne polegające na zasypianiu zalewisk odpadami powęglowymi pociągają za sobą negatywne skutki dla różnorodności gatunkowej w obrębie niecki i przyległych zbiorowisk leśnych (por. Kalin, 2004).

W artykule K. Kašovskiej i in. (2014) przedstawiono z kolei reakcję mięczaków na zasolenie wód w zbiornikach wypełniających niecki osiadań z rejonu Karwiny (Czechy). W zasolonych wodach badanych zbiorników stwierdzono występowanie łącznie 12 gatunków wodnych mięczaków. Wykazano, że gradient zasolenia w istotny sposób wpływa na ich skład gatunkowy oraz bioróżnorodność grupy. Potwierdza to obserwacje B. Kefforda i in. (2005, 2011) oraz I. Lewina i A. Smolińskiego (2006), że zasolenie do ok. 1000 mg/l sprzyja różnorodności gatunkowej wybranych grup tych zwierząt.

W opinii autorów określenie rzeczywistego wpływu odpadów na ekosystemy w pobliżu miejsca ich deponowania wymagałoby dalszych szczegółowych badań. Istniejące w sąsiedztwie zbiorowiska ulegają zapewne mniejszym lub większym modyfikacjom, ale z punktu widzenia bioróżnorodności zmiany takie mogą mieć paradoksalnie pozytywny charakter (podobnie jak we wspomnianym wcześniej przypadku zalewisk).

4. Wymogi i ograniczenia dla bezpiecznego użytkowania – instrumenty prawne i ekonomiczne

Jednym z głównych czynników mających wpływ na zagospodarowanie odpadów z górnictwa węgla kamiennego¹⁸ jest niewątpliwie ewolucja prawa środowiskowego w zakresie odpadów w kierunku mniej lub bardziej restrykcyjnych zapisów (Baic, Witkowska-Kita, 2011; Baic, 2013).

Aktualnie podstawowym aktem prawnym dotyczącym gospodarki opadami wydobywczymi¹⁹ jest *Ustawa z dnia 10 lipca 2008 r. o odpadach wydobywczycy* (t.j. Dz. U. 2013 poz. 1136 z późn. zm.) transponująca do prawodawstwa krajowego zapisy *Dyrektywy 2006/21/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 marca 2006 r. w sprawie gospodarowania odpadami pochodzącymi z przemysłu wydobywczego oraz zmieniająca*

18 Zgodnie z *Rozporządzeniem MŚ z 9 grudnia 2014 w sprawie katalogu odpadów* (Dz.U. 2014 poz. 1923) są to odpady z wydobywania kopalin innych niż rudy metali (01 01 02), powstające przy płukaniu i oczyszczaniu kopalin inne niż wymienione w 01 04 07 i 01 04 11 (01 04 12), z flotacyjnego wzbogacania węgla inne niż wymienione w 01 04 80 (01 04 81)

19 pochodzących z poszukiwania, rozpoznawania, wydobywania, przeróbki i magazynowania kopalin ze złóż; odpady przerobcze stanowią ich rodzaj (*Ustawa o odpadach wydobywczycy*)

Dyrektywę 2004/35/WE (Dz. Urz. UE seria L Nr 102 z dnia 11.04.2006). Wdrażanie tych aktów prawnych oraz związanych z nimi przepisów wykonawczych było przedmiotem uzgodnień międzyresortowych i konsultacji społecznych, a także ożywionej dyskusji na łamach prasy branżowej i naukowej, m.in. w odniesieniu do górnictwa węgla kamiennego (Dulewski, Madej, 2006, 2011; Waksmańska i in., 2008; Dulewski, 2009; Góralczyk, 2009; Baic, Witkowska-Kita, 2011; Kłopotek, 2012). Z. Gruszka, oraz K. Pruciak-Karasek (2011) zwracają uwagę, że ww. ustawa nałożyła na przedsiębiorców górniczych szereg nowych obowiązków, których realizacja wiąże się z dużymi nakładami finansowymi i organizacyjnymi jednak w dłuższej perspektywie zapewni zwiększenie przychodów w wyniku sprzedaży odpadów wykorzystywanych do celów budowlanych oraz obniżenie kosztów jednostkowych związanych z ich zagospodarowaniem

Zasadniczym celem regulacji jest ograniczenie powstawania odpadów w przemyśle wydobywczym oraz ich niekorzystnego wpływu na środowisko i ludzi. W związku z powyższym ustanowiono hierarchię postępowania z odpadami, zobowiązując wytwórców do stosowania najlepszych dostępnych technik²⁰ w celu

1. minimalizacji ilości powstających odpadów oraz ich wpływu na środowisko i ludzi,
2. maksymalizacji odzysku odpadów, których powstania nie da się uniknąć,
3. unieszkodliwiania odpadów, które nie mogą być poddane odzyskowi z przyczyn techniczno-ekonomicznych (Góralczyk, Baic, 2009).

Ustawą wprowadzono przepisy obejmujące m.in.

- ogólne zasady i program gospodarowania odpadami wydobywczymi,
- procedury związane z uzyskiwaniem zezwoleń i zasady prowadzenia obiektów unieszkodliwiania odpadów wydobywczych²¹,
- zapobieganie i kontrolowanie poważnych wypadków oraz innych niebezpiecznych zdarzeń,
- wypełnianie wyrobisk górniczych odpadami wydobywczymi,
- obowiązki administracji publicznej w powyższym zakresie.

Według S. Góralczyka i I. Baica (2009) jednym z najważniejszych instrumentów prawnych, jaki wprowadziła *Ustawa o odpadach wydobywczych* jest program gospodarowania odpadami wydobywczymi (Rozdz. 3 *Ustawy*) – stanowi on podstawowy

20 Komisja Europejska przyjęła dokument referencyjny w sprawie najlepszych dostępnych technik gospodarowania odpadami z przemysłu wydobywczego w 2009 r.; ujmuje on zagadnienia związane z gospodarką odpadami przeróbczymi i skałą płoną, z wyodrębnieniem działań, które można uznać za przykłady „dobrej praktyki”

21 hałdy i inne zwałowiska, stawy osadowe itp.

dokument zawierający charakterystykę odpadów, informacje o procesach ich wytwarzania, przeróbki, a także zagospodarowania polegającego na ich odzysku lub unieszkodliwianiu na składowiskach. Program powinien również opisywać skutki, jakie dla środowiska i zdrowia ludzi będzie powodowało unieszkodliwianie odpadów, a także instrumenty prewencyjne z tym związane.

