



Zastosowanie popiołów fluidalnych dla zwiększenia zagospodarowania odpadów wydobywczych

Application of fluidized bed combustion ashes for enhancement of mining waste management

Andrzej SZYMKIEWICZ¹⁾, Jan J. HYCINAR²⁾, Andrzej FRAŚ³⁾, Rafał PRZYSTAŚ³⁾, Tomasz JÓZEFIAK⁴⁾, Ireneusz BAIC⁵⁾

¹⁾ Grupa Tauron Jaworzno

²⁾ Ecocoal CC Katowice, ecocoal@neostrada.pl

³⁾ Grupa Tauron, PKW SA, Jaworzno

⁴⁾ Eko Invest Bukowno

⁵⁾ Centrum Gospodarki Odpadami i Zarządzania Środowiskowego IMBiGS Katowice

Streszczenie

W górnictwie węgla kamiennego znaczącym problemem ekologicznym i ekonomicznym są odpady wydobywcze. Szczególnie kłopotliwymi są muły węglowe ze względu na ich konsystencję. W tej postaci są trudne do zagospodarowania, jak również do bezpiecznego ich składowania. Coraz częściej muły węglowe poddawane są granulowaniu z zastosowaniem wapna palonego lub wapna hydratyzowanego.

Przeprowadzone badania i próby na instalacjach przemysłowych wykazały, że tradycyjne spoiwa wapniowe można zastępować ubocznymi produktami spalania zawierającymi aktywne związki wapnia. Zastosowanie popiołów fluidalnych umożliwia otrzymywanie granulowanych mułów o właściwościach fizykochemicznych spełniających wymagania na paliwa niskokaloryczne jak również jako składnika mieszanek paliwowych. Najwyższą wytrzymałość mechaniczną na warunki atmosferyczne, transportu i składowania wykazały muły granulowane z domielonym popiołem dennym z kotłów fluidalnych. Poprzez wyselekcjonowanie odpadów średnioziarnistych wydzielanych w osadzarkach i odpowiednie ich wymieszanie z dobranymi popiołami wapniowymi (fluidalne popioły lotne i denne) uzyskano mieszanki kruszywowo-spoiwowe spełniające wymagania obowiązujące na materiały stosowane w budowie dróg, autostrad i budowli hydrotechnicznych.

Dokonane wdrożenia i zrealizowane inwestycje pozwoliły na zagospodarowanie odpadów do produkcji paliw granulowanych i mieszanek kruszywowo-spoiwowych, co wpłynęło na zmniejszenie ilości składowanych odpadów wydobywczych i popiołów oraz uzyskanie dodatkowych efektów ekologicznych i ekonomicznych.

Summary

In coal-mining industry a major environmental and economical problem are mining wastes. Particularly troublesome, due to their consistency, are the coal slimes. In this form they are difficult to be managed, as well as to be safely stored. More often coal slimes are granulated using quicklime or hydrated lime.

The studies and tests conducted on industrial installations have shown that the traditional lime binders can be replaced by combustion by-products containing active compounds of calcium. Application of fluidized bed combustion ash (FBC ash) allows receiving granulated slimes of physicochemical properties that meet the requirements of low-calorific fuels, as well as a component of fuel blends. The granulated slimes with grinded bottom ash from fluidized bed boilers (FCB bottom ash) have shown the highest mechanical resistance to the weather conditions, transport and storage.

□□rough the selection of medium-grained waste produced settling lagoons and appropriate mixing with selected calcium ashes (FBC fly ash and FBC bottom ash) the aggregate-binder blends have been obtained that meet the requirements applicable to materials used in construction of roads, highways and hydrotechnical engineering.

The implementation and investments made allowed for the management of waste to produce granulated fuels and aggregate-binder blends, what resulted in reducing the amount of stored mining waste and ash, as well as in obtaining the additional environmental and economic benefits.

Słowa kluczowe: popiół fluidalny, zagospodarowanie odpadów

Keywords: fluidized ash, waste management

Wprowadzenie

Południowy Koncern Węglowy S.A. wchodzący w skład Grupy Kapitałowej TAURON realizuje politykę ograniczania ilości wytwarzanych odpadów wydobywczych, a w przyszłości całkowitego ich zagospodarowania, prowadzi działania zmierzające do przetworzenia mułów węglowych i odpadów skały płonnej na użyteczne produkty [1].

Wykonane badania i wdrożenia przynoszą Południowemu Koncernowi Węglowemu efekty inte-

Introduction

Southern Poland Coal Company SA (Południowy Koncern Węglowy S.A.) being a part of the TAURON Polska Energia S.A. Capital Group pursues a policy of reduction of the amount of produced mining waste aiming at their complete management in the future, as well as conducts activities leading to processing of coal slimes and waste rock into useful products [1].

The research and deployments made bring the Southern Poland Coal Company the intellectual,

lektualne, ekologiczne i ekonomiczne. Szereg rozwiązań chronionych jest zgłoszeniami patentowymi, a niektóre z nich uzyskały wyróżnienie międzynarodowe [2]. Prowadzony odzysk odpadów zmniejszył ich ilość na składowiskach, jednocześnie spowodował zmniejszenie zużycia naturalnych surowców mineralnych oraz zwiększył areał rekultywowanych i rewitalizowanych zdegradowanych obiektów i terenów. Większość prowadzonych procesów odzysku przyczyniło się do obniżenia kosztów składowania odpadów przy jednoczesnych zyskach ze sprzedaży paliw granulowanych, kruszyw i mieszanin kruszynowo-spoiwowych.

Uzyskane rezultaty stały się możliwymi dzięki realizacji przez Koncern polityki proekologicznej i dobrej współpracy z uczelniami, instytutami branżowymi i ośrodkami technologicznymi oraz dzięki dokonywanym inwestycjom. Dotychczasowe zrealizowane przedsięwzięcia inwestycyjne charakteryzowały się okresem zwrotu nakładów od 8 do 24 miesięcy.

