

Badania w instalacji pilotowej w Regulicach przydatności odpadów przeróbczych z wybranych kopalń węgla kamiennego do produkcji kruszyw mineralnych

Testing of pilot installation in Regulice for usability of tailings from selected coal mines in the production of mineral aggregates



*Dr hab. inż. Krzysztof Galos**



*Mgr inż. Jarosław Szlugaj**

Treść: Produkcja kruszyw z odpadów z górnictwa i przeróbki węgla kamiennego rozwijana na Górnym Śląsku stanowi istotną alternatywę dla kruszyw naturalnych, konkurując z nimi głównie pod względem ceny, przy spełnieniu podstawowych wymagań jakościowych. Uruchomiona pilotowa instalacja demonstracyjna do produkcji kruszyw z odpadów powęglowych w Laboratorium Akademii Górniczo-Hutniczej w Regulicach może być ważnym narzędziem umożliwiającym wstępne badanie odpadów powęglowych pod kątem produkcji kruszyw. W instalacji tej w 2013 r. poddano badaniom odpady gruboziarniste 20-150 mm ze wzbogacania węgla w separatorach cieczy ciężkiej, pochodzące z kopalń Katowickiego Holdingu Węglowego: „Wujek” i „Mysłowice-Wesoła” (Ruch „Wesoła”). Otrzymano mieszankę 4-31,5 mm oraz materiał drobnoziarnisty niskoenergetyczny 0-4 mm. Mieszanka 4-31,5 mm otrzymana na bazie odpadu z kopalni „Wujek” wykazała lepsze parametry jakościowe niż otrzymana na bazie odpadu z kopalni „Wesoła”: odporność na rozdrabnianie w bębnie Los Angeles 29% (Wesoła - 34%), mrozoodporność 14,1% ubytku masy (Wesoła - 17,2%), zawartość węgla 5,1% (Wesoła - 6,0%). Produkt drobnoziarnisty 0-4 mm niskoenergetyczny otrzymany na bazie odpadu z kopalni „Wesoła” wykazujący wartość opałową 9,4 MJ/kg przy niskiej zawartości siarki może okazać się przydatny do przygotowywania mieszanek paliwowych z miałem węglowym. Analogiczny produkt na bazie odpadu z kopalni „Wujek” jest pod tym względem mniej atrakcyjny.

Abstract: Production of mineral aggregates from coal mining and processing wastes developed in Upper Silesia is a significant alternative for natural aggregates, competing with them mainly on price, if basic quality requirements are achieved. From several years coal mines and research institutes are engaged in scientific research on development of aggregates production technology from mining wastes through modification of existing coal processing plants or separate mining wastes processing lines. The pilot installation, which was implemented in the framework of “MIN-NOVATION - Mining and Mineral Processing Waste Management Innovation Network” can be an important facility enabling initial study on mining wastes as a source of mineral aggregates. The installation is located in the Central Laboratory of Blasting Techniques and Explosives in Regulice and belongs to the Faculty of Mining and Geoengineering at the AGH University of Science and Technology. In 2013 the pilot installation tested the coarse mining wastes from coal processing plants (20–150 mm), coming from the gravity beneficiation stage (heavy liquids washers) in two hard coal mines of Katowicki Holding Węglowy, e.g.: Wujek and Myslowice-Wesola, Wesola division. During processing of coal mining wastes two products: crushed mineral aggregate 4-31.5 mm and fine-grained low-energetic product 0-4 mm, were obtained. The mix 4-31.5 from Wujek coal processing wastes demonstrated better quality parameters than the one from wastes in Wesola mine. It refers to Los Angeles abrasion loss which amounted to 29% (Wesola - 34%), freeze resistance - 14.1% of weight loss (Wesola - 17.2%), total coal content 5.1% (Wesola - 6.0%). The calorific value of fine-grained low energetic product 0-4 mm obtained from wastes from Wesola mine amounted to 9.4 MJ/kg, with relatively low sulphur content, so this product can be useful in preparation of fuel mixes with coal fines. Analogous product 0-4 mm obtained from wastes in Wujek mine seems to be less attractive as a fuel mix component.

*) Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie; Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Słowa kluczowe:

odpady powęglowe, kruszywa mineralne, mieszanki dla drogownictwa, odzysk odpadów

Key words:

coal refuse, mineral aggregates, mixes for road engineering, recovery of waste

1. Wprowadzenie

Kruszywa mineralne pozyskiwane są tradycyjnie przede wszystkim w wyniku eksploatacji odpowiednich złóż kopalni oraz przeróbki mechanicznej tych kopalni. Dążenie do minimalizacji ilości powstających odpadów przemysłowych (w szczególności pochodzących z górnictwa i przeróbki kopalni) przyczynia się w istotny sposób do coraz szerszego wykorzystywania niektórych spośród tych odpadów do produkcji kruszyw mineralnych. Stanowią one istotną alternatywę dla kruszyw naturalnych, niekiedy konkurując z nimi pod względem parametrów jakościowych, a niemal zawsze – pod względem ceny. Do jednych z najważniejszych grup kruszyw pozyskiwanych z odpadów przemysłowych zaliczyć należy kruszywa z odpadów z górnictwa i przeróbki węgla kamiennego, których produkcja jest systematycznie rozwijana w ostatniej dekadzie, szczególnie na Górnym Śląsku.