W przypadku odpadów powęglowych organy zaangażowane w procedury to przede wszystkim marszałkowie województw (zezwolenie na prowadzenie obiektów unieszkodliwiania), wojewódzcy inspektorzy ochrony środowiska (kontrole i inne zadania, por. Janecka-Piela, 2013), a także wojewódzcy komendanci Państwowej Straży Pożarnej (w zakresie planów operacyjno-ratowniczych). Wydanie zezwolenia na prowadzenie obiektu unieszkodliwiania odpadów wiąże się również z koniecznością wcześniejszego uzyskania decyzji organu szczebla gminnego (Wójta, Burmistrza lub Prezydenta Miasta) o środowiskowych uwarunkowaniach przedsięwzięcia w trybie określonym *Ustawą z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko* (t.j. Dz. U. 2013 poz. 1235, z późn. zm.)²². Wiąże się to na ogół ze wszczęciem procedury oceny oddziaływania na środowisko, obejmującej wykonanie raportu o oddziaływaniu na środowisko oraz opinii i uzgodnienia regionalnego dyrektora ochrony środowiska (RDOŚ) oraz państwowego powiatowego inspektora sanitarnego (PPIS). Podkreślić należy, że postępowanie w sprawie wydania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach, jaki i w sprawie zezwolenia na prowadzenie obiektu unieszkodliwiania przeprowadza się z udziałem społeczeństwa (w tym organizacji ekologicznych, które mogą występować na prawach strony). Lokalizacja składowiska odpadów wiąże się również z koniecznością uchwalenia przez lokalne władze samorządowe stosownych dokumentów planistycznych lub zmian w dokumentach obowiązujących (studium uwarunkowań i kierunków oraz miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego), co także wymaga sporządzenia niezbędnych dokumentów „środowiskowych” (opracowanie ekofizjograficzne, prognoza oddziaływania na środowisko) oraz uzgodnień z szeregiem organów, w tym RDOŚ i PPIS.

Skuteczne funkcjonowanie *Ustawy o odpadach wydobywczych* wymagało wydania szeregu rozporządzeń wykonawczych, które były przedmiotem uzgodnień międzyresortowych i konsultacji społecznych. Są to:

²² wynika to wprost z art. 72 ust. 1 pkt 17, a także z zaliczenia tego typu obiektów do mogących zawsze lub potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko (*Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko* – Dz. U. 2010 Nr 213, poz. 1397).

- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 kwietnia 2011 r. w sprawie szczegółowych kryteriów obiektów unieszkodliwiania odpadów wydobywczych* (Dz.U. 2011 nr 86 poz. 477),
- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2011 r. w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych* (Dz.U. 2011 nr 175 poz. 1048),
- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2013 r. w sprawie charakterystyki odpadów wydobywczych* (Dz.U. 2013 poz. 759),
- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 maja 2014 r. w sprawie prowadzenia monitoringu obiektu unieszkodliwiania odpadów wydobywczych* (Dz.U. 2014 poz. 875),
- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2015 r. w sprawie gwarancji finansowej i jej ekwiwalentu dla obiektu unieszkodliwiania odpadów wydobywczych* (Dz.U. 2015 poz. 311).

Aktem prawnym istotnym dla gospodarki odpadami jest także wprowadzone w tym samym okresie *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. 1800). Ważne jest również obowiązujące nadal *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi* (Dz.U. 2002 Nr 165 poz. 1359). Oba w/w rozporządzenia określają m.in. maksymalne dopuszczalne zawartości metali oraz innych substancji nieorganicznych i organicznych w ściekach i gruntach o różnych funkcjach.

Niektóre odpady wydobywcze związane z eksploatacją i przeróbką węgla kamiennego mają cechy surowcowe i po odpowiedniej przeróbce (lub bezpośrednio) możliwy jest na ich bazie odzysk surowców mineralnych o pożądanej jakości. Zarówno przepisy *Ustawy z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach* (Dz.U. 2013 poz. 21), jak i wcześniej wymienionej *Ustawy o odpadach wydobywczych* zalecają wręcz odzysk odpadów, co może skutkować różnymi korzyściami, w tym także o charakterze ekologicznym. Według Kulczyckiej i in. (2014), ze środowiskowego punktu widzenia, gospodarcze wykorzystanie odpadów przyczynia się m.in. do:

- oszczędności terenu i złóż, dla których odzyskane z odpadów surowce będą ekwiwalentami,
- poprawy stanu środowiska przez likwidację ujemnych skutków składowania odpadów,
- odzysku i przeznaczenia na inne cele terenów zajmowanych przez składowiska.

Przepisy przywoływanych ustaw generalnie zakazują odzysku odpadów poza instalacjami, ale dopuszczają możliwość wykorzystania niektórych grup odpadów wydobywczych po spełnieniu określonych warunków wymienionych w *Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 21 marca 2006 r. w sprawie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami i urządzeniami* (Dz.U. 2006 nr 49 poz. 356). W praktyce możliwe są następujące rozwiązania:

- wykorzystanie odpadów bezpośrednio z bieżącej produkcji, odzysk odpadów znajdujących się na czynnym jeszcze obiekcie,
- pozyskiwanie odpadów z zamkniętego, ale jeszcze niezrekultywowanego składowiska,
- zagospodarowanie odpadów zdeponowanych na zamkniętym i zreultywowanym obiekcie.

Dla uzyskania decyzji (pozwoleń) na odzysk odpadów stosuje się odpowiednie formalno-prawne procedury postępowania, których stopień komplikacji zależy od miejsca pozyskania odpadów, stopnia przeróbki oraz charakterystyki obiektu. Najprostsza procedura ma miejsce w przypadku wykorzystania odpadów z bieżącej produkcji, potrzebne decyzje można uzyskać bowiem już w ramach ubiegania się o pozwolenie na wytwarzanie odpadów zgodnie z przepisami *Ustawy o odpadach wydobywczych*. Z kolei najbardziej złożoną procedurą charakteryzuje się przypadek odzysku odpadów z zamkniętego już i zreultywowanego składowiska. Jak pokazuje praktyka ostatnich lat w Polsce, największym zainteresowaniem potencjalnych inwestorów cieszą się przede wszystkim nieczynne, ale jeszcze niezrekultywowane składowiska (Kulczycka i in., 2014). Zagospodarowanie tego typu składowiska wymaga przygotowania stosownych dokumentacji, uzyskania uzgodnień i opinii oraz decyzji wymaganych przepisami stosownych ustaw.

Załącznik nr 1 do *Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami i urządzeniami* oprócz ogólnych zaleceń dotyczących wpływu na różne komponenty środowiska zawiera także kilka bardziej szczegółowych wymagań i obostrzeń w zakresie warunków ich odzysku, z których część obejmuje także odpady powęglowe.

W przypadku wypełniania zapadlisk i wyrobisk:

- Należy uwzględnić tryb postępowania wynikający z przepisów *Ustawy z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym* (tj. Dz. U. 2012 poz. 647 z późn. zm.), *Ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane* (t.j. Dz.U. 2013 poz. 1409 z późn.

zm.) lub (w przypadku prac rekultywacyjnych) *Ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska* (tj. Dz. U. 2013 poz. 1232 z późn. zm.)