Zastosowanie popiołów do granulowania mułów węglowych

Muły węglowe w zależności od właściwości wydobywanego węgla i towarzyszących skał oraz metod wzbogacania urobku i sposobów oczyszczania wód procesowych i dołowych, bardzo się różnią swoim składem chemicznym, mineralogicznym i fizycznym. W zależności od rozwiązania gospodarki wodno-mułowej mamy do czynienia z mułami wydzielanymi w:

- urządzeniach filtracyjnych (filtracja wymuszona – prasy komorowe, bębnowe, taśmowe);
- osadnikach mułowych (filtracja i segregacja grawitacyjna, dotyczy także osadników wód dołowych).

Muły zawierające duże ilości ilów, przybierają konsystencję pastowaną. Otrzymywane odfiltrowane muły – t.zw. placki, nie ulegają samoistnemu rozpadowi i są trudne do rozdrobnienia oraz do ew. mieszania z miałem węglowym. Placki mułowe w warunkach naszego klimatu, wysuszone pyłą, pod wpływem deszczy ulegają rozmywaniu zanieczyszczając wody i gleby a zimą tworzą zlodowaciały bryły. Z tych to między innymi powodów, pomimo zainteresowania muły węglowe w małym zakresie są wykorzystywane w energetyce. Charakterystykę badanych mułów węglowych podaje tabela 1.

Zawiesiny wodno-mułowe deponowane w osadnikach, ulegają zazwyczaj grawitacyjnej segregacji ziarnowo-densymetrycznej i odwodnieniu. W tych przypadkach można uzyskiwać muły zawierające znaczne ilości ziaren węgla z małą ilością ilów i muły silnie zailone. Jeżeli mamy dostęp do mułów

environmental and economic values. Several solutions are protected by patent applications, and some of them received an international award [2]. The conducted waste recovery has decreased their quantity in landfills. At the same time it has caused a decrease in consumption of natural mineral resources, as well as increased the acreage of restored and revitalized facilities and areas that had been degraded. Most of the recovery processes that have been run contributed to reduction of waste disposal costs, while bringing profits from the sale of pelletized fuels, aggregates and aggregate-binder blends.

It was possible to obtain these results thanks to the implementation of the Company environmental policy and good cooperation with universities, branch associations, industry and technology centers, as well as through investment made. The investment projects that have been implemented so far were characterized by a payback period of 8 to 24 months.

Application of ash to the coal slimes granulation

Depending on the properties of coal and rocks associated with mining process, ore enrichment methods and ways of treatment of process and underground water, the coal slimes have different chemical, mineralogical and physical composition. Depending on the solution of water and sludge management we are dealing with slimes produced in:

- Filtration equipment (forced filtration – chamber filter press, drum filter press, pass-band filter press);
- Slime settling lagoons (filtration and gravity segregation, also applies to settling lagoons of underground water).

Slimes containing large amounts of clay, take one the consistency of a paste. Received filtered slimes - the so-called “filter cakes”, are not spontaneously disintegrate and resistant to grinding and eventually mixing with steam coal. In our climate conditions the slime filter cakes pulverize when they are dried, under the influence of rain they are blurred contaminating water and soil and in the winter they form icy solids. For these reasons, inter alia, despite the interest in them the coal slimes are used in power sector to a small extent. The characteristics of tested coal slimes is given in Table 1.

Water and slime slurry deposited in settling lagoons, usually undergo gravity grind and densimetric separation, as well as dewatering. In these cases, you can get the slimes containing the considerable amounts of coal grains with small amounts of clay, as well as strongly clayed slimes. Even if the slimes

Tabela 1
Charakterystyka fizykochemiczna mułów węglowych
i popiołów fluidalnych

Table 1
Physicochemical characteristics of coal slimes
and FBC ash

Parametry Parameters	Jedn. Unit	Muły węglowe (placki) Coal slimes (filter cakes)			Uboczne produkty spalania CCP (coal combustion products)			
		Wartości średnie, roczne Average, annual values	Wartości min/ max, roczne Min/max, annual values	Muł badany Tested slime	Popiół lotny krzemianowy PL Fly ash silica type PL	Popiół denny fluidalny FBC bottom ash		
						Surowy PF Raw PF	Domielony PFM Grind PFM	
1. Muł węglowy: 1. Coal slime								
zawartość content	– wilgotność, W_t^r – moisture, W_t^r	%	31,4	25,0– 37,3	30,7	–	–	–
	– popiół, A^r – ash, A^r	%	27,5	19,4 - 45,5	29,6	–	–	–
	– wartość opałowa, Q_i^r – calorific value, Q_i^r	MJ/kg	10,135	5,4 – 13,8	10,45	–	–	–
	– siarka, S_t^r – sulphur, S_t^r	%	0,58	0,37– 0,96	0,67	–	–	–
2. Popiół fluidalny 2. FBC ash								
zawartość content	– krzem, SiO_2 – silicon, SiO_2	%	–	–	–	53,0	46,6	46,6
	– wapń, CaO – calcium, CaO	%	–	–	–	5,81	23,2	23,2
	– CaO_{wolne} – CaO_{free}	%	–	–	–	0,21	11,9	11,9
	– siarka, SO_3 – sulphur, SO_3	%	–	–	–	0,78	9,6	9,6
	– straty prażenia – loss on ignition (LOI)	%	59,7	42,6–65,8	57,4	3,60	0,81	0,81
	– ziarna powyżej 0,25 mm – grains over 0.25 mm	%	14,2	4,6 – 21,1	–	2,9	59,1	9,8

o charakterystyce akceptowalnej przez odbiorców (Q, W, A i S), na przeszkodzie ich zagospodarowaniu stoi zazwyczaj wspomniana konsystencja, duża zawartość wody, nawet do 40% oraz brak ich odporności na warunki transportu i składowania. Dla wyeliminowania szeregu wymienionych wad, opracowano i wdrożono technologię ich granulowania.

