



Wykorzystanie odpadów z przemysłu wydobywczego i hutnictwa w drogownictwie

Paweł Wowkonowicz, Anna Bojanowicz-Bablok, Barbara Gworek
Instytut Ochrony Środowiska
– Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

1. Wprowadzenie

W artykule omówione zostały doświadczenia krajowe i zagraniczne w zakresie wykorzystania odpadów z hutnictwa (żużle wielkopiecowe, stalownicze i metali kolorowych) oraz odpadów z przemysłu wydobywczego, głównie węgla (łupki węglowe, rozdrobniony materiał skalny ze zwałowisk odpadów górniczych).

Przedstawiono również aspekty środowiskowe wykorzystania tych odpadów oraz sposoby wyeliminowania ewentualnego zagrożenia dla środowiska związanego z ich stosowaniem.

2. Odpady z hutnictwa

Odpady z hutnictwa to odpady pochodzące z bezpośredniej produkcji żelaza, stali oraz metali kolorowych. Odpady hutnicze można podzielić na następujące podgrupy (Sybilski i in. 2004):

- żużel wielkopiecowy kawałkowy, powstający w procesie wytopu surówki z rudy żelaza i dodatków mineralnych przy wolnym studzeniu,
- żużel wielkopiecowy granulowany, powstający w procesie wytopu surówki z rudy żelaza i dodatków mineralnych przy szybkim studzeniu w wodzie,
- żużel stalowniczy, będący produktem ubocznym wytopu stali z surówki żelaza w piecu konwertorowym lub elektrycznym,
- żużle metali kolorowych (pomiedziowy, ponikłowy, połowiowy i pocynkowy).

Zastosowanie żużli hutniczych w drogownictwie obejmuje:

- skarpy, nasypy, niwelacja terenu,
- podbudowy stabilizowane mechanicznie,
- podłoże nawierzchni,
- warstwę wiążącą,
- warstwę ścieralną.

Żużle hutnicze są wykorzystywane w budownictwie drogowym głównie jako kruszywo. Do tego celu używa się (Gawlicki i Małolepszy 2015):

- żużle wielkopiecowe,
- żużle stalownicze,
- żużle pomiedziowe,
- żużle ponikłowe.

Żużle wielkopiecowe stosowane w drogownictwie nie stwarzają istotnych problemów, pochodzą głównie z zagospodarowania starych hałd, gdyż obecne technologie wytopienia surówki żelaza zapewniają uzyskiwanie żużli granulowanych, które są atrakcyjnym surowcem dla przemysłu cementowego.

Żużle pomiedziowe są również wytwarzane jako granulaty. Uznawane są za wartościowy materiał dla drogownictwa o zadawalających parametrach użytkowych. Nie stwarzają również problemów związanych z trwałością konstrukcji drogowej, do której budowy zostały użyte (Gawlicki i Małolepszy 2015).

Jedynym rodzajem żużla spośród wymienionych wyżej żużli metalurgicznych, który może stwarzać problemy w zapewnieniu odpowiedniej trwałości konstrukcji drogowej jest żużel stalowniczy zawierający znaczne ilości niezwiązanego tlenu magnezu – peryklazu. Tlenek ten jest silnie spieczony i bardzo powoli reaguje z wodą, a produktem reakcji jest wodorotlenek magnezu, o zwiększonej objętości w porównaniu do objętości tlenu magnezu. Przyrost objętości materiału może doprowadzić do deformacji wierzchniej warstwy konstrukcji drogowej, a nawet do jej zniszczenia. Podobne zagrożenie może być spowodowane występowaniem w żużlach niezwiązanego tlenu wapnia. W celu uniknięcia zmian objętości w konstrukcjach drogowych należy stosować żużle sta-

lownicze po dostatecznie długim okresie sezonowania, zapewniającym przekształcenie się tlenków magnezu i wapnia w odpowiednie wodorotlenki (Gawlicki i Małolepszy 2015).

Żużle do wykorzystania w drogownictwie mogą pochodzić z odpadów pochodzących z bieżącej produkcji albo z odpadów nagromadzonych na składowiskach.

W przypadku kruszyw produkowanych z odpadów zdeponowanych na składowiskach np. żużli stalowniczych i wielkopieczowych, problemem są kończące się zasoby lub nawet ich całkowite wykorzystanie (w przypadku niektórych obiektów), do produkcji kruszyw sztucznych. Podobne problemy dotyczą kruszyw produkowanych z odpadów zdeponowanych na składowiskach odpadów z hutnictwa metali nieżelaznych, głównie miedzi i cynku (Adamczyk i Dylewski 2010).