- Wypełnianie prowadzić należy do rzędnych przyległych terenów nieprzekształconych, a warstwę przypowierzchniową formować z zapewnieniem funkcji glebotwórczej lub w inny sposób odpowiadający docelowemu przeznaczeniu.
- Wypełniany teren nie powinien być zagrożony zalewaniem przez wody napływowe, powinien posiadać w podłożu i ścianach bocznych naturalną (geologiczną) lub sztuczną barierę uszczelniającą grubości co najmniej 0,5 m, o współczynniku filtracji $k \leq 1,0 \times 10^{-7}$ m/s.
- Najwyższy poziom zwierciadła wód podziemnych powinien znajdować się na głębokości co najmniej 1 m poniżej najniższego punktu terenu.
- Określono przypadki stosowania i zakres monitoringu, obejmującego obserwacje zwierciadła wód podziemnych oraz poziomu zanieczyszczeń (odczyn pH, przewodność elektrolityczna, zawartość metali ciężkich, jonów chlorkowych i siarczanowych, węglowodorów aromatycznych).

W przypadku utwardzania powierzchni, do których posiadacz ma tytuł prawny, nie powinno ono zakłócać stanu wody w gruncie.

W przypadku budowy wałów, nasypów, dróg i innych obiektów budowlanych fakt wykorzystania odpadów wydobywczych należy uwzględnić w decyzjach wydawanych na podstawie *Ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym* lub *Prawa budowlanego*.

W przypadku zabezpieczania składowisk przed erozją maksymalna grubość warstwy odpadów powinna być mniejsza niż 25 cm, a w przypadku ich rekultywacji biologicznej mniejsza niż 1-2 m (zależnie od charakteru nasadzeń), przy jednoczesnym wymieszaniu z odwodnionymi osadami ściekowymi w proporcji 1:1.

Szerszy kontekst prawny oraz szczegółowe omówienie przepisów regulujących gospodarkę odpadami, w tym wymogi względem zgody na ich wykorzystanie stanowią treść odrębnego opracowania w ramach niniejszej publikacji [*Agata Langowska - Krok*

"Rekultywacja wyrobisk górniczych za pomocą skały płonnej - aspekty prawne"]

Ważną rolę w ograniczaniu ilości odpadów, a przez to ich wpływu na środowisko, odgrywają również powiązane z wymogami prawa instrumenty ekonomiczne. Przedsiębiorstwo produkujące odpady ponosi określone koszty związane z koniecznością ich zagospodarowania. Są one wprost proporcjonalne do wielkości produkcji, tak więc

przedsiębiorcy w naturalny sposób dążą do ograniczenia ich ilości, zarówno na etapie wytwarzania, jak i unieszkodliwiania.

Zgodnie z zapisami *Prawa ochrony środowiska* przedsiębiorcy ponoszą opłaty z tytułu wprowadzania gazów lub pyłów do powietrza, wprowadzania ścieków do wód lub do ziemi, poboru wód oraz składowania odpadów (Art. 273). W aktualnym stanie prawnym (*Ustawa o odpadach wydobywczych* z 2008 r.) dzisiejszy górnictwo węgla kamiennego nie ponosi jednak opłat za odpady wydobywcze i przeróbcze gromadzone na składowiskach, które kwalifikowane są jako obiekty unieszkodliwiania odpadów i jako takie nie podlegają przepisom *Ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 Prawo ochrony środowiska* (t.j. Dz.U. 2013 poz. 1232 z późn. zm.), odnoszącym się do środków finansowo-prawnych (Tytuł V). Od każdego metra kwadratowego powierzchni terenu zajętego pod składowisko płacony jest natomiast podatek gruntowy od nieruchomości w wysokości takiej samej, jak od każdej innej działalności gospodarczej według aktualnych stawek tego podatku dla danej gminy. W zależności od wcześniejszego kierunku zagospodarowania terenu jest on płacony w miejsce dotychczasowego podatku leśnego lub rolnego, którego stawki są wręcz symboliczne. Obiekty unieszkodliwiania odpadów podlegają też wszystkim rygorom technicznym dla budowli. Można jednak dyskutować czy jest to również budowla z punktu widzenia przepisów podatkowych, w świetle których od budowli odprowadzany jest podatek w wysokości 2 % wartości obiektu²³. Najprawdopodobniej kwestia tego podatku rozwiązywana jest różnie w każdym indywidualnym przypadku. Do kosztów związanych z gospodarką odpadami wydobywczymi zaliczyć należy również koszty bezpośrednio związane z bieżącym funkcjonowaniem, a także ostateczną rekultywacją składowiska (energii, materiałowe, osobowe); również i one są proporcjonalne do masy odpadów. Tak więc minimalizacja ilości odpadów i rozmiarów składowisk jest jednym z czynników pozytywnie odbijających się na opłacalności działalności górniczej, a przy okazji ograniczających impakt na szeroko rozumiane środowisko.

5. Podsumowanie i wnioski

- Literatura na temat odpadów górnictwa węgla kamiennego i ich wpływu na środowisko jest bardzo bogata, co w szczególności dotyczy artykułów i opracowań krajowych. Nie

²³ w przypadku składowisk odpadów wydobywczych pojawia się problem określenia wartości takiego obiektu

dziwi to z uwagi na fakt, iż Polska jest znaczącym producentem węgla kamiennego, przy jednocześnie rosnącej świadomości uwarunkowań przestrzenno-środowiskowych.

- Do wiodących ośrodków naukowych zajmujących się problemem zaliczyć należy Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN z Zabrze (publikacje I. Twardowskiej i S. Stefaniaka, często we współpracy z J. Szczepańską z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie)) oraz Główny Instytut Górnictwa z Katowic (publikacje Z. Bzowskiego, J. Zawiślaka, M. Gwoździwicza.). W tym drugim przypadku znaczna część badań dotyczy Lubelskiego Zagłębia Węglowego i prowadzona jest w ramach monitoringu odpadów pochodzących z kopalni Bogdanka
- Z punktu widzenia oddziaływań na środowisko kluczowym i stosunkowo dobrze rozpoznany zagadnieniem jest niewątpliwie kwestia wpływu odpadów na środowisko wodne. Zanieczyszczenie wód substancjami wymywanymi z odpadów (głównie pierwotnymi chlorkami oraz siarczanami powstałymi w wyniku wietrzenia pirytów) potencjalnie wpływa na także na biosferę. Jak się wydaje, ten temat jest z kolei dość słabo rozpoznany, zarówno od strony teoretycznej, jak i konkretnych przykładów.
- Dotyczy to m.in. wpływ różnych sposobów deponowania odpadów z Lubelskiego Zagłębia Węglowego (w tym wykorzystywanych do niwelacji i rekultywacji) na przyrodę Pojezierza Włodawsko-Lęczyńskiego – sprecyzowanie realnych zagrożeń wymagałoby szczegółowych, interdyscyplinarnych badań.
- Potencjalnie negatywne oddziaływania maleją dość szybko wraz z odległością od obiektów unieszkodliwiania i innych miejsc deponowania odpadów. Tym niemniej zasięg i skala zanieczyszczeń zależą silnie od wyjściowego składu odpadów (petrograficznego, mineralnego i chemicznego), lokalnej budowy geologicznej (układ warstw przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych), stosunków wodnych (wody powierzchniowe i podziemne).
- Porównanie wyników badań dla różnych obszarów wskazuje na istotne zróżnicowanie wielkości oddziaływań. Obserwacje prowadzone na terenie Lubelskiego Zagłębia Węglowego pokazują, że wpływ odpadów z kopalni Bogdanka na środowisko jest relatywnie niewielki, co w znacznej mierze wynika z ich składu petrograficznego (dominacja skał drobnoziarnistych, podlegających naturalnej dezintegracji i zagęszczeniu) oraz mineralnego (buforujące właściwości minerałów ilastych).
- Szczególne znaczenie ma przestrzeganie wymogów i ograniczeń prawnych, stosowanie najlepszych dostępnych praktyk zapewniających bezpieczne dla środowiska