Przydatność niektórych odpadów z górnictwa i przeróbki węgla kamiennego pod kątem produkcji kruszyw była w ostatnich latach przedmiotem rozlicznych badań na skalę zarówno laboratoryjną, jak i przemysłową, przy wprowadzaniu zróżnicowanych rozwiązań technologicznych w zakresie przeróbki odpadów pod kątem otrzymywania kruszyw mogących znaleźć zastosowanie głównie w budownictwie drogowym, ale także hydrotechnicznym. Uruchomiona w ramach realizacji projektu „MIN-NOVATION – Sieć innowacji w zarządzaniu odpadami górnictwem i przeróbką” [1] pilotowa instalacja demonstracyjna do produkcji kruszyw z odpadów powęglowych pochodzących z płuczek cieczy ciężkich w Centralnym Laboratorium Techniki Strzelniczej i Materiałów Wybuchowych Akademii Górniczo-Hutniczej w Regulicach, stała się ważnym narzędziem do badań wybranych odpadów powęglowych pod kątem produkcji kruszyw na skalę ćwierćtechniczną. Po analizie rodzajów powstających odpadów z górnictwa i przeróbki węgla kamiennego oraz ocenie dotychczasowych kierunków rozwoju produkcji kruszyw na bazie tych odpadów, zaprezentowano zarówno samą instalację, jak też wstępne wyniki badań otrzymanych kruszyw na bazie wybranych odpadów z przeróbki węgla kamiennego.

2. Podstawowe rodzaje odpadów z górnictwa i przeróbki węgla kamiennego oraz kierunki ich wykorzystania gospodarczego

Odpady w górnictwie węgla kamiennego są rezultatem eksploatacji węgla kamiennego z pokładów zawierających także m.in. osadowe skały płonne wieku karbońskiego, które następnie są separowane na etapie przeróbki mechanicznej urobku. Do grupy tej należą także mniejsze ilości skał płonnych, urabianych i wydobywanych na powierzchnię w wyniku robót przygotowawczych i udostępniających w kopalniach. Ze względu na pochodzenie odpady te zasadniczo dzieli się na dwie grupy:

- 1) Odpady z górnictwa węgla kamiennego - stanowiące zwykle kilka % łącznej ilości odpadów tej grupy, pochodzące bezpośrednio z robót przygotowawczych i udostępniających, o uziarnieniu niejednorodnym dochodzącym do 500 mm;
- 2) Odpady z przeróbki węgla kamiennego – stanowiące zwykle ponad 90% łącznej ilości odpadów tej grupy,

powstające w wyniku procesów wzbogacania węgla, w zależności od stosowanych urządzeń i technologii wzbogacania które dzielą się na:

- odpady gruboziarniste ze wzbogacania w separatorach cieczy ciężkiej – uziarnienie jednorodne w przedziale 20-200 mm, przy udziale substancji węglowej 5-15%, zawartości siarki całkowitej poniżej 1% i wilgoci rzędu 4-6%;
- odpady drobnoziarniste ze wzbogacania w osadzarkach wodnych – jednorodny skład mineralny i uziarnienie do 20 mm, przy wyższym udziale substancji węglowej i siarki oraz wyższej wilgoci;
- odpady ze wzbogacania flotacyjnego – o bardzo drobnym uziarnieniu, wysokiej zawartości substancji węglowej, siarki całkowitej i wilgoci oraz obecności pozostałości odczynników flotacyjnych i flokulantów [4, 11].

Pod względem petrograficznym głównymi składnikami odpadów przerobczych są - w zmiennych proporcjach - ilowce lub ilupłuki oraz mułowce, w mniejszej ilości piaskowce, z wiodącym z reguły udziałem ilowców. Skład petrograficzny odpadów przerobczych otrzymywanych w poszczególnych kopalniach węgla kamiennego jest zróżnicowany, co wynika zarówno z budowy geologicznej i rodzaju skał towarzyszących pokładom węgla, jak też technologii wzbogacania, np. w rejonie Jastrzębia czy Bytomia udział ilowców i łupków ilastych może niekiedy sięgać 90%, a we wschodniej części Górnosląskiego Zagłębia Węglowego udział piaskowców może niekiedy sięgać 70% [13, 9].

Ilość wytwarzanych w górnictwie węgla kamiennego odpadów górnictwowych i przerobczych systematycznie zmniejsza się wraz z malejącym wydobyciem surowego węgla kamiennego oraz produkcją jego handlowych sortymentów. Jeszcze dwadzieścia lat temu było to 50-60 mln ton/rok odpadów, w 2000 r. ok. 40 mln ton, a ostatnio już tylko niespełna 30 mln ton/rok. Zdecydowaną większość (ok. 90%) stanowią odpady przerobcze ze wzbogacania węgla w osadzarkach, cieczach ciężkich i z obiegów wodno-mułowych, ok. 5% odpady flotacyjne, a pozostałą część - odpady górnictwowe [7].

Mimo malejącej ilości powstających odpadów powęglowych, ostatnie lata przyniosły rozwój nowych technologii umożliwiających lepsze ich wykorzystanie. Poza jednym z możliwych podejść, tj. takim prowadzeniem procesów wzbogacania, aby - obok węgla - otrzymywać od razu drugi produkt (np. kruszywa), coraz bardziej powszechne staje się prowadzenie odzysku uznawanej za odpad skały płonnej, z otrzymywaniem m.in. kruszyw, surowców do produkcji materiałów budowlanych oraz węgla [8]. Przedmiotem szczególnego zainteresowania, ze względu na dość szerokie możliwości ich wykorzystania gospodarczego, są odpady przerobcze gruboziarniste ze wzbogacania w separatorach cieczy ciężkiej oraz powstające w niewielkich ilościach gruboziarniste odpady górnictwowe z robót przygotowawczych i udostępniających. Do głównych obecnie kierunków zagospodarowania tych odpadów powęglowych zaliczyć należy: budownictwo inżynieryjne, hydrotechniczne i drogowe, w tym produkcję kruszyw dla tych celów, produkcję surowców do produkcji cementu i ceramiki budowlanej, odzysk węgla i produkcję surowców niskoenergetycznych (mułów) do spalania w elektrowniach, wreszcie ich stosowanie jako materiału podsadzkowego do podsadzania wyrobisk podziemnych [3].