Z kolei produkcja kruszyw wtórnych z odpadów pochodzących z bieżącej działalności jest ściśle uzależniona od kondycji ekonomicznej (lub rentowności) danej branży, a ich ilość skorelowana jest z wielkością produkcji (wydobycia):

- w przypadku żużli stalowniczych i wielkopieczowych ich ilość wynosi ok. 30% wielkości produkcji stali,
- w przypadku żużli pomiedziowych ich ilość wynosi ok. 190% wielkości produkcji miedzi.

W odniesieniu zarówno do żużli z hutnictwa stali, jak i miedzi można mówić o całkowitym, bieżącym ich wykorzystaniu do produkcji kruszyw.

2.1. Wykorzystanie żużli hutniczych w Polsce i na świecie

W Polsce recyklingiem żużla powstającego w trakcie procesu wytapiania miedzi w piecach szybowych Huty Miedzi Głogów zajmował się najpierw oddział produkcji kruszyw firmy KGHM Ecoren, który został uruchomiony w Głogowie w czerwcu 2004 roku, a po przejęciu Ecoren – KGHM Metraco. Produktem końcowym recyklingu jest kruszywo drogowe, które może znaleźć zastosowanie do:

- budowy dróg i autostrad (grys do produkcji asfaltobetonów, mieszanki na podbudowy, na warstwy mrozo odporne, odsączające i jako składnik odziarniający, na podbudowy pomocnicze nawierzchni przydatnych i półsztywnych, na warstwy nasypów w strefie przemarzania),

- budowy drogi na nasypie z kruszywa pomiedziowego (www.metaco.pl).

W krajach Europy Zachodniej w konstrukcji warstw nawierzchni drogowych powszechnie wykorzystywane są żużle wielkopieczowe granulowane oraz stalownicze z procesu w piecu konwertorowym.

W Wielkiej Brytanii z ponad 1 mln Mg żużli powstających w procesie konwertorowym 100% poddawanych jest recyklingowi, z czego 98% jako kruszywo, wykorzystywane głównie w produkcji betonu i asfaltu (Huang i in. 2007).

Przeprowadzone badania w zakresie wykorzystania żużli w drogownictwie obejmowały:

- ocenę wykonalności wykorzystania żużli stalowniczych z pieca elektrycznego jako zamiennika kruszyw naturalnych w nawierzchniach asfaltowych (wyniki badań mikrostrukturalnych z użyciem skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM), mikroskopii optycznej (OM), dyfrakcji promieni rentgenowskich (XRD) i spektroskopii dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego (EDS) wykazały, że materiał może być z powodzeniem stosowany w tym celu (Sofilic i in. 2010),
- ocenę, w badaniach terenowych, właściwości mieszanek asfaltowych z dodatkiem żużli stalowniczych z pieca elektrycznego, które wykazały zadowalające wyniki pod względem właściwości przeciwpoślizgowych i tekstury nawierzchni; wyniki badań prowadzonych na dwóch odcinkach autostrady wybudowanych z dodatkiem żużla w odstępie 30 i 41 miesięcy wykazały niewielkie różnice we właściwościach; porównanie właściwości warstw ścieralnych odcinka testowego oraz odcinka autostrady z betonu asfaltowego wybudowanego w tym samym okresie z wykorzystaniem kruszyw naturalnych wykazało podwyższone właściwości mechaniczne warstw ścieralnych nawierzchni z dodatkiem żużla (Liapis i Likoydis 2012),
- możliwość wykorzystania żużla stalowniczego z pieca elektrycznego jako zamiennika naturalnego kruszywa wapiennego do przygotowania mieszanek mineralno-asfaltowych na ciepło (wyniki wykazały poprawę cyklicznego modułu sprężystości oraz wytrzymałości na rozciąganie, a także zmniejszenie wrażliwości mieszanki na działanie wody oraz odkształcenia trwałe) (Mahmoud i in. 2013),

- wykorzystanie żużli z pieca konwertorowego do przygotowania mieszanek asfaltu porowatego oraz mastyksu grysowego (SMA); wyniki badania odporności na deformacje trwałe pod cyklicznym obciążeniem oraz badania sztywności wskazują, że przygotowane mieszanki spełniały wymagania standardów technicznych UE i mogły być stosowane w budowie dróg; autorzy rekomendowali przeprowadzenie zaawansowanych analiz mikrostrukturalnych w celu pełnego określenia możliwości wykorzystania żużli w mieszankach asfaltowych (Mon 2015).