zagospodarowanie odpadów oraz nieustanne poszukiwanie innowacji w przedmiotowym zakresie.

Literatura

- Adamczyk Z., Białecka B., 1999: Kształtowanie się zanieczyszczeń powietrza w strefie składowania odpadów powęglowych na przykładzie termicznie czynnego zwałowiska. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów*, 33, 5, 193-198
- Adamczyk Z., Mzyk T., 2002: Możliwości wykorzystania odpadów z kopalni węgla kamiennego "Anna". *Zesz. Nauk. Politech. Śl., Górnictwo*, 254, 19-30
- Ardejani D., Shokri B., Moradzadeh A. et al., 2011: Geochemical characterisation of pyrite oxidation and environmental problems related to release and transport of metals from a coal washing low-grade waste dump, Shahrood, northeast Iran. *Environ. Monit. Assess.*, 183, 1-4, 41-55
- Baic I., 2013: Technologie zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego – wyniki projektu FORESIGHT OGWK. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 15, 1899-1915
- Baic I., Witkowska-Kita B., 2011: Technologie zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego – diagnoza stanu aktualnego, ocena innowacyjności i analiza SWOT. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 13, 1315-1327
- Baldwin S., Hodaly A., 2003: Selenium uptake by a coal mine wetland sediment *Water Qual. Res. J. Can.* 38, 3, 483-497
- Bieczek, J., 2007: Możliwość wykorzystania odpadów górniczych i elektrownianych w rekultywacji wyrobiska popiaskowego kopalni CTL Maczki-Bór. *Wiadomości Górnicze*, 58, 5, 281-286
- Bieczek, J., 2007: Rekultywacja pola "Bór-Zachód" kopalni piasku CTL "Maczki-Bór" *Wiadomości Górnicze*, 58, 10, 569-573
- Bieńko W., 2004: Lubelski Węgiel "Bogdanka" S.A. – technologia zakładu przeróbki mechanicznej węgla. *Inżynieria Mineralna*, 5, 2, 45-49.
- Blaschke W., 2009: Przeróbka węgla kamiennego – wzbogacanie grawitacyjne. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków

- Bojarska K., Bzowski Z., 2012: Wyniki badania wyciągów wodnych odpadów wydobywczych z kopalń węgla Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w aspekcie wpływu na środowisko. *Górnictwo i Geologia*, 7, 2, 101-113
- Borchulski Z., 1996: Oddziaływanie wydobywania węgla z kopalni Bogdanka na stosunki wodne Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego. [w] *Funkcjonowanie ekosystemów wodno-błotnych w obszarach chronionych Polesia*. Wydawnictwo UMCS, Lublin, 27-30
- Borchulski Z., Łyszczarz L., 1995: Oddziaływanie wydobywania węgla kamiennego w Lubelskim Zagłębiu Węglowym na środowisko wodne Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego. *Człowiek i Środowisko*, 19, 143-163
- Borowiec J., Gajda J., 1993/94: Wstępna ocena chemizmu gleb i wód w rejonie Lubelskiego Zagłębia Węglowego, w aspekcie planowanej tu intensywnej działalności gospodarczej i przemysłowej. *Annales UMCS. Sec. E*, 38/39, 8
- Borowiec J., Gajda J., Urban D., 2002: Problemy degradacji chemicznej wód powierzchniowych w strefie oddziaływania Lubelskiego Zagłębia Węglowego. *Konf. Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce.*, t. 1, Łódź, 171-176
- Borowiec J., J. Magierski, 1991: Wstępna ocena fizyko-chemicznej aktywności skały płonej i wód kopalnianych LZW w aspekcie określenia kierunków ich utylizacji. *Konf. Geologiczne aspekty ochrony środowiska*, 21-23 X 199, Kraków. Wyd. AGH, 31, 281-284
- Buszman B., Parusel J., Świerad J., 1993: Przyrodnicza wartość leśnych stawów w Tychach Czułowie przeznaczonych na zwałowisko odpadów kopalni węgla kamiennego. *Kształt. Środ. Geogr. Ochr. Przyr. Obsz. Upszemysł. Zurbaniz.*, 8, 10-15
- Bzowski Z., 2013: Mineralogiczna i chemiczna charakterystyka odpadów wydobywczych z kopalń węgla kamiennego. *Wiadomości Górnicze* 64, 2, 93-98
- Bzowski Z., 2014: Integrated analytical system in the monitoring of carboniferous mine wastes from the "Bogdanka" hard coal mine. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 12, 1, 27-32
- Bzowski Z., 2011: Możliwości wykorzystania odpadów wydobywczych z kopalń węgla kamiennego GZW w pracach budowlanych, drogowych i hydrotechnicznych. *Wiadomości Górnicze*, 6, 317-324
- Bzowski Z., Szydeł R., Zarebski K., Zawiślak J., 2010: Wytyczne dotyczące wykorzystania odpadów wydobywczych z kopalni LW „Bogdanka” do niwelacji i rekultywacji niecek osiadań poeksploatacyjnych. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie

- Bzowski Z., Zawiaślak J., 2000: Ocena wykorzystania karbońskich skał płonnych kopalni „Bogdanka” S.A. do rekultywacji bezglebowej. *Wiadomości Górnicze* 12, 541-552
- Bzowski Z., Zawiaślak J., 2005: Aspekt środowiskowy wietrzenia karbońskich odpadów górniczych wykorzystywanych do rekultywacji terenów pogórnich w rejonie Bogdanki. *Miesięcznik WUG*, 6, s. 12-14 / Warsztaty z cyklu „Zagrożenia naturalne w górnictwie”, 25-39
- Bzowski, Z., Dawidowski, A., 2013: Monitoring właściwości fizykochemicznych odpadów wydobywczych pochodzących z Kopalni Węgla Kamiennego LW „Bogdanka”. *Zeszyty Naukowe Inżynieria Środowiska*, 149, 29, 87-96
- Bzowski Z., Zawiaślak J., 2005: Aspekt środowiskowy wietrzenia karbońskich odpadów górniczych wykorzystywanych do rekultywacji terenów pogórnich w rejonie Bogdanki. *WUG: Bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie*, 6, 12-14
- Caruccio F., 1978: Depositional environment of carboniferous sediments – a predictor of coal mine problems [in] *Environmental Management of Mineral Wastes*. Aalpen aan den Rijn, The Netherlands, 127-140.
- Chodyniecka L., Walter A., 1999: Możliwości wykorzystania odpadów przerobczych z KWK "Pokój" (Ruda Śląska) do produkcji ceramiki budowlanej. *Zesz. Nauk. Politech. Śl., Górnictwo*, 243, 21-27.
- Chudy K., Marszałek H., Kierczak J., 2014: Impact of hard-coal waste dump on water quality – A case study of Ludwikowice Klodzkie (Nowa Ruda Coalfield, SW Poland). *J. Geochem. Explor.*, 146, 127-135
- Czernaś K., Sawicki B., Zawiaślak J., 2003: Właściwości fizyczno-chemiczne wody z rowu opaskowego wokół składowiska odpadów przywęglowych w Bogdance w aspekcie jej gospodarczego wykorzystania. *Acta Agrophysica* 1, 1, 55-60
- Dang Z., Liu C., Haigh M., 2002: Mobility of heavy metals associated with the natural weathering of coal mine spoils. *Environ. Pollut.*, 118, 419-426
- Dawidek J., Piszcz J., 2001: Wpływ składowania skał płonnych z kopalni węgla kamiennego na hydrosferę dolnej Świnki [w] *Współczesne problemy hydrogeologii*, t.10/2, X Ogólnopolskie Sympozjum Hydrogeologiczne, Wrocław, 163-170
- Denimal S., Tribovillard N., Barbecot F. et al., 2002: Leaching of coal-mine tips (Nord-Pas-de-Calais coal basin, France) and sulphate transfer to the chalk aquifer: example of acid mine drainage in a buffered environment. *Environ. Geol.* 42, 8, 966-981
- Devasahayam S., 2006: Chemistry of acid production in black coal mine washery wastes *Int. J. Miner. Process.* 79, 1, 1-8

- Drenda J., Domagała L., Różański Z., Poloczek M., Bujok A., 2011: Eksploatacja i możliwości zagospodarowania centralnego zwałowiska odpadów powęglowych Przezchlebie w gminie Zbrosławice. *Górnictwo i Geologia*, 6, 2, 25-37
- Drob J., Gazda L., Kozak Z., 1996: Zmniejszanie zawartości siarki w surowcach ceramicznych z odpadów przywęglowych z KWK "Bogdanka". *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii*, 30, 145-155
- Dulewski J. Madej, B., 2011: Wpływ dyrektywy w sprawie gospodarowania odpadami wydobywczymi na funkcjonowanie zakładów górniczych w Polsce. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, 81, 69-81
- Dulewski J., 2009: Konsekwencje dla przemysłu wydobywczego wynikające z nowych uregulowań prawnych dotyczących odpadów, *Przegląd Górniczy*, 10, 27-32
- Dulewski J., Madej, B., 2006: Odpady wydobywcze – przewidywane zmiany prawne. WUG: bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie 6, 5-8
- Dulewski J., Madej B., Uzarowicz, R., 2010: Zagrożenie procesami termicznymi obiektów zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 26, 3, 125-142.
- Falcon R., 1986: Spontaneous combustion of the organic matter in discards from the Witbank coalfield. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 86, 7, 243-250
- Filipowicz P., Borys M., 2007: Comparative analysis of the geotechnical properties of coal mining wastes from Lublin Coal Basin and from other basins. *Journal of Water and Land Development*, 11, 117-130
- Foos A., 1997: Geochemical modeling of coal mine drainage, Summit Co. Ohio. *Environ, Geol.*, 31, 205-210
- Galos K., 2010: Kruszywa z odpadów przemysłowych i ich znaczenie na krajowym rynku kruszyw mineralnych. *Prace Nauk. Inst. Gór. Politech. Wrocław.*, 130, 37, 57-70.
- Galos K., Szlugaj J., 2010: Skały przywęglowe w górnictwie węgla kamiennego – odpady czy kopaliny towarzyszące? *Górnictwo Odkrywkowe*, 51, 2, 25-31
- Galos K., Szlugaj J., 2014: Management of hard coal mining and processing wastes in Poland. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 30, 4, 51-63
- Gawenda T., Olejnik T., 2008: Produkcja kruszyw mineralnych z odpadów powęglowych w Kompanii Węglowej S.A. na przykładzie wybranych kopalń. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 24, 2/1, 27-42.

- Góralczyk S., 2009: Foresight a problematyka odpadów z górnictwa węgla kamiennego w Polsce. Przegląd Górniczy, 10, 7-15
- Góralczyk S., Baic I., 2009: Odpady z górnictwa węgla kamiennego i możliwości ich gospodarczego wykorzystania. Polityka Energetyczna, 12, 2/2, 145-157
- Grabowska K., Sowa M., 1999a: Ekologiczna ocena wykorzystania odpadów pogórnich z kopalń GSW S.A. dla celów inżynierijno-rekultywacyjnych. Zesz. Nauk. Politech. Śl., Górnictwo, 241, 73-87
- Grabowska K., Sowa M., 1999b: Składowiska odpadów pogórnich jako źródło zanieczyszczenia chlorkami i siarczanami rejonu składowania. Zesz. Nauk. Politech. Śl., 1436, Górnictwo, 243, 55-61
- Grudziński Z., 2005: Analiza porównawcza jakości mułów węgla kamiennego pochodzących z bieżącej produkcji i zdeponowanych w osadnikach ziemnych [w] Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska. Mat. Konf., Koszalin, 671-679
- Gruszka Z., Pruciak-Karasek K., 2011: Zagospodarowanie odpadów poprodukcyjnych – górnich w Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A., zakres działań oraz nowe obowiązki wynikające z wdrożenia ustawy o odpadach wydobywczych. Mat. XXV Konf. Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej, Zakopane.
- GUS, 2014: Ochrona środowiska. Warszawa
- Gwoździewicz M., 2011: Wpływ wietrzenia na migrację zanieczyszczeń w strefie aeracji składowiska odpadów górnich Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Rozprawa doktorska, GIG, Katowice
- Gwoździewicz M., 2012: Wpływ procesu wietrzenia na zmiany wybranych parametrów fizykochemicznych i mechanicznych odpadów wydobywczych w strefie aeracji składowiska Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Biul. PIG 450, 47-56
- Gwoździewicz M., Bukowska M., 2012: Zmiany współczynnika filtracji różnowiekowych odpadów wydobywczych w bryle składowiska "Bogdanka" w świetle badań modelowych oraz in situ. Prace Nauk. GIG, Górnictwo i Środowisko, 1, 47-62
- Gwoździewicz M., 2012: Wpływ procesu wietrzenia na zmiany wybranych parametrów fizykochemicznych i mechanicznych odpadów wydobywczych w strefie aeracji składowiska Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Biuletyn PIG, 450, 47-56.
- Hanak B., Nowak J., 2010: Ocena zawartości wybranych metali oraz składników rozpuszczalnych w glebach i wodzie wokół zwałowisk odpadów powęglowych KWK Nowy Wirek. Górnictwo i Geologia, 5, 4, s. 115-123

