

GRANULOWANIE I BRYKIETOWANIE STAŁYCH PRODUKTÓW ODSIARCZANIA SPALIN

Jan J. Hycnar¹, Gabriel Borowski², Tomasz Józefiak³, Agnieszka Malec⁴

¹ Ecocoal Consulting Center, al. B. Krzywoustego 2/5, 40-870 Katowice, e-mail: ecocoalcenter@gmail.com

² Wydział Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrycka 38, 20-618 Lublin, e-mail: g.borowski@pollub.pl

³ Eko-Invest, ul. Spacerowa 14, 32-332 Bukowno

⁴ Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Lublinie, ul. Obywatelska 13, 20-092 Lublin

STRESZCZENIE

Większość produktów odsiarczania spalin charakteryzuje znacząca rozpuszczalność w wodzie i pylenie w stanie suchym. Właściwości te mogą być powodem dużego zanieczyszczenia powietrza, wód i gleb. Spośród wielu sposobów utylizacji tych odpadów, bardzo skuteczny jest proces aglomeracji metodą granulowania lub brykietowania. Z produktów odsiarczania można uzyskać nowy materiał o właściwościach kruszyw budowlanych, przy czym materiał ten jest odporny na erozję wodną i wietrzną, a także na warunki transportu i składowania. W pracy przedstawiono wyniki przeprowadzonych przemysłowych prób granulowania i brykietowania wapniowych produktów odsiarczania spalin. Do granulowania wykorzystano mieszkankę fosfogipsu z popiołem lotnym (w udziale 1:5). Otrzymany granulaty charakteryzował się wytrzymałością na ściskanie wynoszącą 41,6 MPa, wytrzymałością zrzutową 70% oraz ścieralnością 14,2%. Granulaty te zastosowano do produkcji mieszanki cementowej. Wyprodukowana zaprawa betonowa miała dłuższy czas wiązania i twardnienia w porównaniu do tradycyjnej zaprawy popiołowo-gipsowej, oraz miała większą lub porównywalną wytrzymałość na zginanie i ściskanie podczas twardnienia. Próby brykietowania wykonano z produktu zwanego gipsem syntetycznym lub rea-gipsem zarówno w czystej postaci, jak i z dodatkiem 5% oraz 10% pyłów wapiennych. Brykiety miały dużą wytrzymałość początkową oraz odporność na ścieranie. Wartości tych parametrów zwiększyły się po 72 godzinach sezonowania. Stwierdzono większą odporność brykietów z rea-gipsów na oddziaływanie zmiennych warunków atmosferycznych oraz większą odporność na wymywalność składników rozpuszczalnych w wodzie w porównaniu do brykietów z popiołów lotnych.

Słowa kluczowe: produkty odsiarczania spalin, granulowanie, brykietowanie, fosfogips, gips.

GRANULATION AND BRIQUETTING OF SOLID PRODUCTS FROM FLUE GAS DESULFURIZATION

ABSTRACT

Most flue gas desulfurization products can be characterized by significant solubility in water and dusting in dry state. These characteristics can cause a considerable pollution of air, water, and soil. Among many approaches to utilization of this waste, the process of agglomeration using granulation or briquetting has proved very effective. Using desulfurization products a new material of aggregate characteristics has been acquired, and this material is resistant to water and wind erosion as well as to the conditions of transportation and storage. The paper presents the results of industrial trials granulation and briquetting of calcium desulphurization products. The granulation of a mixture of phosphogypsum used with fly ash (in the share 1:5). The resulting granules characterized by a compressive strength of 41.6 MPa, the damping resistance of 70% and 14.2% abrasion. The granulate was used for the production of cement mix. The produced concrete mortar have a longer setting and hardening time, as compared to the traditional ash and gypsum mortar, and have a higher or comparable flexural and compressive strength during hardening. Briquetting trials made of a product called synthetic gypsum or rea-gypsum both in pure form and with the addition of 5% and 10% of the limestone dust. Briquettes have a high initial strength and resistance to abrasion. The values of these parameters increased after 72 hours of seasoning. It was found that higher hardness of briquettes with rea-gypsum was obtained with the impact of atmospheric conditions and higher resistance to elution of water-soluble components in comparison to ash briquettes.

Keywords: flue gas desulfurization products, granulation, briquetting, phosphogypsum, gypsum.

WPROWADZENIE

W zależności od przyjętej wapniowej technologii odsiarczania spalin otrzymujemy bardzo zróżnicowane składem oraz właściwościami chemicznymi i fizycznymi stałe produkty. Wśród nich można wyróżnić:

- 1) produkty z mokrego odsiarczania spalin:
 - mokre mieszaniny produktów odsiarczania z popiołami lotnymi,
 - mokre produkty odsiarczania nie zupełnie utlenione,
 - mokre/wilgotne produkty odsiarczania stanowiące siarczan wapnia;
- 2) produkty z suchego (półsuchego) odsiarczania spalin:
 - suche czyste produkty poreakcyjne,
 - suche mieszaniny produktów poreakcyjnych z popiołami lotnymi.

Niezagospodarowane stałe produkty z odsiarczania spalin i neutralizacji gazów odlotowych za pomocą związków wapnia należą do jednej z grup odpadów:

- 10 01 05 – stałe odpady z wapniowych metod odsiarczania gazów odlotowych;
- 10 01 07 – produkty z wapniowych metod odsiarczania gazów odlotowych odprowadzanych w postaci szlamu;
- 10 01 82 – mieszaniny popiołów lotnych i odpadów stałych z wapniowych metod odsiarczania gazów odlotowych (metody suche i półsuche odsiarczania spalin oraz spalanie w złożu fluidalnym).