2.2. Wpływ na środowisko odpadów hutniczych

Skład chemiczny żużli zależy od procesów metalurgicznych, w których powstały i będzie wpływać na środowisko przy wykorzystaniu w drogownictwie.

W tabeli 1 przedstawiono zawartość pierwiastków w różnych żużlach, które mogą stanowić zagrożenie dla środowiska. Zestawienie zostało wykonane na podstawie wyników z ponad 70 badań (Piatak i in. 2015). Zawartość pierwiastków porównana została do poziomów granicznych dla gleb terenów mieszkaniowych i przemysłowych określonych w przepisach amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (USEPA 2010) oraz Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME 2007). Składniki uwalniane z żużli podczas wietrzenia i oddziaływania wód powierzchniowych i podziemnych mogą mieć szkodliwy wpływ na środowisko. Wyniki prowadzonych badań wskazują, że z niektórych żużli są wymywane wybrane substancje a ich stężenia w odciekach skorelowane są z ich zawartością w żużlach. Ponadto stwierdzono, że charakterystyka odcieków żużli metali żelaznych jest bardzo różna od odcieków żużli metali nieżelaznych (Piatak i in. 2015).

Autor ten wykazał, że wartość pH odcieków pochodzących z żużli powstających przy wytopie rud żelaza jest wyższe niż żużli powstających przy wytopie rud metali nieżelaznych.

Ponadto z odcieków pochodzących z żużli powstających przy wytopie rud żelaza wymywane są znaczne ilości chromu i niekiedy manganu, podczas gdy z odcieków żużli metali kolorowych najwyższą wymywalnością charakteryzują się arsen, kadm, kobalt, ołów i cynk.

Tabela 1. Przekroczenia wartości granicznych przez pierwiastki śladowe obecne w żużlach (Piatak et al. 2015)

Table 1. Elements that may be of environmental concern based on bulk chemistry by slag type (Piatak i in. 2015)

Pierwiastek	Rodzaj żużla						
	Stalowniczy	Fe	Ni z rudy laterytowej	Ni z rudy siarczkowej	Cu	Pb	Zn
As	**	**			**	**	**
Ba						**	
Cd					*		
Co				**	**	**	
Cr	**	*	**		**		**
Cu					**		
Mn	**	**	**			**	
Ni				*			
Pb					**	**	**
Zn					**	**	**
* – stężenie okazjonalnie przekracza wartości graniczne							
** – stężenie powszechnie przekracza wartości graniczne							

Badania nad wykorzystaniem różnych rodzajów żużli w materiałach budowlanych wskazały, że podczas stosowania tych materiałów może dochodzić do wymywania do środowiska pierwiastków śladowych (Piatak i in. 2015). Wykorzystanie żużla pocynkowego do budowy prywatnych dróg dojazdowych, dróg i podłoży kolejowych doprowadziło do zanieczyszczenia gleb pierwiastkami śladowymi. Badania wymywania z materiałów budowlanych, głównie cementów, zawierających żużle pocynkowe i połówkowe, prowadzone podczas testów laboratoryjnych i pilotażowych, wskazały że dochodzi do wymywania cynku i ołowiu i jedynie tylko niektóre z żużli mogą być bezpiecznie wykorzystane. Z kolei badania wymywania prowadzone na mieszankach asfaltowych zawierających żużel z pieców łukowych (EAF) wykazały, że nie dochodzi do znaczącego uwalniania chromu i innych pierwiastków śladowych sugerując, że materiały te mogą być z powodzeniem stosowane (Piatak i in. 2015).

Na zwałowisku w Rudzie Śląskiej badano zeszkłone odpady po produkcji cynku i ołowiu, gdzie stwierdzono, że charakteryzują się one niską zawartością metali ciężkich oraz niewielką wymywalnością. Ponadto zaobserwowano słabe zwietrzenie długoletnio składowanych odpadów. Badania te wykazały, że odpady te mogą być wykorzystane w drogownictwie jako jeden z kompozytów do produkcji kruszyw. Odpady hutnicze charakteryzują się zróżnicowanym chemizmem, co wskazuje na konieczność indywidualnego badania zwałowisk. Takie podejście pozwoli wyeliminować ewentualne zagrożenia dla środowiska związane ze stosowaniem tych odpadów (Jonczy i in. 2014).