Zgodnie z dostępną wiedzą proces granulowania mułów węglowych wykonywano w granulacjach talerzowych i bębnowych [3–6]. Uzyskiwano granulaty w formie kulek lub owalnych granul. Jednakże wydajność tych granulacji jest małą w stosunku do ich ciężaru i zużycie energii elektrycznej. W pierwszej kolejności jako spoiwo zastosowano związki wapnia {CaO, Ca(OH)₂}, opisane już w 20-tych latach ubiegłego wieku.

Dla zoptymalizowania procesu granulowania mułów węglowych przeprowadzono badania nad innymi spoiwami i doborem technologii granulowania.

Próby granulowania mułów węglowych przy użyciu ubocznych produktów spalania prowadzono z popiołem: lotnym rodzaju krzemianowego „PL”, dennym fluidalnym „PF” i domielonym dennym „PFM”.

have the properties acceptable by the consumers (Q, W, A and S), usually the main obstacles to use them are: the above-mentioned consistency, high content of water (up to 40%) and the lack of resistance to the transport and storage conditions. In order to eliminate a number of these defects, the technology of granulation has been developed and implemented.

According to the available knowledge the process of coal slime granulation was performed in the disc and drum granulators [3–6]. In this process pellets in the form of balls or oval granules were obtained. However, the efficiency of these granulators is small with reference to their weight and electricity consumption. In the first instance, described already in the 20's of the last century, the calcium compounds {CaO, Ca(OH)₂} has been used as a binder.

To optimize the granulation process of coal slimes the studies on other kinds of binders, as well as on the selection of the granulation technology have been carried out.

Attempts of coal slime granulation using combustion by-products were carried out with ashes: FBC fly ash silica type “PL”, FBC bottom ash “PF”

Charakterystykę fizykochemiczną badanych popiołów podano w tabeli 1. We wszystkich próbach uzyskano granulaty o uziarnieniu 2 do 8 mm. Jednakowoż właściwości granulatu i jego trwałość-odporność na warunki transportu i składowania oraz na warunki oddziaływania klimatu były bardzo różne.

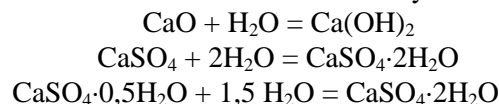
Muły węglowe z popiołem PL tworzyły granulaty, *in statu nascendi* mało odporne na transport technologiczny, a poddany sezonowaniu (w tym suszeniu na powietrzu) ulegał rozpadowi nawet pod wpływem małych uderzeń. W tym przypadku, spoiwem był ił zawarty w mule węglowym. Ziarna popiołu ułatwiały oblepianie się mułu na nich – tworząc granulaty. Ponadto, stosowanie tego popiołu powodowało adekwatne pogorszenie właściwości energetycznych granulatu mułowego.

Zastosowanie popiołu dennego PF zapewniło zachodzenie procesu granulowania ale także wykazało, że granulaty zawierają znaczne ilości ziaren popiołu dennego, co uniemożliwiło pełne wykorzystanie składników aktywnych zawartych w popiele. Sezonowane granulaty, w większości ulegały utwardzeniu pomimo zmiennych warunków atmosferycznych, a część zawierająca duże ziarna popiołu ulegały w warunkach zawadnienia pękaniu.

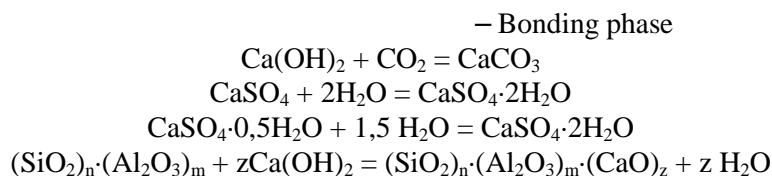
Najlepsze wyniki uzyskano stosując **domielony popiół denny PFM**. Granulaty charakteryzował się dobrymi właściwościami energetycznymi i odpornością na działanie czynników zewnętrznych, przy najmniejszych dawkach spoiwa.

Rola i mechanizm działania popiołów fluidalnych w procesie granulowania mułów węglowych. Popioły fluidalne, w porównaniu do popiołów rodzaju krzemianowego, charakteryzują się znacznymi ilościami związków wapnia (tabela 1). Szereg z nich reaguje z ze składnikami zawartymi w mułach węglowych i w środowisku, w istotny sposób wpływając na zachodzenie procesu granulowania i właściwości otrzymywanego granulatu, a mianowicie między innymi:

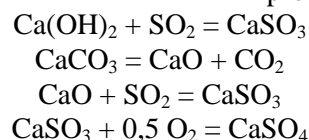
– Etap odwodnienia



– Etap wiązania



– Etap odsiarczania spalin w procesie spalania granulowanego mułu węglowego



and FBC grained bottom “PFM”. Physicochemical characteristics of studied ashes are given in Table 1. In all samples the pellets of grains size from 2 to 8 mm have been obtained. However, the properties of pellets and their durability, resistance to the transport, storage and climate conditions varied.

Coal slimes with ash PL formed granules, *in statu nascendi* of low-resistance to the technological transportation, and subjected to seasoning (including air-drying) underwent disintegration even under the influence of small strokes. In this case, the clay contained in slime coal was a binder. The grains of ash facilitated the slime sticking to them - forming granules. Furthermore, using of this kind of ash resulted in an adequate deterioration of calorific properties of slime granules.

Application of bottom ash PF caused that the granulation process took place, however it showed that the granules contains significant quantities of bottom ash grains, what prevented from the full utilization of the active components of the ash. Most of seasoned granules underwent hardening despite the changeable weather conditions, and the part containing large grains underwent cracking in over-irrigation conditions.

The best results were obtained using **grinded bottom ash PFM**. Granulated product were characterized by good calorific properties and resistance to external factors, with the smallest doses of the binder.