3. Produkcja kruszyw na bazie surowych odpadów z przeróbki węgla kamiennego

Głównym podmiotem zajmującym się kompleksowym wykorzystaniem odpadów powęglowych (górnictwych i przerobczych) na Górnym Śląsku jest firma Haldex S.A., prowadząca swą działalność od roku 1959. Od 2008 r. wchodzi ona w skład grupy kapitałowej Kompanii Węglowej S.A., pełniąc rolę operatora w zakresie zagospodarowania odpadów powęglowych z kopalń należących do Kompanii Węglowej S.A. W swoich zakładach Haldex S.A. odpady powęglowe wykorzystuje kompleksowo i niemal bezodpadowo, pozyskując z nich m.in. węgiel w postaci mialu energetycznego, surowiec ilasty (tzw. łupek) dla ceramiki budowlanej i do produkcji cementu, kruszywa dla budownictwa drogowego, materiały do robót inżynierskich i rekultywacyjnych, oraz materiał użytkowany do celów podszadzenia podziemnych wyrobisk w kopalniach węgla [8]. W ostatnim czasie ważnym elementem działalności firmy stała się produkcja – na bazie odpadów powęglowych z kopalń Kompanii Węglowej S.A. – pełnowartościowego, certyfikowanego kruszywa o różnym uziarnieniu, składającego się ze zróżnicowanych proporcji ilowców, mułowców i piaskowców.

Obecnie przeróbka odpadów powęglowych z odzyskiem węgla i kruszyw przez firmę Haldex S.A. prowadzona jest w trzech starszych zakładach: Z-1 Michał w Siemianowicach Śląskich, Z-2 Szombierki w Bytomiu i Z-6 Brzezinka w Mysłowicach-Brzezince, a także w dwóch nowych zakładach, uruchomionych w latach 2011-2012: Z-12 Panewniki w Mikołowie i Z-3 Makoszowy w Zabrze (łącznie zdolności przerobcze pięciu zakładów to ponad 18000 t/d). W wymienionych zakładach ciąg technologiczny składa się z etapu przygotowania nadawy, klasyfikacji wstępnej na ruszcie wałkowym (80 mm), kruszenia frakcji >80 mm w kruszarce szcegłkowej, drugiego etapu klasyfikacji na przesiewaczu wibracyjnym (45 mm), dokruszania frakcji >45 mm, klasyfikacji w hydrocyklonach z cieczą ciężką, przemywania, odwadniania, klasyfikacji z wydzieleniem koncentratu mialu energetycznego 0-20 mm i groszku węglowego 20-45 mm, odwadniania i klasyfikowania materiału odpadowego z hydrocyklonów z otrzymaniem łupka ceramicznego 0-3 mm dla cementu i ceramiki budowlanej oraz kruszywa 3-45 mm [10].

W zakładach Haldex S.A. pozyskiwano od lat kruszywo 3-45 mm mające charakter mieszaniny karbońskich łupków ilastych, ilowców, mułowców i piaskowców, przy wyraźnej przewadze łupków ilastych oraz niskim z reguły udziale piaskowców (do 10%). Mieszanina taka charakteryzuje się zróżnicowaną nasiąkliwością oraz zwykle niską mrozoodpornością, znajdując zastosowanie w robotach inżynierskich (budownictwo drogowe, hydrotechniczne itp.), do rekultywacji zdegradowanych terenów, do budowy elementów składowisk odpadów, oraz do podszadzenia wyrobisk górniczych. Dokonane w ostatnim czasie modyfikacje procesu technologicznego pozwoliły na zmianę asortymentu wytwarzanych kruszyw, z wydzieleniem także kruszyw o grubszym uziarnieniu, m.in.: 0-31,5, 10-31,5, 0-63, 0-200 i 63-150 mm. Łączna produkcja tych kruszyw w wymienionych zakładach w 2008 r. osiągnęła około 1,8 mln t, w tym ok. 30% kruszyw o uziarnieniu >31,5 mm [8], a po uruchomieniu kolejnych zakładów w 2012 r. przekroczyła 3 mln ton/rok. W ostatnich latach „Haldex” S.A. zaczął także przerabiać odpady niezanieczyszczone węglem (odpady górnicze z robót udostępniających), które są kierowane na mobilne węzły krusząco-sortujące, gdzie produkowane są frakcje ziarnowe kruszyw zgodne z wymaganiami odbiorców. Działalność tę „Haldex” S.A. prowadzi obecnie w dwóch węzłach krusząco-sortujących: Knurów (w rejonie szybu Aniołki KWK

„Knurów”) i „Rydułtowy” (na terenie KWK „Rydułtowy” Ruch II Anna) o łącznej zdolności przerobczej 4000 t/d i produkcji rocznej przekraczającej 0,7 mln ton kruszyw/rok.

4. Innowacyjne technologie produkcji kruszyw na bazie odpadów powęglowych

Od kilku lat krajowe kopalnie węgla kamiennego w współpracy z wyspecjalizowanymi firmami oraz instytutami badawczymi prowadziły dalsze badania nad możliwościami wykorzystania poszczególnych rodzajów odpadów powęglowych do produkcji kruszyw, które mogłyby być wykorzystywane głównie w budownictwie drogowym (podbudowy dróg) i hydrotechnicznym (nasypy, obwałowania rzek, tamy itp.). Uzyskiwanie takich kruszyw może odbywać się albo w istniejących zakładach przeróbki mechanicznej węgla po modyfikacji ciągu technologicznego, albo w odrębnych zakładach przeróbki odpadów. W tym drugim przypadku instalacja powinna być ukierunkowana na możliwość zarówno odzysku węgla (lub materiału niskoenergetycznego), jak i kruszyw o jak najlepszych parametrach jakościowych.