3. Odpady z górnictwa węgla kamiennego

Wydobycie węgla kamiennego prowadzi do wytwarzania dużych ilości odpadów górniczych, powstających podczas drążenia nowych szybów i chodników, a potem również w wyniku prac eksploatacyjnych i przerobczych. Zagospodarowanie tych odpadów stanowi poważny problem, ponieważ możliwości zakładów górniczych dalszego składowania materiałów na hałdach są już w dużej mierze ograniczone. Odpady poeksploatacyjne z nadkładu i przewarstwień płonnych mogą mieć różnorodne zastosowanie, zwłaszcza do wytwarzania kruszyw różnej jakości, budowy nasypów, utwardzania dróg dojazdowych.

Odpady górnicze ze względu na przydatność oraz sposób i warunki ich wykorzystania w budownictwie drogowym możemy podzielić na (Sybilski i in. 2004):

- łupki przywęglowe nieprzepsalone (surowe) pobrane bezpośrednio z płuczki węglowej,
- łupki przywęglowe nieprzepsalone składowane co najmniej jeden rok na hałdzie,
- łupki odwęglone z wtórnej przeróbki mechanicznej łupka nieprzepsalonego świeżego lub składowanego co najmniej jeden rok na hałdzie,
- łupki przywęglowe przepsalone (czerwone),
- odpady zawierające skaliste i nieskaliste grunty z robót przygotowawczych.

Łupki przywęglowe nieprzepsalone zwane są potocznie czarnymi. Wykorzystanie surowych nieprzetworzonych odpadów gruboziarnistych jest znacznie utrudnione ponieważ materiał ten nie wypełnienia prze-

strzeni międzyziarnowych i tym samym jest niestabilny (w wyniku postępującej z biegiem czasu destrukcji uziarnienia) oraz podatny na możliwości samozapalenia zawartych w nim okruchów węgla. Łupki przywęglowe przeważnie zwałowane są na składowiskach wspólnie z innymi odpadami górnictwa. W wyniku niekontrolowanego wymieszania łupka surowego z innymi odpadami zawierającymi niejednokrotnie duże fragmenty twardych skał, obudowy górniczej, uszkodzonych maszyn i urządzeń, materiał może być wykorzystywany selektywnie głównie jako substytut gruntów naturalnych i kruszyw kamiennych (Sybilski i in. 2004).

Łupek odwęglony stanowi materiał uzyskany z zakładów przetwórczych. Szczególnie korzystnymi właściwościami fizycznymi i chemicznymi charakteryzuje się materiał uzyskany z rozbiórki i przeróbki przesezonowanych hałd odpadów pogórnictwa. Przetworzony materiał na frakcję o ϕ 0-45 mm charakteryzuje się jednorodnym ciągłym uziarnieniem oraz zmniejszoną w stosunku do łupka surowego zawartością węgla, jak również zmniejszoną ilością najstłabszych ziaren podatnych na zmianę uziarnienia w procesie zagęszczania materiału lub działania wody i mrozu, co znacznie rozszerza możliwości jego wykorzystania w robotach ziemnych (Sybilski i in. 2004).

Łupki przywęglowe przepalone zwane potocznie czerwonymi lub łupkoporytami stanowią materiał uzyskany w wyniku przeobrażenia zachodzącego podczas procesu przepalania hałdy. Przepalony materiał tworzy czasami duże zwarte (spieczone) bryły, które powinny być rozkruszone przed jego wykorzystaniem. Dobrze przepalony łupek jest materiałem stosunkowo lekkim i wystarczająco odpornym na działanie wody i mrozu, co jest szczególnie ważne przy formowaniu nasypów na gruntach małonośnych, podmokłych lub budowy nasypów i warstw ochronnych narażonych na przemarzanie (Sybilski i in. 2004).

Do grupy odpadów z górnictwa węgla kamiennego należą również skaliste i nieskaliste grunty wydobywane w czasie prowadzonych robót przygotowawczych i udostępniających złoża węgla kamiennego. Odpady z tej grupy zawierają często duże ilości związanego materiału w postaci fragmentów piaskowca. W zależności od właściwości fizykomechanicznych selektywnie pozyskany materiał może być wykorzystany do produkcji kruszyw do warstw nośnych nawierzchni drogowych lub warstw ochronnych wzmacniających podłoże nawierzchni (Sybilski i in. 2004).