The role and mechanism of action of FBC ash in the process of coal slimes granulation. FBC ash, in comparison with fly silicate type ash, is characterized by significant amounts of calcium compounds (Table 1). Several of them reacts with the ingredients contained in coal slimes, as well as the environment, substantially affecting the occurrence of the granulation process and the properties of the obtained granulated product, namely, inter alia:

– Dehydration phase

– Bonding phase

– Phase of desulphurization of flue gas in the process of granulated coal slime combustion

W ten sposób każdy mol CaO (56 g) wiąże jeden mol wody (18 g), oznacza to możliwość związania wody zawartej w mule w ilości adekwatnej do dodanego CaO do mułu. Zawarty w popiele siarczan wapnia (CaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) także wiąże wodę, w przypadku bezwodnego siarczanu wapnia na jeden jego mol (136 g) przypadają dwa mole wody (32 g). Wpływ wielkości dawki popiołu na obniżenie wilgotności mułów węglowych ilustruje rysunek 1.

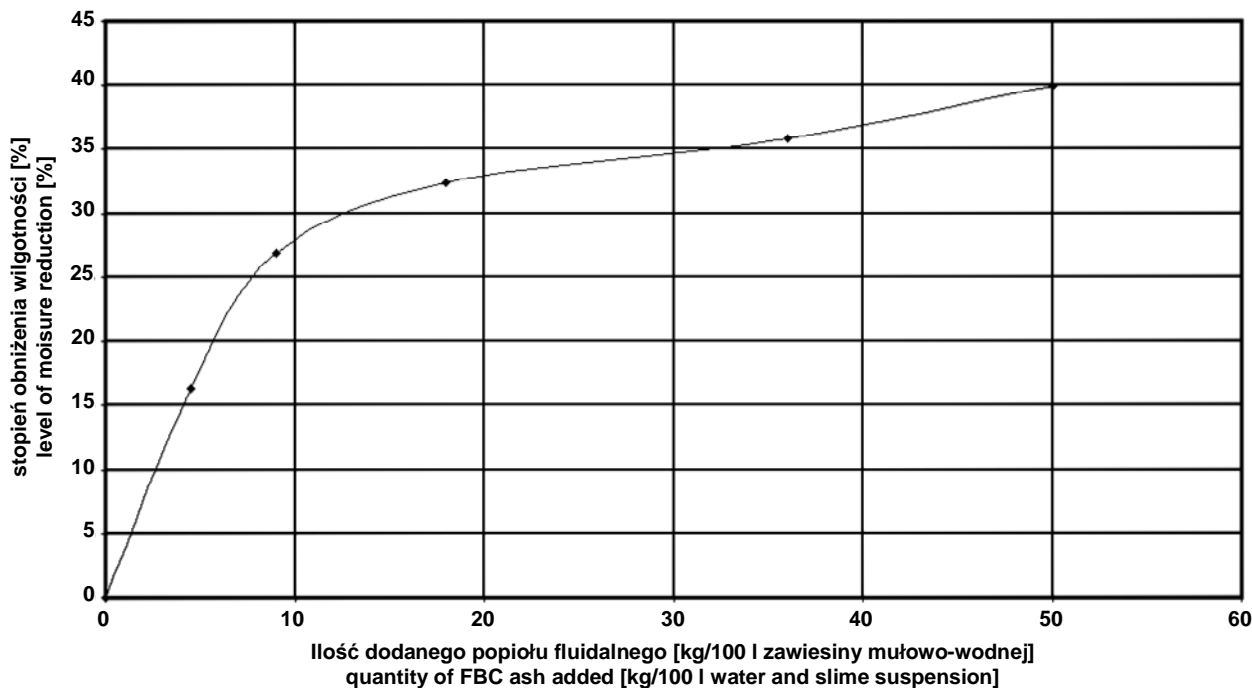
Zachodzące reakcje odwodnienia, działają równocześnie jako spoiwo tworzonych granul. Natomiast, powstały wodorotlenek wapnia „po spełnieniu roli spoiwa” ulegając reakcji karbonizacji z dwutlenkiem węgla tworzy kalcyt, utrwalając wewnętrzną strukturę granul. Z tych to względów ważnym jest proces ich sezonowania powodujący wzrost wytrzymałości mechanicznej granul. Dłuższe sezonowanie tak zgranulowanych mułów może prowadzić także do zachodzenia reakcji pucolanowej, dodatkowo utwardzającej granul. Muły granulowane z popiołem dennym w procesie ich spalania powodują częściowe odsiarczanie spalin.

Przeprowadzone badania i ustalone warunki stosowania popiołów zawierających aktywne związki wapnia w zamian wapna palonego lub wapna hydratyzowanego stały się podstawą do zgłoszenia wniosku patentowego [7]. W ten sposób do granulowania mułów węglowych można skutecznie stosować nie tylko typowe spoiwa wapniowe ale także popioły fluidalne i popioły rodzaju wapniowego – rysunek 2.

In this way, each mole of CaO (56 g) binds one mole of water (18 g). It means that it is possible to bound water contained in the slime in an amount adequate to CaO added to the slime. Calcium sulfate (CaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) contained in the ash also binds water. In the case of anhydrous calcium sulfate – for one of its mole (136 g) two moles of water (32 g) accrue. Effect of the quantity of ash on the reduction of coal slime moisture is illustrated in Fig. 1.

Dewatering reactions act simultaneously as a binder for formed granules. However, “after fulfilling the role of the binder” the formed calcium hydroxide creates calcite by undergoing the carbonization reaction with carbon dioxide, resulting in consolidation of the internal structure of granules. For these reasons, the seasoning process increasing mechanical strength of granules is very important. Longer seasoning of such granulated slimes can also lead to the occurrence of pozzolanic reaction, leading to the additional hardening of granulated product. The slimes granulated with FCB bottom ash cause, in the process of their combustion, a partial waste gas desulphurization.

The conducted research, as well as the conditions established for the application of ash containing active compounds of calcium instead of quicklime or hydrated lime became the basis for filing a patent application [7]. In this way, for coal slime granulation not only the typical calcium binders are used but also FBC ash and calcium type of ash – Fig. 2.