Odpady z przeróbki węgla kamiennego, a w szczególności wytwarzane w największych ilościach odpady gruboziarniste ze wzbogacania w separatorach cieczy ciężkiej, wykazują duże zróżnicowanie składu litologicznego, co zależne jest m.in. od: miejsca pochodzenia (z której kopalni i z którego poziomu wydobywania pochodzi urobek, w wyniku przeróbki którego otrzymywane są dane odpady) oraz stosowanej technologii przeróbki węgla. Czynniki te decydują o opracowaniu i wyborze właściwej technologii przeróbki oraz o możliwych kierunkach zastosowania otrzymanego kruszywa. Kluczowe znaczenie ma również zawartość węgla organicznego w tych odpadach [3].

W ostatnich latach podjęto kilka prób opracowania i wdrożenia innowacyjnego podejścia i zastosowania technologii przeróbki odpadów pod kątem produkcji kruszyw. Wymienić tu należy przede wszystkim:

- Działania Kompanii Węglowej S.A. wraz z firmą Haldex S.A. pod kątem rozpoznania możliwości wydzielenia instalacji przydatnych do produkcji lub odzysku kruszyw z odpadów w układach technologicznych zakładów przeróbki mechanicznej węgla poszczególnych kopalń, m.in. z wydzieleniem strumieni odpadów z poszczególnych węzłów technologicznych wzbogacania węgla i odrębnego ich odbioru do odzysku w kierunku kruszywowym. Przeprowadzono m.in. badania wstępne typu kruszyw na zgodność z normą PN-EN 12424:2004; badano odpady z kilku kopalń: „Rydułtowy” (Ruch I Rydułtowy i Ruch II Anna), „Jankowice”, „Chwałowice” oraz „Marcel”. Kruszywa 4-63 mm otrzymane z odpadów z KWK „Rydułtowy” i KWK „Marcel” można zakwalifikować – według dawnych norm PN - jako kruszywo klasy II, a kruszywa z odpadów z KWK „Chwałowice” i „Jankowice” jako kruszywo pozaklasowe [9]. Przydatność takich kruszyw w budownictwie jest z reguły ograniczona, np. w budowie dróg zazwyczaj do warstw nieprzemarzających, do budowy dróg lokalnych nieulepszonych itp.
- Koncepcję rozbudowy instalacji odzysku kruszyw w KWK „Bielszowice” z odpadu przerobczego 20-200 mm. Odpad po oczyszczeniu z magnetytu i odwodnieniu na przesiewaczach jest rozsiewany na frakcje ziarnowe <200, <100 i 100-200 mm i kierowane do zbiorników produktów. Dalsze udoskonalenie procesu przeróbki miaoby zapewnić uzyskanie kruszyw o węższych klasach ziarnowych (0-31,5, 31,5-63 i 63-100 mm) niż dotychczas [5]

- Badania nad możliwością pozyskiwania kruszywa z odpadów powęglowych 12 kopalń należących do Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A., Katowickiego Holdingu Węglowego S.A. i Południowego Koncernu Węglowego S.A. prowadzone przez Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie [12]; wykazały, że jednym z warunków efektywnego pozyskiwania kruszywa dobrej jakości musi być selektywne gromadzenie odpadów powęglowych z różnych etapów wzbogacania. W odniesieniu do odpadu przerobczego gruboziarnistego <200 mm najbardziej efektywnym sposobem na otrzymanie kruszywa o zadowalających parametrach jest proces kilkukrotnego rozdrabniania z międzyoperacyjnym przesiewaniem, z ewentualną dodatkową separacją gęstościową [7]. Niektóre z uzyskanych produktów mogą być stosowane m.in.: na podbudowy drogowe w różnych kategoriach dróg od KR1 do KR6; a nawet do mieszanek do betonu asfaltowego przy zastosowaniu domieszki kruszyw o wysokiej mrozoodporności oraz jako kruszywo do betonu przy zastosowaniu odpowiednich dodatków i ulepszczy poprawiających jakość gotowego wyrobu [12];
- Badania podjęte w Południowym Koncernie Węglowym S.A. (obecnie: Tauron Wydobywanie S.A.) nad opracowaniem i wdrożeniem technologii produkcji mieszanin kruszywowo-spoiwowych (mieszanek kruszywowych uszlachetnionych), z wykorzystaniem produkowanego z odpadu przerobczego tzw. kruszywa skalnego PKW oraz dodatków w postaci spoiw hydraulicznych lub popiołów lotnych ze spalania węgla pochodzących z elektrowni Południowego Koncernu Energetycznego S.A. (obecnie: Tauron Wytwarzanie S.A.). Instalacja taka o działaniu ciągłym wybudowana została na podstawie włoskiej technologii przez firmę Ciepela Technology Promotion najpierw w ZG Sobieski, a następnie w ZG Janina. Wyselekcjonowane kruszywo PKW jest mieszane z określoną ilością i rodzajem spoiwa (popioły lotne, cement, wapno) wg jednej z opracowanych receptur, co poprawia m.in. ich wytrzymałość na ściskanie, przy zmniejszeniu podatności na pęcznienie. Otrzymywane mieszanki mogą znajdować zastosowanie w budowie nasypów komunikacyjnych, niwelacji terenów oraz do budowy wałów przeciwpowodziowych [14].

5. Pilotowa instalacja demonstracyjna w Regulicach

Stacjonarna pilotowa instalacja demonstracyjna do produkcji kruszywa z odpadów z przeróbki węgla kamiennego została uruchomiona w ramach realizacji projektu „MIN-NOVATION”. Jest ona zlokalizowana w Centralnym Laboratorium Techniki Strzelniczej i Materiałów Wybuchowych Akademii Górniczo-Hutniczej w Regulicach koło Alwerni [1, 2].

Z instalacji (rys. 1) na skalę ćwierćtechniczną – (w wyniku przeróbki odpadów gruboziarnistych 20-150(200) mm ze wzbogacania w separatorach cieczy ciężkiej) – otrzymujemy kruszywa łamane odpowiednie dla budownictwa drogowego oraz – jako koprodukt – drobnoziarnisty materiał niskoenergetyczny 0-4 mm, przydatny do spalania w tradycyjnych elektrowniach węglowych wraz z energetycznym miałem węglowym.