3.1. Wykorzystanie odpadów z górnictwa węgla kamiennego w Polsce i na świecie

Do budowy nasypów można stosować wszystkie rodzaje odpadów górniczych pod warunkiem odpowiedniego ich wykorzystania (Sybilski i in. 2004). Przez lata skała płonna (nieprzepalony łupek węglowy) przez brak odpowiednich norm, możliwości technicznych lub braku zainteresowania ze strony kopalń traktowana była jako odpad wydobywczy i składowana na hałdach. W Zakładach Górniczych PKW S.A. urobek węglowy oprócz głównego produktu – węgla kamiennego zawiera około 20-30% skały płonnej. Ze względu na konieczność minimalizacji ilości wytwarzanych odpadów górniczych, przyjęto różne kierunki wykorzystania skały płonnej, w tym w drogownictwie jako kruszywo do nasypów drogowych (Grupa Tauron 2010).

Najbardziej pożądanym do produkcji kruszyw sztucznych (wtórnych), wykorzystywanych w budowie dróg, jest łupek czerwony, którego dostępne zasoby na wszystkich składowiskach, czy też bryłach rekultywacyjnych należy oszacować na ok. 25-30 mln Mg, co stanowi niespełna 5% zdeponowanych odpadów powęglowych. Rozbiórka składowisk w celu pozyskania łupka czarnego jest biznesowo nieopłacalna. Szacuje się, że w 2012 r. produkcja kruszyw pochodzących ze składowanych odpadów powęglowych wynosiła w przybliżeniu ok. 2,0 mln Mg, w zdecydowanej większości łupka czerwonego (Ochrona Środowiska 2016). W najbliższych latach należy oczekiwać zmniejszenia zdolności produkcyjnych kruszyw sztucznych (głównie hutniczych oraz łupka przepalonego), z powodu wyczerpania bazy zasobowej starych składowisk. Uzupełnienie utraconych zdolności może nastąpić poprzez powszechniejsze wykorzystanie odpadów górniczych pochodzących z bieżącej produkcji (Machniak i Kozioł 2014).

Na podstawie badań fizykomechanicznych i chemicznych odpadów wydobywczych z 20 kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, w których oceniono nasiąkliwość, mrozoodporność badaną jako ubytek masy oraz zagęszczalność jako gęstość maksymalną uzyskaną przy wilgotności optymalnej, zawartości naturalnych radionuklidów można stwierdzić, że odpady pogórnice mogą być wykorzystywane jako surowce i materiały m.in. do prac budowlanych i drogowych (Bzowski 2011).

Wykorzystywane gospodarczo są głównie odpady gruboziarniste (zarówno górnicze jak i przeróbcze). Główne kierunki ich zastosowań to:

produkcja kruszyw do prac inżynierskich i budowy dróg, produkcja cementu i ceramiki budowlanej. W przypadku produkcji kruszyw, stosowane są dwa rodzaje odpadów: odpady z górnictwa węgla kamiennego surowe oraz samoczynnie wypalony łupek powęglowy. Najważniejszym producentem kruszyw z odpadów z górnictwa węgla kamiennego surowych jest Haldex S.A. z czterema zakładami przeróbczymi oraz dwoma węzłami krusząco-sortującymi. Łączna produkcja kruszyw w zakładach Haldex S.A. przekracza 3 miliony Mg/r. Produkcja kruszyw łupkoporytowych z łupka wypalonego jest prowadzona przez kilkanaście małych firm na łącznym poziomie ponad 0,5 mln Mg/r. Należy się spodziewać, że wszystkie wytworzone na tej drodze kruszywa znajdą zastosowanie gospodarcze, choćby na nasypy drogowe (Galos i Szlugaj 2014).

W południowej Brazylii badano możliwość wykorzystania odpadów węgla kamiennego do produkcji kostki betonowej. Wyniki wykazały, że rodzaje odpadów rozważanych w tej pracy, z powodzeniem mogą zastępować konwencjonalny piasek, w postaci drobnego kruszywa, do produkcji betonowych kostek brukowych. Praktyka ta może współpracować z czystsza produkcją węgla (Santos i in. 2013).