Rys. 1
Wpływ dodatku popiołu fluidalnego na obniżenie zawilgocenia mułu węglowego

Fig. 1
Effect of the added FBC ash on the reduction of coal slime moisture



Rys. 2
Wygląd granulowanych mułów węglowych z udziałem popiołu fluidalnego



Fig. 2
Granulated coal slimes with the content of FBC ash

Instalacja do granulowania mułów węglowych.

Dla wyeliminowania niektórych wymienionych ujemnych cech mułów węglowych i dla umożliwienia ich wykorzystania niejednokrotnie muły są granulowane ze spoiwami w granulacjach talerzowych i bębnowych oraz w typowych betoniarniach, periodycznego działania.

Dla zwiększenia możliwości racjonalnego zagospodarowania mułów opracowano technologię ciągłego działania w celu uszlachetniania, zestalania i granulowania mułów węglowych jako paliwa niskokalorycznego lub materiału neutralnego dla prowadzenia prac rekultywacyjnych itp. oraz bezpiecznego ich składowania, co ilustruje rysunek 3 [1, 2, 8, 9].

Zasadnicze elementy odróżniające dotychczasowe sposoby granulowania od nowo opracowanej technologii, między innymi to:

- Zastąpienie tradycyjnych granulatorów mieszalnikiem intensywnego działania;
- Ilość i sposób podawania spoiwa (popiołu fluidalnego) są ściśle określone;
- Istnieje możliwość równoczesnego uszlachetniania właściwości wytwarzanego granulatu mułowego;
- Możliwość granulowania wszelkiego rodzaju odpadów i frakcji drobnoziarnistych przy zastosowaniu popiołów fluidalnych.

Otrzymywany granulatu mułowy jest odporny na oddziaływanie środowiska atmosferycznego (słońce, deszcz, temperatury minusowe) oraz wymogi transportu i procesów technologicznych. Dodatkową zaletą opracowanej i wdrożonej technologii jest możliwość obróbki mułów z bieżącej ich produkcji jak również zdeponowanych w osadnikach i na zwalach.

Installation for coal slime granulation. In order to eliminate some of the mentioned negative characteristics of coal slime and to enable their use, the slime is often granulated with binders in disc and drum granulators, as well as in typical concrete mixers of periodic operation.

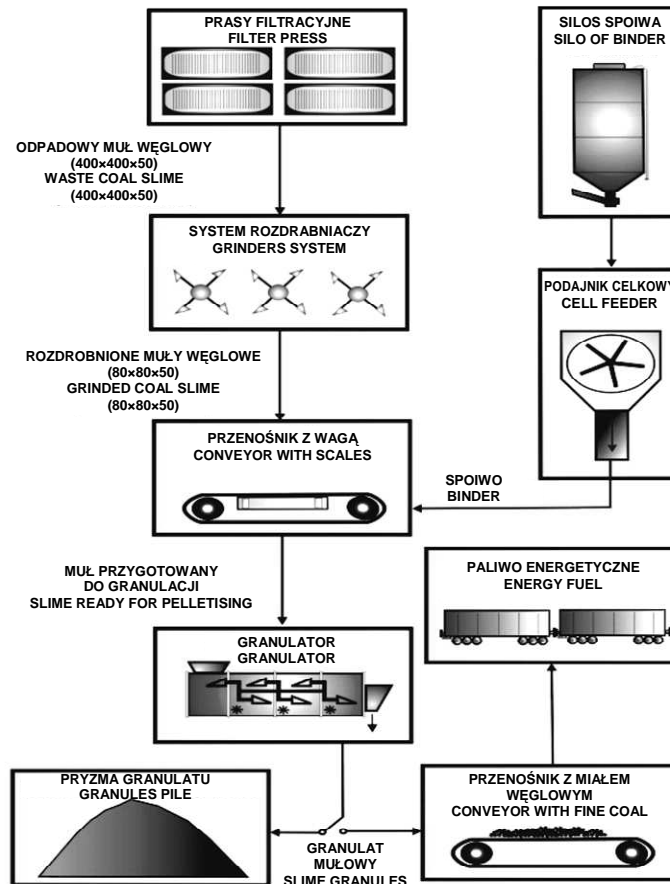
To increase the possibility of rational slime management the technology of continuous operation has been developed for enrichment, solidification and granulation of coal slime as a low-calorific fuel or neutral material for reclamation works etc. and for their safe storage, as illustrated in Fig. 3 [1, 2, 8, 9].

The essential elements making the newly developed technology different from the existing ones are, inter alia, as follows:

- Replacement of traditional granulators with the intensive mixer;
- The amount and method of binder (FBC ash) dosage are strictly specified;
- There is a possibility of simultaneous enrichment of produced slime granulated product properties;
- Possibility of granulation of all kinds of waste and small-grain fractions using FBC ash.

The obtained granulated slime is resistant to the atmospheric environment effects (sun, rain, temperatures below 0°C), as well as transport and process requirements. An additional advantage of developed and implemented technology is the possibility of slime processing during the running production, as well as its storage in settling lagoons and piles.

**SCHEMAT INSTALACJI GRANULOWANIA MUŁÓW WĘGLOWYCH
INSTALLATION CHART OF COAL SLIME GRANULATION**



Rys. 3
Schemat technologii granulowania muł węglo-
wych sposób ciągły

Fig. 3
Technological process of continuous
coal slime granulation

Wdrożona instalacja granulowania muł węglo-
wych umożliwiła produkcję granulowanego pali-
wa z której zyski w ciągu 6 miesięcy pokryły koszty
inwestycji.

Zastosowanie popiołów do produkcji mieszanin kruszynowo-spoiwowych

W latach 2009-2010 Południowy Koncern Wę-
glowy SA wspólnie z Instytutem Badawczym Dróg
i Mostów (IBDiM), Laboratorium Inżynierii Lądowej
Labotest i Ecocoal Consulting Center, przeprowadził
szereg badań określających przydatność skały pływ-
nej wydzielanej w procesie wzbogacania węgla jako kru-
szywa mającego zastosowanie w inżynierii komu-
nikacyjnej. W badaniach zostały określone możliwości
produkcji różnego rodzaju kruszyw pochodzących
z bezpośredniej produkcji i hałd górniczych oraz mie-
szanin kruszynowo-spoiwowych tworzonych na bazie
wymienionych kruszyw i różnego rodzaju aktywnych
popiołów z energetyki.