- Herzig, J., Szczepańska J., Witczak, S., Twardowska, I., 1986: Chlorides in the carboniferous rocks in the Upper Silesian coal basin. *Fuel*, 65, 1134-1141.
- Hutchinson J., Ellison R. (Eds.), 1992: *Mine Waste Management*. Lewis Publ., Boca Raton, p. 654
- Jabłońska-Czapla M., Szopa S., Rosik-Dulewska C., 2014: Impact of mining dump on the accumulation and mobility of metals in the Bytomka River sediments. *Arch. Environ. Prot.* 40 (2): 3-19
- Janecka-Piela K., 2013: Zadania Inspekcji Ochrony Środowiska w zakresie postępowania z odpadami wydobywczymi. *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, 85, 121-128
- Jarosińska B., Twardowska I., 1991: Własności barierowe odpadów skał karbońskich w stosunku do metali ciężkich migrujących w roztworach wodnych. *Zesz. Nauk. AGH* 1367, *Sozol. i Sozotech.* 31, 87-100
- Jelonek I., Mirkowski Z., Iwanek P., 2010: Analiza własności fizykochemicznych i petrograficznych mułów węglowych w aspekcie ich wykorzystania jako paliwa na przykładzie wybranego obiektu PKE S.A. *Przegląd Górniczy*, 66, 10, 156-160.
- Jelonek I., Mirkowski, 2015: Petrographic and geochemical investigation of coal slurries and of the products resulting from their combustion. *International Journal of Coal Geology*, 139, 1, 228-236.
- Kalin M., 2004: Passive mine water treatment: The correct approach? *Ecol. Engrg.*, 22, 4-5, 299-304
- Kašovská K., Pierzchała Ł., Sierka E., Stalmachová B., 2014: Impact of the salinity gradient on the mollusc fauna in flooded mine subsidences (Karvina, Czech Republic). *Archives of Environmental Protection*, 40, 1, 87-99
- Kefford B., Marchant R., Schafer R., Matzeling L., Dunlop J., Choy S., Goonan P., 2011: The definition of species richness used by species sensitivity distributions approximates observed effects of salinity on stream macroinvertebrates. *Environmental Pollution*, 159, 302–310
- Kefford B., Nuggeoda D., 2005: No evidence for a critical salinity threshold for growth and reproduction in the freshwater snail *Physa acuta*. *Environmental Pollution*, 134, 377–383
- Klojzy-Karczmarczyk B., Mazurek J., 2014: Badania zawartości rtęci i siarki w odpadach z obszaru nieczynnej hałdy odpadów górnictwa węgla kamiennego. *Polityka Energetyczna*, 17, 4, 289-301

- Kłopotek B., 2012: [Przepisy wykonawcze w zakresie gospodarki odpadami wydobywczymi](#)
Przegląd Górniczy, 3, 99-103
- Konstantynowicz E., 1994: Geologia złóż kopalin. Kopaliny energetyczne. Wyd. Uniw. Śl.,
Katowice
- Koperski T., Cukiernik Z., Wiśniewski J., 2008: Aspekty i uwarunkowania związane z
przekształcaniem odpadów wydobywczych w produkty [w] Gospodarowanie
odpadami – stan aktualny i planowane zmiany. Nowe zasady gospodarowania
odpadami wydobywczymi. Mat. Warsztatów, Katowice
- Koperski T., Lech B., 2007 - Produkcja kruszyw z odpadów powęglowych. Pr. Nauk. Inst.
Górn. Politech. Wrocław. 119
- Korban Z., 2011: Problem odpadów wydobywczych i oddziaływania ich na środowisko na
przykładzie zwałowiska nr 5A/W-1 KWK „X”. *Górnictwo i Geologia*, 6, 1, 109-120
- Kotowski W., 2006: Utylizacja i gospodarka odpadami. Wyd. WSEiA, Bytom
- Kowalczyk J., Strzelec G., 2004: Jastrzębska Spółka Węglowa SA – jakość produkcji i
technologia wzbogacania węgla. *Inżynieria Mineralna*, 5, 2, 28-44
- Kozioł W., Uberman R., 1996: Możliwości i warunki zagospodarowania odpadów z górnictwa
i energetyki w drogownictwie, zwłaszcza do budowy autostrad i dróg ekspresowych.
Przegląd geologiczny, 7, 701-709
- Kucharzyk P., 2004: Polsko-Węgierska Spółka Akcyjna „Haldex” – technologia zakładów
przeróbki mechanicznej odpadów górniczych. *Inżynieria Mineralna*, 5, 2, 60–64
- Kugiel M., Piekło R., 2012: Kierunki zagospodarowanie odpadów wydobywczych w
HALDEX S.A. *Górnictwo i Geologia*, 7, 1, 133-145
- Kuhl J., 1955: Petrograficzna klasyfikacja skał towarzyszących pokładom węgla w Zagłębiu
Górnego Śląska. *Prace GIG*, 1971
- Kulczycka J., Uberman R., Cholewa M., 2014: Analiza kosztów i korzyści zagospodarowania
odpadów z górnictwa węgla kamiennego. *Studia Ekonomiczne*, 166, 272-282
- Kuna-Gwoździewicz, 2013: Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w gazach stref
ekshalacyjnych wybranego termicznie aktywnego składowiska odpadów
wydobywczych z górnictwa węgla kamiennego. *Journal of Sust. Min.*, 12, 1, 7-12
- Lawrence R., Sheske M., 1997: A method to calculate the neutralization potential of mining
wastes. *Environ.Geol.*, 32, 100-106
- Lewin I., Smoliński A., 2006: Rare and vulnerable species in the mollusc communities in the
mining subsidence reservoirs of an industrial area (The Katowicka Upland, Upper
Silesia, Southern Poland). *Limnologica*, 36, 181–191