Przez lata prowadzono badania nad zagospodarowaniem i sposobami wykorzystania skały płonnej w celu zminimalizowania kosztów utylizacji i szkodliwego oddziaływania na środowisko. Postępowanie to spowodowało, że w Niemczech, Anglii, Francji, Belgii, Holandii, a także w Polsce, wykorzystano wiele ton odpadów, m. in. przy budowie dróg, jednak efektywne wykorzystanie skały płonnej w drogownictwie i innych obszarach gospodarki, jest nadal dużym problemem, szczególnie w aspekcie bezpieczeństwa, aspektów ekonomicznych i ochrony środowiska (Skarżyńska 1995). Występuje pilna konieczność opracowania kompleksowego programu zagospodarowania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego oraz umieszczenia w rządowych programach restrukturyzacji górnictwa węglowego oraz energetyki odpowiednich zapisów dotyczących odpadów i ich wykorzystania, jak i realizacja projektów badawczych dotyczących opracowania alternatywnych technologii gospodarczego wykorzystania odpadów z górnictwa węgla kamiennego (Góralczyk i Baic 2009).

Charakterystyczną cechą odpadów górniczych jest zróżnicowanie mineralno-petrograficzne. Skały pochodzące z odpadów charakteryzują się odmiennymi właściwościami fizykomechanicznymi, co decyduje o ich właściwościach użytkowych (Góralczyk i Baic 2009). Do poprawy

parametrów jakościowych skał płonnych dla ich gospodarczego wykorzystania, konieczne jest stosowanie mechanicznych procesów przerobczych, których celem jest eliminacja przerostów węgla, skał o słabej wytrzymałości na ściskanie oraz innych zanieczyszczeń i wtrąceń, jak i również poprawa tekstury skał. Wyniki badań wskazują, że po zastosowaniu przeróbki mechanicznej i uszlachetnieniu większość odpadów górniczych można zastosować do podbudowy z betonu asfaltowego przy zastosowaniu domieszki kruszyw o wysokiej mrozoodporności lub jako kruszywo do betonu (Góralczyk i Baic 2009).

Łupek przywęglowy czerwony jest od kilku do kilkunastu razy droższy od łupka czarnego w zależności od miejsca jego zakupu. Dlatego też występuje większe zainteresowanie łupkiem nieprzepsalonym czarnym jako kruszywem i sposobami jego wbudowania w strukturę drogowych budowli ziemnych, mimo że łupek czerwony ma zdecydowanie korzystniejsze parametry od łupka nieprzepsalonego. Na budowie węzła „Sośnica” użyto głównie łupek czarny z KWK Sośnica, dowożony z hałdy lub bezpośrednio z zakładu sortowniczego kopalni. Zastosowanie produktów ubocznego spalania i odpadów wstępnej obróbki węgla kamiennego pozwala na skuteczniejszą weryfikację bilansu zasobów kruszyw naturalnych w kraju. Stosunkowo niska cena takich materiałów pozwala na optymalizowanie kosztów wykonania drogowych budowli ziemnych (Gradkowski i Wszyński 2010).

Wykorzystanie odpadów z górnictwa węgla kamiennego w budownictwie drogowym jest ograniczone określonymi wymaganiami co do jakości materiału. Przeprowadzone badania materiału z hałdy Przezchlebie, wykazały, że może być on wykorzystany do robót inżynierskich drogowych. Zakład Eksploatacji Hałdy Przezchlebie Sp. z o.o., wykorzystując dogodną lokalizację hałdy w stosunku do budowanej autostrady A1, pozyskał kontrahentów na odbiór odpadów z górnictwa węgla kamiennego. Odpady zostały przekazane do odzysku na terenie budowy autostrady A1 na odcinku Piekary Śląskie-Maciejów. Odzysk odpadów polega na wykorzystaniu ich do wypełniania i utwardzania terenów niekorzystnie ukształtowanych przy budowie dróg oraz do formowania wałów, nasypów kolejowych i drogowych, przebudowy dróg i autostrad. Nieprzepsalone odpady z górnictwa węgla kamiennego mogą być stosowane na dolne warstwy nasypów, tj. poniżej strefy zamarzania (Drenda i in. 2011).