Aby osiągnąć podany cel, zaprojektowano i wykonano stacjonarny układ technologiczny kruszenia i przesiewania odpadów powęglowych przerobczych gruboziarnistych 20-150(200) mm, pochodzących ze wzbogacania grawitacyjnego



Rys. 1. Instalacja do przeróbki odpadów powęglowych przerobczych gruboziarnistych w Regulicach (fot. J. Szluga)

Fig. 1. Installation for processing of wastes from the processing coal refuse in Regulice (photo J. Szluga)

urobku węglowego w separatorach cieczy ciężkiej zawieszonyj z wybranych kopalń węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Odpad taki jest mieszkanką ziaren piaskowców, mułowców i ilowców (łupków ilastych), wykazując zwykle następujące właściwości: ścieralność w bębnie Los Angeles >35%, mrozoodporność (ubytek masy) >30%, zawartość węgla >12%. Linia technologiczna składa się z węzła kruszącego i węzła przesiewającego, pozwalając na uzyskanie mieszanki 4-31,5 mm potencjalnie przydatnej dla budownictwa drogowego (rys. 1). Dzięki selektywnemu odsiewaniu ziaren drobnych, otrzymany i usuwany jest materiał drobnoziarnisty 0-4 mm, wzbogacony w minerały ilaste i substancję organiczną. Zakładano, że taki układ technologiczny, z tego typu odpadów powęglowych przerobczych, miał pozwolić na otrzymanie mieszanki 4-31,5 mm o następujących właściwościach: odporność na rozdrabnianie w bębnie Los Angeles <30%, mrozoodporność (ubytek masy) <20%, zawartość węgla <8%.

Proces przeróbki jest realizowany w instalacji z zastosowaniem kruszarki udarowej listwowej oraz układu klasyfikacji ziarnowej w przesiewaczu wibracyjnym dwupokładowym. Właściwości głównego produktu końcowego zależą od właściwości użytego odpadu oraz parametrów procesu, w tym szerokości szczeliny w kruszarce i jej obrotów, a także rozmiaru sit w przesiewaczu. Podczas kruszenia w kruszarce udarowej skały słabsze (łupki, ilowce, częściowo mułowce) ulegają rozdrobnieniu w większym stopniu, stąd w większej części są kierowane do produktu drobnoziarnistego 0-4 mm, podczas gdy twardsze ziarna (piaskowców, częściowo mułowców) są słabiej rozdrabniane i kierowane w większej części do produktu 4-31,5 mm. Skutkuje to wyższym (w stosunku do nadawy) udziałem ziaren twardszych w produkcie 4-31,5 mm, a tym samym pewną poprawą parametrów fizykomechanicznych tego produktu kruszywowego. Proces rozkruszania przyczynia się także do uwalniania substancji węglowej występującej w przerabianym materiale w formie przesterów, a następnie jej kierowania w większości do produktu drobnoziarnistego 0-4 mm. Nadziarno >31,5 mm jest zwracane do procesu kruszenia.

Instalacja pilotowa jest zlokalizowana w zaadoptowanym dawnym garażu maszyn. Jej wydajność wynosi – w zależności od ustawień urządzeń – 0,6-1,5 t/h i zależy głównie od wydajności kruszarki udarowej. Całość instalacji znajduje

się wewnątrz budynku, na zewnątrz znajdują się tylko boksy z odpadem podlegającym przeróbce oraz z otrzymywanymi produktami. Odpad 20-150 mm jest kierowany do kosza zasypowego (3 m³), skąd jest podawany przenośnikiem taśmowym do kruszarki udarowej listwowej M5. Skruszony materiał jest kierowany na przesiewacz sitowy wibracyjny dwupokładowy, gdzie następuje klasyfikacja na materiał drobnoziarnisty 0-4 mm, mieszankę 4-31,5 mm oraz nadziarno >31,5 mm, zawracane do kosza zasypowego i następnie do kruszarki. Mieszanka 4-31,5 mm i materiał drobnoziarnisty 0-4 mm są kierowane przenośnikami taśmowymi do pojemników produktów, które są następnie okresowo opróżniane do boksów produktów. Całość instalacji jest odpylana dzięki urządzeniu odpylającemu będącemu jej integralną częścią.

Założono, że otrzymywana w instalacji mieszanka 4-31,5 mm (alternatywnie: 4-16 mm) może być przydatna do niektórych warstw konstrukcji dróg, a także do budowy inżynierskich (wały przeciwpowodziowe, tamy). Zakładano także, że uzysk mieszanki 4-31,5 mm będzie się mieścił w przedziale 50-60% (w zależności od charakterystyki użytego odpadu), a materiału drobnoziarnistego 0-4 mm – pozostałe 40-50%. Materiał drobnoziarnisty miał być wzbogacony w substancję węglową, stąd potencjalnie mógł być traktowany jako materiał niskoenergetyczny.

6. Wyniki badań otrzymanych produktów

W okresie czerwiec-sierpień 2013 r. w uruchomionej instalacji pilotowej w Regulicach poddano badaniom odpady powęglowe gruboziarniste 20-150 mm ze wzbogacania w separatorach cieczy ciężkiej, pochodzące z dwóch kopalń Katowickiego Holdingu Węglowego: „Wujek” i „Mysłowice-Wesoła” (Ruch „Wesoła”) (rys. 2). Wielkość prób odpadów wykorzystanych do badań wynosiła w każdym przypadku około 300 kg. Jako produkty zastosowanego procesu otrzymano mieszankę 4-31,5 mm (rys. 3) oraz materiał drobnoziarnisty 0-4 mm (rys. 4). W przypadku otrzymanej mieszanki 4-31,5 mm określono następnie jej skład ziarnowy, podstawowe parametry fizykomechaniczne, zawartość wilgoci, zawartość węgla całkowitego, natomiast w przypadku materiału drobnoziarnistego 0-4 mm - zawartość węgla całkowitego, wartość opalową, zawartość popiołu i zawartość siarki.