- Lutyński A., Szpyrka J, 2010: Zagospodarowanie droбноziarnistych odpadów ze wzbogacania węgla kamiennego. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 34, 4/1, 155-164
- Majka-Smuszkiewicz A. 1995: Wpływ składowiska skał płonnych Kopalni Węgla Kamiennego „Bogdanka” na wody podziemne i powierzchniowe. *Ekoinżynieria*, 2, 3, 25-30
- Michalik B., 2006: Naturalna promieniotwórczość w węglu kamiennym i stałych produktach jego spalania. *Karbo*, 1, 2-12
- Morawiec A., 1987: Charakterystyka zwałów powęglowych i ich uciążliwości dla środowiska [w] *Problemy jakości, toksyczności, składowania i wykorzystania odpadów przemysłowych oraz komunalnych województwie katowickim.* Konf. Naukowa PTPNoZ, październik 1987, Sosnowiec, 8-23
- Nowak J., 2014: Wpływ stopnia termicznego przeobrażenia odpadów powęglowych na ich skład mineralny i petrograficzny. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 30, 1, 143-160
- Nycz R., Zieleźny A., 2004: Kompania Węglowa S.A. – technologia wzbogacania węgla i jakość produkcji. *Inżynieria Mineralna*, 5, 2, 2-19
- Ostrowicz H., 1969: *Gospodarka odpadami górnictwymi i hutniczymi.* Wyd. Śląsk, Katowice.
- Ostrowski J. (red.), 2001: *Ochrona środowiska na terenach górnictwowych.* Wydawnictwo IGSMIE PAN, Kraków.
- Patrzalek A., 2003: Udział traw w rozwoju zbiorowisk roślinnych w siedliskach trudnych *Arch. Ochr. Środ.*, 29, 2, 57-65
- Patrzalek A., 2010: Rozwój zbiorowiska roślinnego oraz gleby inicjalnej zapoczątkowanej wysiewem traw na zwałowisku odpadów górnictwowych w okresie 30 lat. *Górnictwo i Geologia*, 5, 4, 191-200
- Patrzalek A., Nowińska K., 2013: Rozwój zbiorowisk roślinnych na zwałowiskach odpadów górnictwowych rekultywowanych różnymi metodami [w] *Dzieje górnictwa – element europejskiego dziedzictwa kultury*, 5, 298-305
- Pertile E., Fecko P., Nezvalova L., Guziurek M., Wolfowa R., Tora M., 2010: Wpływ rekultywacji za pomocą odpadów górnictwowych na jakość wód w rejonie Karwiny w Republice Czeskiej. *Inżynieria Mineralna*, 11, 1-2, 33-39
- Pieczyrak J., 2010: Characteristics and engineering usage of waste from coal mining. *Architecture Civil Engineering Environment*, 3, 1, 77-84
- Pietrzykowski M., Kaczmarczyk A., Woś B., Stoces A., 2012: Stan zagospodarowania leśnego zrekultywowanych zwałowisk odpadów górnictwa węgla kamiennego przekazanych

- pod administrację Nadleśnictwa Brynek (RDLP w Katowicach) [w] Zagrożenia naturalne w górnictwie. Mat. Symp., 309-315
- Pietrzyk-Sokulska E., 1995: Wpływ podziemnej eksploatacji i przeróbki węgla kamiennego na środowisko przyrodnicze w Polsce. Wyd. CPPGSMiE PAN, Kraków
- Pikoń K., Bugla J., 2007: Emisja ze zrehabilitowanych zwałowisk stożkowych. Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, 6, 55-70
- Plewa F., Mysiek Z., 2001: Zagospodarowanie odpadów przemysłowych w podziemnych technologiach górniczych. Monografia Politech. Śl., 23
- Poznański Cz., 2004: Wzbogacanie węgla w zakładach przerobczych należących do Południowego Koncernu Węglowego. Inżynieria Mineralna, 5, 2, 65-74
- Ratomski J, Zapał A., 2002: Badania fizyczno-chemiczne wód odciekowych z odpadów kopalnianych węgla kamiennego i ich wpływ na środowisko w aspekcie wykorzystania w budownictwie ziemnym. Czasopismo Techniczne, Środowisko, 2, 149-163
- Ribeiro J., Ferreira da Silva E., Li Z., Ward C., Flores D., 2010: Petrographic, mineralogical and geochemical characterization of the Serrinha coal waste pile (Douro Coalfield, Portugal) and the potential environmental impacts on soil, sediments and surface waters. International Journal of Coal Geology, 83, 456–466
- Rosik-Dulewska Cz., 2006: Podstawy gospodarki odpadami. PWN, Warszawa
- Różański Z., 2009: The potential gas emission from a thermally active coal waste dump. Górnictwo i Geologia, 4, 3, 103-109
- Rózkowski J., Chmura A., 1997: Zagrożenia użytkowych wód podziemnych składowaniem odpadów pogórnich w rejonie Rybnika [w] Współczesne problemy hydrogeologii t. 8 / VIII Ogólnopolskie Sympozjum Hydrogeologiczne, Kiekrz, 243-246
- Rózkowski J., Chmura A., 2000: Zagrożenia środowiska wodnego związane ze składowaniem odpadów pogórnich w rejonie Rybnika [w] Środowisko przyrodnicze regionu górnośląskiego – stan poznania, zagrożenia i ochrona. Konf. Naukowa, Sosnowiec-Tarnowskie Góry, 19-20 października 2000, 111-116
- Rubin J. A., 2005: Promieniotwórczość naturalna wybranych odpadów górniczych. Zesz. Nauk. Politech. Śl., Górnictwo, 270, 477-484.
- Sarga-Gaczyńska M., 2007: Dynamika generowania ładunków zanieczyszczeń na składowiskach odpadów górniczych i jej wpływ na środowisko wodne. Rozprawa doktorska, AGH, Kraków

- Shaver S., Hower J., Eble C. et al., 2006: Trace element geochemistry and surface water chemistry of the Bon Air coal, Franklin County, Cumberland Plateau, southeast Tennessee. *Int. J. Coal Geol.* 67, 1-2, 47-78
- Sierka E., Molenda T., Chmura D., 2009: Environmental repercussion of subsidence reservoirs reclamation. *Journal of Water and Land Development*, 13a, 41-52
- Sierka E., Sierka W., 2008: The effect of flooded mine subsidence on thrips and forest biodiversity in the Silesian Upland of Southern Poland – a case study. *Acta Phytopathol. Entomol. Hung.*, 43, 1, 345-353
- Singer P., Stumm W., 1970. Acidic mine drainage: the rate-determining step. *Science*, 167, 1121-1124
- Skarżyńska K., 1997: Odpady węglowe i ich zastosowanie w inżynierii lądowej i wodnej. Wyd. Akademii Rolniczej, Kraków
- Sokół W., Tabor A., 1996: Problemy zagospodarowania odpadów powęglowych z górnictwa węgla kamiennego w Polsce. *Przegląd Geologiczny*, 7, 710-715
- Stalmachova B., 1997: Watered depressions as ecological phenomena in regions affected by mining activities. *Proc. Mine Planning and Equipment Selection*. Rotterdam, Balkema, 979-984
- Stefaniak S, Twardowska I., 2011: Impact of residual coal extraction from hard coal mining waste dumps on groundwater salinity. *Desalin Water Treat*, 33 (1-3), 53-60
- Stefaniak S., 2006: Migracja zanieczyszczeń z warstwy odpadów górnictwa węgla kamiennego w środowisku gruntowo-wodnym w różnych warunkach deponowania. Rozprawa doktorska, GIG, Katowice
- Stefaniak S., Twardowska I., 2003a: Modelowanie transportu zanieczyszczeń w antropogenicznej strefie aeracji na przykładzie składowiska odpadów górnictwa węglowego [w] *Współczesne problemy hydrogeologii t. 11 / XI Ogólnopolskie Sympozjum Hydrogeologiczne*, Jastrzębia Góra, 479-482
- Stefaniak S., Twardowska I., 2003b: Modelowanie zanieczyszczeń wód strefy aeracji i saturacji w rejonie składowiska odpadów górniczych za pomocą programu KYSPILL. *Zesz. Nauk. Politech. Śl., Górnictwo*, 256, 209-214
- Stefaniak S., Twardowska I., 2005a: Zmiany jakości wód podziemnych w wyniku reeksploatacji i redeponowania odpadów górnictwa węglowego [w] *Współczesne problemy hydrogeologii t. 12 / XII Ogólnopolskie Sympozjum Hydrogeologiczne*, Toruń, s.859-862.