Na podstawie wyników badań i uzyskanej aprobaty
technicznej z IBDiM wytwarzane kruszywa PKW,

The implemented coal slime granulation installa-
tion has enabled to produce the granulated fuel. The
profits made on it covered the costs of investment in
6 months.

Application of ash to produce aggregate- binder blends

In years 2009-2010 Southern Poland Coal Com-
pany SA, together with the Research Institute of
Roads and Bridges (IBDiM), Laboratory of Civil
Engineering Labotest and Ecocoal Consulting Cen-
ter, conducted a series of tests to determine the
suitability of waste rock in the process of enriching
coal as an aggregate applicable in the infrastructure
engineering. During the tests the possibilities of
producing various types of aggregates (coming from
direct production and mining dumps), as well as
aggregate-binder blends (produced on the basis of
these aggregates and various kinds of active ash from
power sector) were established.

Based on the findings and technical approval ob-
tained from IBDiM the aggregates produced by PKW

z bezpośredniej produkcji i z hałd górniczych, spełniają wymagania na materiał wykorzystywany w inżynierii komunikacyjnej do budowy nasypów, podbudów pomocniczych i zasadniczych stabilizowanych hydraulicznie, rekultywacji, niwelacji terenów oraz w budownictwie hydrotechnicznych do budowy wałów przeciwpowodziowych.

Aby umożliwić sprzedaż kruszywa PKW wprowadzono system Zakładowej Kontroli Produkcji Kruszyw który jest niezbędnym elementem produkcji i sprzedaży kruszyw oraz przystosowano ciąg technologiczny produkcji węgla w zakładach przerobczych do możliwości produkcji kruszyw.

Dopiero spełniając wszystkie warunki Południowy Koncern Węglowy S.A. mógł zaoferować klientom kruszywo skalne/kruszywo PKW do zastosowania zgodnie z uzyskaną aprobatą techniczną IBDiM nr AT/2010-03-2576. Charakterystykę techniczną wytwarzanych kruszyw podaje tabela 2.

Zakończone powodzeniem prace przyniosły efekt w postaci sprzedaży w 2010 roku około 20 000 ton kruszywa do budowy dróg oraz około 60 tys. ton kruszywa do budowy wałów przeciwpowodziowych.

from direct production and mining dumps meet the requirements for the materials used in infrastructure engineering for the construction of embankments, auxiliary and key hydraulic substructures, reclamation, land leveling and hydrotechnical construction of dikes.

In order to allow sale of PKW aggregates a Plant Control of Aggregates Production system (Zakładowa Kontrola Produkcji Kruszyw) was introduced which is an essential element of aggregate production and sale. At the same time, in the processing plants a technological line was adjusted in a way enabling to produce aggregates.

Having met all the conditions, Southern Poland Coal Company SA was able to offer their customers a rock aggregate/PKW aggregate suitable for usage, in accordance with the obtained technical approval of IBDiM No AT/2010-03-2576. Technical characteristics of the produced aggregates are given in Table 2.

Successfully completed work resulted in 20 000 tons of aggregate sold in 2010 for road constructions and around 60 000 tons of aggregate for construction of dikes.

Tabela 2
Charakterystyka inżynierska kruszyw PKW
i mieszaniny kruszynowo-spoiwowej

Table 2
Engineering characteristics of PKW aggregate
and aggregate-binder blend

Parametry Parameters	Jedn. Units	Kruszywo PKW PKW aggregate		Mieszanka PKEW PKEW blend
		Nasączone 4 dni Saturated for 4 days	Nasączone 15 dni Saturated for 15 days	Nasączone 4 dni Saturated for 4 days
		Fracja 0–2 mm Fraction 0–2 mm		Fracja 0–2 mm + 24% popiół fluidalny + 1% cementu Fraction 0–2 mm + 24% FBC ash + 1% cement
Wilgotność Moisture	%	16,4	13,4	15,5
Gęstość objętościowa Density of volume	g/cm ³	1,884	1,806	1,871
Gęstość szkieletu Density of frame	g/cm ³	1,584	1,593	1,606
Wskaźnik nośności Load capacity	%	20,3	18,2	341,8
Pęcznienie Swelling	%	0,13	0,17	0,00
		Fracja 0–30 mm Fraction 0–30 mm		Fracja 0–30 mm + 25% popiół fluidalny Fraction 0–30 mm + 25% FBC ash
Wilgotność Moisture	%	11,9	9,2	16,5
Gęstość objętościowa Density of volume	g/cm ³	2,111	2,165	1,832
Gęstość szkieletu Density of frame	g/cm ³	1,887	1,953	1,572
Wskaźnik nośności Load capacity	%	15,0	8,6	228,2
Pęcznienie Swelling	%	0,82	0,53	0,04

Ze względu jednak na niski wskaźnik nośności, który ograniczał zastosowanie kruszywa PKW w różnego rodzaju robotach inżynierskich oraz w celu zmniejszenia współczynnika pęcznienia, polepszenie tych parametrów dokonano poprzez tworzenie mieszanek kruszywa PKW z dodatkami aktywnych popiołów i żużli, w tym z popiołami fluidalnymi oraz dodatkiem cementu.

Uzyskane wyniki badań spełniły oczekiwania odnośnie poprawy parametrów fizycznych opracowanych mieszanek i stały się podstawą do uzyskania w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów Aprobataj Technicznej na „Mieszanka stabilizowana kruszywowo-popiołowa PKEW”. Właściwości techniczne mieszanki rodzaju U przedstawiono w tabeli 2.

Równolegle wszczęto procedurę zakupu instalacji do ciągłej produkcji mieszanek kruszywowo-popiołowych. Spośród kilku ofert wybrano i zainstalowano włoską instalację o ciągłym działaniu o wydajności mieszanek 150 ton/godz. z firmy Ciepela Technology Promotion – rysunek 4.