3.2. Wpływ na środowisko

Skład chemiczny odpadów górniczych i pogórnich jest istotny ze względu na możliwe zanieczyszczenia środowiska wskutek wymywania z odpadów rozpuszczalnych soli (chlorki i siarczany) oraz metali ciężkich (Baran i Antonkiewicz 2017). Odczyn odpadów decyduje o oddziaływaniu na inne materiały konstrukcyjne takie jak beton, stal i geosyntetyki. Uważa się, że odpady z górnictwa węgla kamiennego ze świeżej produkcji oraz odpady odpowiednio długo składowane (infiltracja wody opadowej powoduje z czasem obniżenie wymywania i stężenia zawartych w nich substancji chemicznych, w tym łatwo rozpuszczalnych soli) nie wykazują przekroczenia substancji szkodliwych dla środowiska. Ponadto przy zachowaniu ostrożności i stosowaniu w miarę potrzeb odpowiednich zabezpieczeń, takich jak dobre zagęszczenie odpadów (ogranicza erozję i możliwość samozapłonu) czy odpowiedni drenaż, ekrany i warstwy ochronne (ograniczają możliwość wymywania z odpadów szkodliwych substancji chemicznych), wykorzystanie odpadów z górnictwa węgla kamiennego w nasypach komunikacyjnych nie stanowi istotnego zagrożenia dla środowiska (Sybilski i in. 2004).

4. Podsumowanie

Odpady z przemysłu wydobywczego i hutnictwa mogą być wykorzystane jako materiał w drogownictwie, jednak wcześniej należy ocenić ich oddziaływanie na środowisko i ludzi (Prawo Ochrony Środowiska 2001).

Niektóre materiały mogą zostać wykorzystane w drogownictwie, bez szkody dla środowiska, jedynie przy zastosowaniu odpowiednich zabezpieczeń takich jak zagęszczenie odpadów, odpowiedni drenaż, ekrany czy warstwy ochronne.

Wymywanie pierwiastków śladowych z odpadów z przemysłu wydobywczego i hutnictwa stanowi największe ryzyko wykorzystania tych odpadów jako materiał w budownictwie drogowym.

W przypadku, gdy odpady z hutnictwa czy górnictwa po przeróbce spełniają parametry określone w odpowiednich normach dopuszczających do stosowania materiałów w konstrukcjach drogowych, stają się one pełnowartościowym produktem (Sybilski i in. 2004).

Szczegółowe informacje na temat możliwości odzysku poszczególnych rodzajów odpadów (w tym odpadów z hutnictwa i górnictwa) oraz warunków ich odzysku w procesach odzysku R3, R5, R11 i R12 zostały zawarte w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami (2015).

Praca wykonana w ramach realizacji projektu pt. „Wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu” w ramach przedsięwzięcia „RID” współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych u Autostrad.

Literatura

- Adamczyk, J., Dylewski, R. (2010). Recykling odpadów budowlanych w kontekście budownictwa zrównoważonego, *Problemy Ekorozwoju*, 5(2), 125-131.
- Baran, A., Antonkiewicz, J. (2017). Phytotoxicity and extractability of heavy metals from industrial wastes. *Environment Protection Engineering*, 43(2), 143-155.
- Bzowski, Z. (2011). Możliwości wykorzystania odpadów wydobywczych z kopalń węgla kamiennego (GZW) w pracach budowlanych, drogowych i hydrotechnicznych, *Wiadomości Górnicze*, 62(6), 317-324
- Council of Ministers of the Environment (CCME), (2007). *Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health: Summary Tables*.
- Drenda, J., Domagała, L., Różański, Z., Poloczek, M., Bujok, A. (2011). Eksploatacja i możliwości zagospodarowania centralnego zwałowiska odpadów powęglowych Przechlebie w Gminie Zbrosławice, *Górnictwo i Geologia*, 6(2).
- Galos, K., Szlugaj, J. (2014). Management of hard coal mining and processing wastes in Poland. *Gospodarka surowcami mineralnymi*, R. 30, 51-64.
- Gawlicki, M., Małolepszy, J. (2015). Wykorzystanie odpadów przemysłowych w drogownictwie – zagrożenia, *Nowoczesna Gospodarka Odpadami*, 1-2(8).
- Góralczyk, S., Baic, I. (2009). Odpady z górnictwa węgla kamiennego i możliwości ich gospodarczego wykorzystania. *Polityka Energetyczna*, 12(2).
- Gradkowski, K., Wyszynski, K. (2010). Ulepszanie i wzmacnianie warstw gruntów ubocznymi materiałami spalania i odpadowymi w drogowych budowlach ziemnych. *Drogownictwo*, 3, 87-90.
- Grupa Tauron, Południowy Koncern Węglowy, *Produkcja kruszyw w Południowym Koncernie Węglowym S.A.*, wrzesień 2010.
- www.metaco.pl, dostęp dnia 4 października 2017 r.