- Stefaniak S., Twardowska I., 2005b: Zmiany w profilu pionowym antropogenicznej strefy aeracji w wyniku reeksploatacji i redeponowania odpadów górnictwa węglowego. Zesz. Nauk. Politech. Śl., Górnictwo, 267, 269-276
- Stefaniak S., Twardowska I., 2010: Reuse of coal mining wastes: environmental benefits and hazards. Environmental Engineering III / Conference: 3rd Congress of Environmental Engineering, Lublin, 311-316
- Strugała A., Makowska D., Bytnar K., Rozwadowska T., 2014: Analiza zawartości wybranych pierwiastków krytycznych w odpadach z procesu wzbogacania węgla kamiennego. Polityka Energetyczna, 17, 4, 77-88
- Strzyszczyk Z., 1989: Ocena przydatności odpadów górniczych GZW do rekultywacji biologicznej. Arch. Ochr. Środ., 1-2, 91-124
- Strzyszczyk Z., 1995: Bezglebowa metoda rekultywacji biologicznej zwałowisk odpadów górnictwa węgla kamiennego. Wiadomości Górnicze, 6, 253
- Strzyszczyk Z., 2004: Bezglebowa metoda rekultywacji terenów przemysłowych w woj. śląskim. Osiągnięcia i zagrożenia. Roczniki Geoboznawcze t. LV, 2, 405-418
- Strzyszczyk Z., Harabin Z., 2004: Rekultywacja i biologiczne zagospodarowanie odpadów górnictwa węgla kamiennego ze szczególnym uwzględnieniem centralnych zwałowisk. Prace i Studia IPIŚ PAN, 61
- Sybilski D. (red.), 2004: Ocena i badania wybranych odpadów przemysłowych do wykorzystania w konstrukcjach drogowych. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa
- Szczepańska J., 1987: Zwałowiska odpadów górnictwa węgla kamiennego jako ogniska zanieczyszczeń środowiska wodnego. Zesz. Nauk. AGH, Geologia, 35
- Szczepańska J., Krawczyk J., 1994: Ocena warunków migracji jonu Cl w strefie aeracji składowiska odpadów górniczych GZW. Badania w obiekcie modelowym. Mat. Konf. Ekologia w górnictwie a geofizyka, 19-21 października 1994, Ustroń, 243-251
- Szczepańska J., Quan N. A., Malczyk A., 1996: Ocena szybkości rozkładu siarczków żelaza w odpadach górnictwa węglowego GZW. Ekoinżynieria 6, 13, 17-24
- Szczepańska J., Twardowska I., 1986: Chlorki w odpadach skał karbońskich Górnego Śląskiego Zagłębia Węglowego i ich wpływ na środowisko wodne w otoczeniu zwałowisk. Kwartalnik Geologiczny, 30, 2, 331-346
- Szczepańska J., Twardowska, 1987: Coal mine spoil tips as a large area sources of water contamination [in] Reclamation, Treatment and Utilization of Coal Mining Wastes, Elsevier, Amsterdam, 267-280

- Szczepańska, J., and Twardowska, I., 1999: Distribution and environmental impact of coalmining wastes in Upper Silesia, Poland. *Environ. Geol.* 38, 3, 249-258
- Szczepańska-Plewa J., Twardowska I. Miszczak E., 2012: Wiązanie Potencjalnie Toksycznych Pierwiastków (PTP) w składowiskach odpadów górnictwa węgla kamiennego jako czynnik ochrony środowiska wodnego. *Przegląd Górniczy* 3, 117-124
- Tokarska-Guzik B., Rostański A., 1996: Rola zatopisk (zalewisk) pogórnich w renaturalizacji przemysłowego krajobrazu Górnego Śląska. *Przegląd Przyrodniczy*, 7, 3-4, 267-272
- Twardowska I., 1981: Mechanizm i dynamika ługowania odpadów karbońskich na zwałowiskach. *Prace i Studia IPIŚ PAN*, 25
- Twardowska I., 1990: Buffering capacity of coal mine spoils and fly ash as a factor in the protection of the aquatic environment. *Sci. Total Environ.*, 91, 177-189
- Twardowska I., Kyzioł J., Szczepańska J., Quan, N.A., 1997: Przestrzenno-czasowa zmienność jakości wód podziemnych w otoczeniu składowiska odpadów górnictwa węglowego na tle gospodarki odpadami i warunków hydrogeologicznych [w] *Współczesne problemy hydrogeologii t. 8, VIII Ogólnopolskie Sympozjum Hydrogeologiczne*, Kiekrz, 255-259
- Twardowska I., Stefaniak S., Szczepańska J., 2007: High-volume mining waste disposal [in] *Solid Waste: Assessment, Monitoring and Remediation. Waste Management Series vol. 4*, 865-909
- Twardowska I., Szczepańska J., Witczak S. 1988: Wpływ odpadów górnictwa węgla kamiennego na środowisko wodne. Ocena zagrożenia, prognozowanie, zapobieganie. *Prace i Studia IPIŚ PAN*, 35
- Waksmańska, M. Madej, B. Dulewski, J., 2008: Ustawa o odpadach wydobywczych i jej wpływ na działalność górnictw. *WUG: bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie*, 12, 3-8
- Wojciechowski I., 2000: Przyrodnicze aspekty przekształceń terenów przez działalność górnictw na obszarze Lubelskiego Zagłębia Węglowego. *Konf. Naukowa XXV lat Lubelskiego Zagłębia Węglowego*, Lublin, 93-104
- Wróbel J., Fraś A., Przysaś R., Hycnar, J., Tora, B., 2013: Uboczne produkty wzbogacania węgla źródłem paliw i kruszyw. *Gospodarka odpadami poprodukcyjnymi w kopalniach Południowego Koncernu Węglowego SA. Karbo*, 3, 200-208.

Zapał A, Ratomski J, 2007: Geotechniczna ocena przydatności odpadów kopalnianych w hydrotechnicznym budownictwie ziemnym. Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej, 2, 227-237