Instalację włączono w ciąg technologiczny zakładu wzbogacania węgla z którego wyselekcjonowana skała płonna/kruszywo jest mieszane z określoną ilością i rodzajem spoiwa (popioły, cement, wapno). Instalacja umożliwia tworzenie mieszanek stabilizowanych kruszywo-spoivo o różnych parametrach technicznych, zgodnie z jedną z 20 procedur tworzenia mieszanek o różnym przeznaczeniu. Wszystkie dodatki, a w szczególności dodatki popiołów fluidalnych i spoiw na ich bazie, zawierających aktywne związki wapnia, mają za zadanie poprawię parametrów fizycznych i chemicznych kruszyw PKW zwiększając między innymi ich wytrzymałość mechaniczną (nośności, wytrzymałości na ściskanie) oraz zmniejszając ich pęcznienie, współczynnik filtracji i rozpuszczalność [10–12].

However, due to low load capacity, which limited the use of PKW aggregate in various engineering works and in order to reduce the swelling coefficient, the improvement in these parameters was made by blending PKW aggregate with active ash and slag, including FBC ash and cement.

The obtained results met the expectations regarding the improvement of physical parameters of developed blends and became the basis for obtaining the Technical Approval of the Research Institute of Roads and Bridges for “The stabilized aggregate-binder blend PKEW”. Technical properties of the U type blend are shown in Table 2.

Simultaneously, a procedure for purchase of installation for continuous production of aggregate and ash blends was initiated. Among the several proposals an Italian installation (Ciepela Technology Promotion Company) of continuous operation with a capacity of 150 tons of compound / hr. was chosen and installed – Fig. 4.

The installation was adjusted to the technological line of processing plant from which the selected waste rock/aggregate is mixed with a specified quantity and type of a binder (ash, cement, lime).

The installation allows producing the stabilized aggregate-binder blends of different technical parameters, according to one of the 20 procedures for creating blends for different purposes. All add-ons, in particular, FBC ash and binders produced on its base, containing the active compounds of calcium, are designed to improve the physical and chemical parameters of PKW aggregates increasing, inter alia, their mechanical strength (load capacity, compressive strength) and reducing the permeability coefficient, swelling and solubility [10–12].



Rys. 4
Instalacja do produkcji mieszanek kruszywowo-popiołowych w ZG Sobieski

Fig. 4
Installation for the production of aggregate-ash blends in Sobieski Mining Company

Uruchomiona w czerwcu 2011 roku instalacja w Zakładzie Górniczym Sobieski wyprodukowała do końca roku 66 tys. ton mieszanek z dodatkiem różnego rodzaju popiołów do budowy dróg – rys. 5. Zagospodarowano w ten sposób około 56 tys. ton odpadów wydobywczych oraz około 10 tys. ton popiołów fluidalnych. Rezultatem takiego działania były między innymi efekty ekonomiczne w postaci przychodów ze sprzedaży mieszanek oraz oszczędności z tytułu uniknięcia kosztów związanych ze składowaniem odpadów wydobywczych i popiołów.

W Zakładzie Górniczym Janina planowane jest uruchomienie w 2012 roku podobnej instalacji. Natomiast w 2011 roku w zakładzie była prowadzona produkcja i sprzedaż kruszyw wyprodukowanych z odpadowej skały płonnej z bieżącej produkcji. Dla polepszenia właściwości geotechnicznych produkowanych kruszyw i zwiększenia sprzedaży uruchomiono dodatkową instalację mającą za zadanie „osuszenie” kruszyw poprzez dodatek fluidalnych popiołów lotnych. W 2011 roku wyprodukowano około 130 tys. ton mieszanek zawierających około 10 tys. ton popiołów fluidalnych z przeznaczeniem na budowę wałów przeciwpowodziowych – rysunek 6.

The installation launched in June 2011 in the Sobieski Mining Company produced, by the end of 2011, 66 000 tons of blends with the add-on of various types of ash for the purpose of road construction – Fig. 5. About 56 000 tons of mining waste and about 10 000 tons of FBC ash was managed in this way. The results of such activities are, inter alia, economic effects in the form of revenues from the sale of blends, as well as savings resulted from avoided costs associated with mining waste and ash storage.

Janina Mining Company is planning to launch a similar installation in 2012. However, in 2011 production and sale of aggregates made of waste rock of current production was already being carried out. To improve the geotechnical properties of produced aggregates and to increase sales the additional installation aiming at “drying” the aggregates by adding FBC fly ash was launched. In 2011 it produced about 130 000 tons of blends containing about 10 000 tons of FBC ash for the construction of dikes – Fig. 6.



Rys. 5
Inst. Budowa obwodnicy Chrzanowa z zastosowaniem mieszanki kruszywowo–popiołowej z ZG Sobieski



Fig. 5
Construction of ring road of city of Chrzanow using the aggregate-binder blend from Sobieski Mining Company



Rys. 6
Budowa wałów przeciwpowodziowych na Wiśle z zastosowaniem kruszywa „osuszonego” popiołem z ZG Janina



Fig. 6
The construction of dikes alongside the Vistula river using the „dried” aggregate with ash from Janina Mining Company

Wnioski

1. Przeprowadzone badania wykazały, że tradycyjne spoiwa wapniowe stosowane do granulowania drobnoziarnistych odpadów i uszlachetniania właściwości geotechnicznych średnioziarnistych odpadów węglowych mogą być zastępowane z powodzeniem przez uboczne produkty spalania węgla o dużej zawartości aktywnych związków wapnia.
2. Spośród ubocznych produktów spalania najbardziej aktywnymi okazały się fluidalne popioły lotne i denne.
3. Na właściwości użytkowe granulowanych mułów węglowych ma wpływ nie tylko rodzaj i ilość dodawanego spoiwa popiołowego ale także sposób przygotowania nadawy oraz rozwiązanie dozowania spoiwa i sposób granulowania.
4. Właściwości geotechniczne kruszyw wytwarzanych z odpadów skały płonnej można w dużym stopniu podwyższyć poprzez ich uszlachetniania dodatkiem popiołów fluidalnych i tworzenie mieszanin kruszynowo-spoiwowych.
5. Dokonane wdrożenia poprzez zbudowanie instalacji do produkcji paliwa granulowanego i mieszanin kruszynowo-spoiwowych pozwoliły na zagospodarowanie dużej masy odpadów wydobywczych, zmniejszając ich ilość na składowiskach, jednocześnie przynosząc poważne efekty ekologiczne i ekonomiczne.