Rys. 2. Odpady przeróbcze z KWK „Mysłowice-Wesoła” (fot. J. Szlugaj)

Fig. 2. Processing wastes from Mysłowice-Wesoła coal mine (photo J. Szlugaj)



Rys. 3. Mieszanka mineralna 4-31,5 mm wytworzona z odpadów przeróbczych z KWK „Mysłowice-Wesoła” (fot. J. Szlugaj)

Fig. 3. Crushed aggregate mix 4-31,5 mm obtained from processing wastes in Mysłowice-Wesoła coal mine (photo J. Szlugaj)



Rys. 4. Produkt 0-4 mm wytworzony z odpadów przeróbczych z KWK „Mysłowice-Wesoła” (fot. J. Szlugaj)

Fig. 4. Product 0-4 mm obtained from processing wastes in Mysłowice-Wesoła coal mine (photo J. Szlugaj)

Oznaczenia składu ziarnowego i podstawowych parametrów fizykomechanicznych wykonano w Instytucie Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie, natomiast pozostałe badania w PAK Centrum Badań Jakości Sp. z o.o. w Koninie. Oznaczenia podanych parametrów przeprowadzono zgodnie z odpowiednimi normami polskimi określającymi warunki przeprowadzenia tych oznaczeń.

Krzywą składu ziarnowego obydwu otrzymanych w instalacji mieszanek mineralnych 4-31,5 mm (na bazie odpadów z kopalń „Wujek” i „Mysłowice-Wesoła” Ruch „Wesoła”) przedstawiono na rys. 5.

Podstawowe parametry jakościowe obydwu mieszanek 4-31,5 mm, otrzymanych w instalacji w Regulicach, przedstawiono w tabeli 1, a dwóch materiałów drobnoziarnistych 0-4 mm - w tabeli 2.

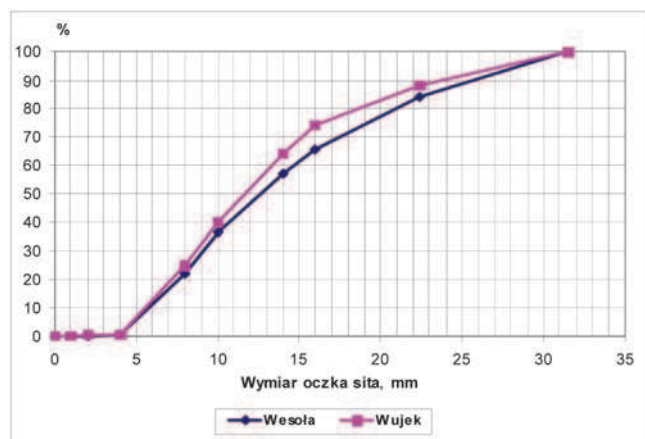


Fig. 5. Krzywa składu ziarnowego mieszanek mineralnych 4-31,5 mm otrzymanych w instalacji w Regulicach

Fig. 5. Grain size distribution of two crushed aggregate mixes 4-31.5 mm obtained in installation in Regulice

Parametry jakościowe mieszanki 4-31,5 mm, jakie były oczekiwane do osiągnięcia w wyniku przeróbki odpadu powęglowego w instalacji w Regulicach, tj.: odporność na rozdrabnianie w bębnie Los Angeles <30%, mrozoodporność <20% ubytku masy, zawartość węgla <8%, zostały osiągnięte w wyniku przeróbki odpadu z kopalni „Wujek”. Nie zostały natomiast osiągnięte w przypadku mieszanki z odpadu z kopalni „Wesoła”. Było to prawdopodobnie związane z większym udziałem wtrąceń węgla w skale płonnej w odpadzie z kopalni „Wesoła”, choć będzie to jeszcze wymagało potwierdzenia w badaniach mineralogicznych. Warto też zauważyć, że uzysk mieszanki 4-31,5 mm w obydwu przypadkach był nieco niższy od zakładanego (tab. 3).

Mieszanka mineralna 4-31,5 mm otrzymana na bazie odpadu z kopalni „Wujek” wykazuje nieco lepsze parametry jakościowe niż analogiczna mieszanka otrzymana na bazie odpadu z kopalni „Wesoła” (tab. 1, 3, 4). W obydwu przypadkach szczególnie niekorzystne są wartości tych parametrów, dla których wg norm polskich podawane są wartości deklaracyjne, tzn.: nasiąkliwość, mrozoodporność i odporność na rozdrabnianie w bębnie Micro Deval (tab. 4), wpływając na ograniczone możliwości stosowania otrzymanych kruszyw.

Tabela 1. Parametry jakościowe dwóch mieszanek 4-31,5 mm

Table 1. Quality parameters of two aggregate mixes 4-31.5 mm

Parametr	Mieszanka z odpadu z kopalni „Wujek”	Mieszanka z odpadu z kopalni „Wesoła”
Odporność na ścieranie w bębnie Micro Deval, %	84	78
Odporność na rozdrabnianie w bębnie Los Angeles, %	29,0	34,0
Gęstość, g/cm ³	2,56	2,45
Nasiąkliwość, %	1,6	1,9
Mrozoodporność, % ubytku masy	14,1	17,2
Zawartość węgla, %	5,1	6,0

Tabela 2. Parametry jakościowe dwóch materiałów drobnoziarnistych 0-4 mm niskoenergetycznych

Table 2. Quality parameters of two fine-grained 0-4 mm low-energetic materials obtained