- Huang, Y., Bird, R.N., Heidrich, O. (2007). A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements, *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 58-73.
- Jonczy, I., Huber, M., Lata, L. (2014). Zeszkłone odpady hutnicze po produkcji cynku i ołowiu ze zwałowiska w Rudzie Śląskiej w aspekcie badań mineralogiczno-chemicznych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, 30(1), 161-174.
- Liapis, I., Likoydis, S., (2012). Use of electric arc furnace slag in thins skid-resistant surfacing. *Transport research arena, Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 48, 907-918.
- Machniak, L., Kozioł, W. (2014). *Kruszywa alternatywne – baza zasobowa i kierunki wykorzystania w budownictwie*. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza.
- Mahmoud, A., Saeid, H., Hadi, G. (2013). Laboratory evaluation of warm mix asphalt mixtures containing Electric Arc Furnace (EAF) steel slag, *Construction and Building Materials*, 49, 611-617.
- Moon, K.H. (2015). Remarks on the use of electric arc furnace (EAF) steel slag in asphalt mixtures for flexible pavements, *International Journal of Highway Engineering*, 17(1), 25-33.
- Ochrona Środowiska. 2016. *Informacje i opracowania statystyczne*. Warszawa, GUS.
- Piatak, N.M., Parsons, M.B., Seal, R.R., (2015). Characteristics and environmental aspects of slag: A review, *Applied Geochemistry*, 57, 236-266.
- Prawo ochrony środowiska. 2001. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001, Dz.U. nr 62, poz. 627. z późniejszymi zmianami.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 maja 2015 r. w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami, Poz. 796.
- Santos, C. S., Amaral, Filho, J. R., Candiota, Tubino, R. M., Homrich, Schneider I. A. (2013). Use of Coal Waste as Fine Aggregates in Concrete Paving Blocks. *Scientific Research*, 3, 54-59.
- Skarżyńska, K. M. (1995). Reuse of coal mining wastes in civil engineering. Part 2: Utilization of minestone. *Waste Management*, 15(2).
- Sofilic, T., Maldenovic, A., Sofilic, U. (2010). Characterization of the EAF steel slag as aggregate for use in road construction, *Chemical Engineering Transactions*, 19, 117-123.
- Sybilski D., Kraszewski C., i in., (2004). *Ocena i badania wybranych odpadów przemysłowych do wykorzystania w konstrukcjach drogowych*. Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), (2010). *Regional Screening Levels (Formerly PRGs)*, <http://www.epa.gov/region9/superfund/prg/index.html>, dostęp dnia 4 października 2017 r.

Use of Thermal Metallurgy and Mining Waste in Road Construction

Abstract

Thermal metallurgy wastes are used in road construction mainly as aggregates. The chemical composition of wastes used in road construction depends on the metallurgical processes in which they arise and those influence their behavior in the environment. Metallurgy wastes during weathering and penetration of surface and groundwater can release components that can have harmful effects on the environment therefore only some of them can be safely used in road construction. Mining waste can be used as raw materials and materials for road construction and works when used appropriately. The chemical composition of mining waste is significant due to possible environmental contamination by leaching soluble salts. With caution and appropriate protection, the use of mining waste in the road construction does not pose a significant threat to the environment.

Streszczenie

Odpady hutnicze są wykorzystywane w budownictwie drogowym głównie jako kruszywo. Skład chemiczny żużli stosowanych w drogownictwie zależy od procesów metalurgicznych, podczas których powstały. Składniki uwalniane z żużli podczas wietrzenia fizycznego i chemicznego będą głównie oddziaływać na wody powierzchniowe i podziemne, przez co mogą mieć szkodliwy wpływ na środowisko. Część odpadów hutniczych może być bezpiecznie wykorzystana w drogownictwie.

Odpady górnicze mogą być wykorzystywane jako surowce i materiały m.in. do prac budowlanych i drogowych pod warunkiem odpowiedniego ich wykorzystania. Skład chemiczny odpadów górniczych jest istotny ze względu na możliwe zanieczyszczenia środowiska poprzez wymywanie z odpadów rozpuszczalnych soli. Przy zachowaniu ostrożności i stosowaniu odpowiednich zabezpieczeń wykorzystanie odpadów górniczych do budowy nasypów komunikacyjnych nie stanowi istotnego zagrożenia dla środowiska.

Słowa kluczowe:

odpady hutnicze, odpady wydobywcze, odpady górnicze

Keywords:

metallurgy waste, mining waste, road construction