W kolejnych latach, działania proekologiczne Koncernu oraz kierunki rozwoju przyjętej polityki dążenia do „powstania kopalni bezodpadowej”, będą dalej rozszerzane o zagospodarowania odpadów wydobywczych w połączeniu z ubocznymi produktami spalania. Taki trend zapewne przyczyni się do zrównoważonego rozwój naszego regionu w trosce o środowisko naturalne dla nas i przyszłych pokoleń.

Conclusions

6. The conducted studies have shown that the traditional lime binders used for granulation of small-grained waste and improving the geotechnical properties of medium-grained coal waste can be successfully replaced with by-products of coal combustion with high content of active compounds of calcium.
7. Among the combustion by-products the FBC fly ash and FBC bottom ash turned out to be the most active ones.
8. In case of properties of granulated coal slimes not only the type and amount of added ash binder has influence on them but also the way of fuel preparation, as well as the choice of binder dosing and granulation methods.
9. The geotechnical properties of the aggregates produced from waste rock can be largely improved by enriching them with the add-on of FBC ash and by producing the aggregate-binder blends.
10. Construction of the installation for granulated fuel production and aggregate-binder blends have enabled to manage a large mass of mining waste, reducing their amount in the mine dumps, while resulting in significant environmental and economic benefits.

In the subsequent years, the Company's environmental activities and directions of the adopted policy aiming at launching of “zero waste coal mine”, will be further extended by the management of mining waste along with the combustion by-products. Such a trend will, without a doubt, contribute to the sustainable development of our region for the sake of the environment for us and future generations.

Literatura – References

1. Szymkiewicz A., Fraś A., Przysaś R.: *Zrównoważony rozwój górnictwa węgla kamiennego w Północnym Koncernie Węglowym S.A. - Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 2011, nr 6*
2. *Gold medal of the fairs organizer and the Central Council of Research Institutes in the 60th International Exhibition of Innovation, Research and New Technologies at Brussels Expo Heysel “BRUSSELS INNOVA 2011”, and a special award from the Ministry of Education of Romania for PKW SA for the project entitled: “Method of continuous production of pellets based on coal slimes from the filter press”*
3. Müller M.: *Agitation-based agglomeration with disc pelletizers and pelletizing mixers. Aufbereitungs Technik 2003, nr 2*

4. Kuczyńska I.: *Metoda grudkowania bezciśnieniowego jako sposób przygotowania do utylizacji odpadowych mułów węglowych*. XIV Krakowska Konferencja n-t Przeróbki Kopalni. Kraków 1980, Jaszowiec
5. Hycnar J.J.: *Czynniki wpływające na właściwości fizykochemiczne i użytkowe stałych produktów spalania paliw w paleniskach fluidalnych*. Wyd. Górnicze. Katowice 2006
6. Hycnar J.J., Józefiak T.: *Brykietowanie odpadów drobnodziarnistych*. VIII Śląskie Seminarium Ochrony Środowiska. Bytom 01.06.2007
7. Zgłoszenie patentowe nr P.389379 z dnia 01.10.2009r. „Sposób otrzymywania stałej mieszanki paliwowej”.
8. *Ecocoal CC: Założenia technologiczne i techniczne przystosowania mułów węglowych jako dodatku do miałów węglowych i jako paliwa granulowanego*. Katowice 2008 VIII
9. Zgłoszenie Patentowe nr P.396624 z dnia 13.10.2011r. „Sposób otrzymywania granulatu opałowego z wykorzystaniem odpadów powydobywczych”
10. Szymkiewicz A., Fraś A., Przysaś R.: *Kierunki zagospodarowania odpadów wydobywczych w Południowym Koncernie Węglowym S.A.* - *Wiadomości Górnicze* 7-8/2009
11. Szymkiewicz A., Fraś A., Przysaś R.: *Produkcja kruszywa skalnego/kruszywa PKW w południowym Koncernie Węglowym S.A.* – *Magazyn Autostrady* 5/2010
12. *Aprobata techniczna IBDiM nr AT/2010-03-2576 dla Kruszywa skalnego Kruszywa PKW*
13. Baic I., Witkowska-Kita B., Blaschke W., Lutyński A.: *Wpływ wybranych czynników na rozwój innowacyjnych technologii zagospodarowywania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego określony metodą krzyżowej analizy wpływów*, *Rocznik Ochrona Środowiska*, Tom 13, Rok 2011, Str. 1339-1358
14. Filipiak J.: *Popiół lotny w budownictwie. Badania wytrzymałościowe gruntów stabilizowanych mieszkanką popiołowo-cementową*, *Rocznik Ochrona Środowiska*, Tom 13, Rok 2011, Str. 1043-1054
15. Fusova L., Cechlova K., Cablik V., Tora B.: *Utilization of bentonite and its modification for sorption*, *Rocznik Ochrona Środowiska*, Tom 13, rok 2011, str 163-172
16. Hlavatá M., Čablík V., Fečko P., Tora B.: – *Mining industry wastes – legal regulations in the Czech Republic with focus on black coal mining*. *Inżynieria Mineralna*, No 2(24), p. 27–32.
17. Fecko P., Pectova I., Ovcari P., Cablik V., Tora B.: *Influence of petrographical composition on coal flotability*, *Fuel - the science and technology of fuel and energy* ; 2005, vol. 84, pp. 1901–1904.