Parametr	Materiał z odpadu z kopalni „Wujek”	Materiał z odpadu z kopalni „Wesoła”
Wartość opałowa, MJ/kg	3,6	9,4
Zawartość węgla całkowitego, %	16,4	29,0
Zawartość popiołu, %	75,4	58,0
Zawartość siarki, %	0,90	0,70

Tabela 3. Porównanie parametrów dwóch mieszanek 4-31,5 mm otrzymanych w instalacji w Regulicach z wartościami oczekiwanymi

Table 3. Comparison of parameters of two aggregate mixes 4-31.5 mm obtained in installation in Regulice to the values expected

Parametr	Wartość oczekiwana	Mieszanka z odpadu z kopalni „Wujek”	Mieszanka z odpadu z kopalni „Wesoła”
Odporność na rozdrabnianie w bębnie Los Angeles, %	<30	29,0	34,0
Mrozoodporność, % ubytku masy	<20	14,1	17,2
Zawartość węgla, %	<8	5,1	6,0
Uzysk mieszanki 4-31,5 mm, %	50-60	45	45

Wysoka nasiąkliwość i niska mrozoodporność decydują o braku możliwości zastosowania otrzymanych mieszanek kruszyw w warunkach przemarzania. Natomiast istnieje możliwość zastosowania tych mieszanek mineralnych poniżej zasięgu strefy przemarzania przy formowaniu nasypów i warstw konstrukcji drogowej, niwelacji terenu stanowiącego podłoże budowlane (pod warunkiem dobrego

zagęszczenia materiału), wymiany i wzmocnienia gruntów, a także do budowy wielu obiektów inżynierskich, takich jak budowy nasypów hydrotechnicznych, budowy obwałowań zbiorników wodnych i osadników, budowa grobli i zapór. O takich kierunkach ewentualnych zastosowań decydują: jednorodny skład granulometryczny, gruboziarniste ciągle uziarnienie oraz podatność na rozkruszanie, co umożliwia

Tabela 4. Porównanie parametrów jakościowych dwóch mieszanek mineralnych 4-31,5 mm otrzymanych w instalacji w Regulicach z wymaganiami zawartymi w normach

Table 4. Comparison of quality parameters of two crushed aggregate mixes 4-31.5 mm obtained in installation in Regulice to the requirements in standards

Badana cecha	Wynik badania	Ocena-kategorie	
		PN-EN 12620	PN-EN 13242
Mieszanka z odpadu z KWK „Wujek”			
Wymiar kruszywa d/D	Oznaczenie	4/31,5	4/31,5
Uziarnienie, % przechodzącej masy przez:			
D	100		
1,4 D	100	G _A 90	G _A 85
D	100	G _C 90/15	G _C 90/10
d	0,4		
d/2	0,2		
Nasiąkliwość WA ₂₄ , %	1,6	WA ₂₄ 1,6 (wartość deklarowana)	
Mrozoodporność F, %		F _{14,1} (wartość deklarowana)	
Fracja 4 – 8 mm	14,1	F _{17,6} (wartość deklarowana)	
Fracja 8 – 16 mm	17,6		
Odporność na rozdrabnianie M _{DE} (Micro Deval) - frakcja 10-14 mm, %	84,0	M _{DE} 84 (wartość deklarowana)	M _{DE} 84 (wartość deklarowana)
Odporność na rozdrabnianie LA (Los Angeles) - frakcja 10-14 mm), %	29,0	LA ₃₀	LA ₃₀
Mieszanka z odpadu z KWK „Mysłowice-Wesoła”			
Wymiar kruszywa d/D	Oznaczenie	4/31,5	4/31,5
Uziarnienie, % przechodzącej masy przez:			
D	100		
1,4 D	100	G _A 90	G _A 85
D	100	G _C 90/15	G _C 90/10
d	0,3		
d/2	0,2		
Nasiąkliwość WA ₂₄ , %	1,9	WA ₂₄ 1,9 (wartość deklarowana)	
Mrozoodporność F, %		F _{17,2} (wartość deklarowana)	
Fracja 4 – 8 mm	17,2	F _{22,2} (wartość deklarowana)	
Fracja 8 – 16 mm	22,2		
Odporność na rozdrabnianie M _{DE} (Micro Deval) - frakcja 10-14 mm, %	78,0	M _{DE} 78 (wartość deklarowana)	M _{DE} 78 (wartość deklarowana)
Odporność na rozdrabnianie LA (Los Angeles) - frakcja 10-14 mm), %	34,0	LA ₄₀	LA ₄₀

uzyskanie wypełnienia wolnych przestrzeni między ziarnami kruszywa w procesie zagęszczenia, bez konieczności doziarniania, oraz ostro kształt ziaren, co pomaga w dobrym klinowaniu się materiału, mając istotny wpływ na stateczność budowli.

Produkt drobnoziarnisty 0-4 mm niskoenergetyczny otrzymany na bazie odpadu z kopalni „Wesoła”, wykazujący wartość opałową 9,4 MJ/kg przy niskiej zawartości siarki, może okazać się przydatny do przygotowywania mieszanek paliwowych wraz z wyżej energetycznym miałem węglowym i spalania w tradycyjnych elektrowniach i ciepłowniach węglowych. Analogiczny produkt na bazie odpadu z kopalni „Wujek” może także wykazywać taką przydatność, choć jego wartość opałowa, tj. 3,6 MJ/kg, jest wyraźnie niższa niż materiałów niskoenergetycznych używanych do tej pory do tych celów, tj. 6-10 MJ/kg [4].

7. Podsumowanie

Produkcja kruszywa z odpadów z górnictwa i przeróbki węgla kamiennego jest systematycznie rozwijana na Górnym Śląsku, stanowiąc istotną alternatywę dla kruszyw naturalnych, konkurując z nimi niekiedy pod względem parametrów jakościowych, a niemal zawsze – pod względem ceny.

Uruchomiona w ramach realizacji projektu „MINNOVATION – Sieć innowacji w zarządzaniu odpadami górnictwem i przeróbczymi” pilotowa instalacja do produkcji kruszyw z odpadów powęglowych pochodzących z płuczek cieczy ciężkich w Laboratorium Akademii Górniczo-Hutniczej w Regulicach, stała się ważnym narzędziem umożliwiającym badanie wybranych odpadów powęglowych pod kątem produkcji kruszyw.

Badaniom poddano odpady gruboziarniste 20-150 mm ze wzbogacania węgla w separatorach cieczy ciężkiej, pochodzące z dwóch kopalń Katowickiego Holdingu Węglowego: „Wujek” i „Mysłowice-Wesoła” (Ruch „Wesoła”). Jako produkty zastosowanego procesu otrzymano mieszankę 4-31,5 mm oraz materiał drobnoziarnisty niskoenergetyczny 0-4 mm.

Mieszanka 4-31,5 mm otrzymana na bazie odpadu z kopalni „Wujek” wykazuje nieco lepsze parametry jakościowe w porównaniu z analogiczną mieszanką otrzymana na bazie odpadu z kopalni „Wesoła”, w tym odporność na rozdrabnianie w bębnie Los Angeles 29% (wobec 34% dla mieszanki z odpadu z kopalni „Wesoła”), mrozoodporność 14,1% ubytku masy („Wesoła” - 17,2%), zawartość węgla 5,1% („Wesoła” – 6,0%). Uzysk mieszanki 4-31,5 mm w obydwu przypadkach wyniósł około 45%.

Produkt drobnoziarnisty 0-4 mm niskoenergetyczny otrzymany na bazie odpadu z kopalni „Wesoła” wykazuje

wartość opałową 9,4 MJ/kg przy niskiej zawartości siarki, stąd może okazać się przydatny do przygotowywania mieszanek paliwowych z miałem węglowym. Analogiczny produkt na bazie odpadu z kopalni Wujek wykazuje pod tym względem niższą przydatność.

W ramach realizacji projektu „MIN-NOVATION – Sieć innowacji w zarządzaniu odpadami górnictwem i przeróbkami”

Literatura

1. *Cala M.* (red.): Mining Waste Management in the Baltic Sea Region. MIN-NOVATION project. Wyd. AGH 2013.
2. *Cala M., Ostrega A.*: Problematyka gospodarowania odpadami z przemysłu wydobywczego w projekcie MIN-NOVATION. „Cuprum” 2012, nr 4.
3. *Galos K., Szlugaj J.*: Odpady z górnictwa i przeróbki węgla kamiennego jako materiały do produkcji kruszyw mineralnych. „Cuprum”, 2012 nr 4.
4. *Galos K., Szlugaj J.*: Surowce odpadowe z górnictwa i przeróbki węgla kamiennego. W: Surowce Mineralne Polski. Mineralne surowce odpadowe. Wyd. IGSMiE PAN, 2009.
5. *Gawenda T., Olejnik T.*: Produkcja kruszyw mineralnych z odpadów powęglowych w Kompanii Węglowej S.A. na przykładzie wybranych kopalń. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management” 2008, t. 24, z. 2/1.
6. *Góralczyk S.*: Foresight, a problematyka odpadów z górnictwa węgla kamiennego w Polsce. Materiały Konferencji inauguracyjnej projektu: „Foresight w zakresie priorytetowych i innowacyjnych technologii zagospodarowania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego”. Warszawa, 2.06.2009.
7. *Góralczyk S., Mazela A., Stankiewicz J., Filipczyk M.*: Przywęgłowa skała płona – odpad czy surowiec? Pr. Nauk. Inst. Gór. Pol. Wr. nr 125, 2009.
8. *Koperski T., Cukiernik Z., Wiśniewski J.*: Aspekty i uwarunkowania związane z przekształcaniem odpadów wydobywczych w produkty. Materiały Warsztatów „Gospodarowanie odpadami – stan aktualny i planowane zmiany. Nowe zasady gospodarowania odpadami wydobywczymi”. Katowice 28-29.10.2008 r.
9. *Koperski T., Lech B.*: Produkcja kruszyw z odpadów powęglowych. Pr. Nauk. Inst. Gór. Pol. Wr. nr 119, 2007.
10. *Kucharzyk P.*: Polska Węgierska Spółka Akcyjna „Haldex” – technologia zakładów przeróbki mechanicznej odpadów górnictwem. „Inżynieria Mineralna” 2004, R. V, nr 2 (13).
11. *Lutyński A., Blaschke W.*: Aktualne kierunki zagospodarowania odpadów przerobczych węgla kamiennego. Materiały Konferencji inauguracyjnej projektu: „Foresight w zakresie priorytetowych i innowacyjnych technologii zagospodarowania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego”. Warszawa 2.06.2009 r.
12. *Mazela A.*: Doświadczenia IMBIGS w wykorzystaniu odpadów z górnictwa węgla kamiennego. Materiały Konferencji inauguracyjnej projektu: „Foresight w zakresie priorytetowych i innowacyjnych technologii zagospodarowania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego”. Warszawa, 2.06.2009 r.
13. *Potempa M., Szlugaj J.*: Kierunki wykorzystania skał płonnych w KWK „Piast”. Pr. Nauk. Inst. Gór. Pol. Wr. nr 119, 2007.
14. *Wróbel J., Fraś A., Pierzchała T., Przysaś R., Machnik A., Hycnar J.*: Konsolidacja działań Południowego Koncernu Węglowego S.A. ze spółkami energetycznymi Grupy TAURON w zakresie gospodarowania produktami ubocznymi. Materiały XXVI Konferencji z cyklu "Zagadnienia Surowców Energetycznych i Energii w Gospodarcie Krajowej", Zakopane 14-17 października 2012 r.



Praca naukowa finansowana ze środków finansowych na naukę w latach 2011-2013 przyznanych na realizację projektu międzynarodowego współfinansowanego.