Najwcześniejszą postacią produktów odsiarczania spalin były mieszaniny związków wapnia zawierająca oprócz siarczanu wapnia, siarczyn wapnia i nieprzereagowane związki wapnia, niejednokrotnie zmieszane z popiołami lotnymi [World FGD Systems 1985]. Ta forma związków wapnia charakteryzowała się dużą rozpuszczalnością w wodzie, a po wysuszeniu dużą skłonnością do pylenia. Dla ograniczenia ujemnego oddziaływania na środowisko, do transportu i składowania materiał ten był odpowiednio nawilżany (objętościowo lub powierzchniowo). Odmianą takiego procesu odsiarczania spalin była polska technologia MOWAP, opracowana przez ZPBE Energopomiar – mokra metoda wapienna [Piszczek i in. 1980]. W ramach kompleksowego opracowania technologii, rozwiązywano również problem bezpiecznego składowania i zagospodarowania produktów poreakcyjnych [Węgrzyn i in. 1980].

Rozwiązanie szeregu niedostatków pierwotnych metod odsiarczania było opanowanie mokrej technologii odsiarczania spalin z dotlenianiem produktów poreakcyjnych i produkcji technicznie czystego siarczanu wapnia (gipsu; zawartość: powyżej $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, wilgoci poniżej 10%), stosunkowo łatwego do zagospodarowania.

Wszystkie te produkty odsiarczania, jeżeli są zagospodarowane nie stanowią problemu dla ich producentów i dystrybutorów. Gdy natomiast wymagają składowania, odzywają się wszystkie problemy związane z ochroną środowiska i zagadnieniami społecznymi. Problemy te można skutecznie rozwiązać przez zmianę pylastej ich konsystencji w postaci zestaloną jako wysokozaęszczone zawiesiny, granulatu lub brykiety. Zmiana postaci produktów odsiarczania z pylastej na kawałkową prowadzi do wzrostu ich odporności na erozję wodną i wietrzną. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wyników przeprowadzonych prób granulowania i brykietowania stałych produktów odsiarczania spalin.

GRANULOWANIE WAPNIOWYCH PRODUKTÓW ODSIARCZANIA SPALIN

W procesie odsiarczania spalin metodą MOWAP produkt poreakcyjny jest mieszaniną związków wapnia w postaci zawiesiny wodnej (zaw. wody 50%; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 22,5%) $\text{CaSO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – 17,0%; CaCO_3 – 5,0%). Zaproponowano mieszanie ich z popiołami lotnymi i żużłami oraz wspólne składowanie w dotychczasowych składowiskach zakładając, że początkowy wzrost zawartości substancji rozpuszczalnych w wodzie nadosadowej (około 2200 mg/dm³), zostanie obniżony w wyniku zachodzących procesów kolmatacyjnych. W zależności od zasiarczenia spalnego węгля stosunek ilościowy popiołów do szlamów wahał się 0,8 do 4, co oznacza, że przy spalaniu najbardziej zasiarczonego węgla ilość szlamów przekracza ilość wypadających popiołów lotnych [Piszczek i in. 1980]. Dla ograniczenia wymywalności składników rozpuszczalnych w wodzie i wtórnego pylenia wysuszonych szlamów oraz nadania im cech materiałów użytkowych (np. kruszywo, materiał podsadzkowy itd.) przeprowadzono badania i próby ich granulowania. Szlamy w naturalnej postaci po odwodnieniu nie tworzyły trwałych granul podczas ich aglomeracji.

Pozytywne rezultaty uzyskano granulując szlamy w mieszaninie z popiołami lotnymi.

W tych przypadkach „naturalne” szlamy dozowane do popiołu w granulatorze talerzowym tworzyły granulaty o dużej wytrzymałości początkowej (*in statu nascendi*), wzrastającej podczas ich sezonowania. W zależności od udziału popiołu w nadawie, granulaty charakteryzował się także dużą odpornością na erozję wodną (spadek wymywalności składników rozpuszczalnych w wodzie) i wietrzną (pylenie). Ponadto jego właściwości (uziarnienie, wytrzymałość na ściskanie, itp.) spełniały wymagania na kruszywa wapienne i materiał do podszyci hydraulicznej oraz jako materiał neutralny do robót rekultywacyjnych [Hycnar 1988].

Przykładem praktycznego wykorzystania wapniowych produktów poreakcyjnych i popiołów ze spalania węgla była instalacja granulowania fosfogipsów z popiołami w Zakładach Nawozów Fosforowych w Policach. W opracowanej technologii i zbudowanej instalacji z granulatorem bębnowym uzyskano ograniczenie pylenia i zmniejszenie wymywalności składników rozpuszczalnych w wodzie ze zdeponowanych odpadów na składowisku.

Poddano także granulowaniu fosfogipsu z Gdańskich Zakładów Nawozów Fosforowych (Grupa Azoty Zakłady Azotowe „Puławy” S.A.), w celu oceny możliwości i celowości wykorzystania w produkcji cementów [Borowski, Hycnar 2015]. Fosfogips w postaci surowej (zawodnionej) nie nadaje się do granulowania oraz przy dodatku popiołów lotnych nie tworzy trwałego granulatu. W obróbce termicznej metodą suszenia uzyskano fosfogips o wilgotności ok. 5% (wyjściowa 25%), która jest wystarczająca do zastosowania go, jako surowca wiążącego do granulowania popiołów lotnych pobranych z Elektrowni Łagisza.

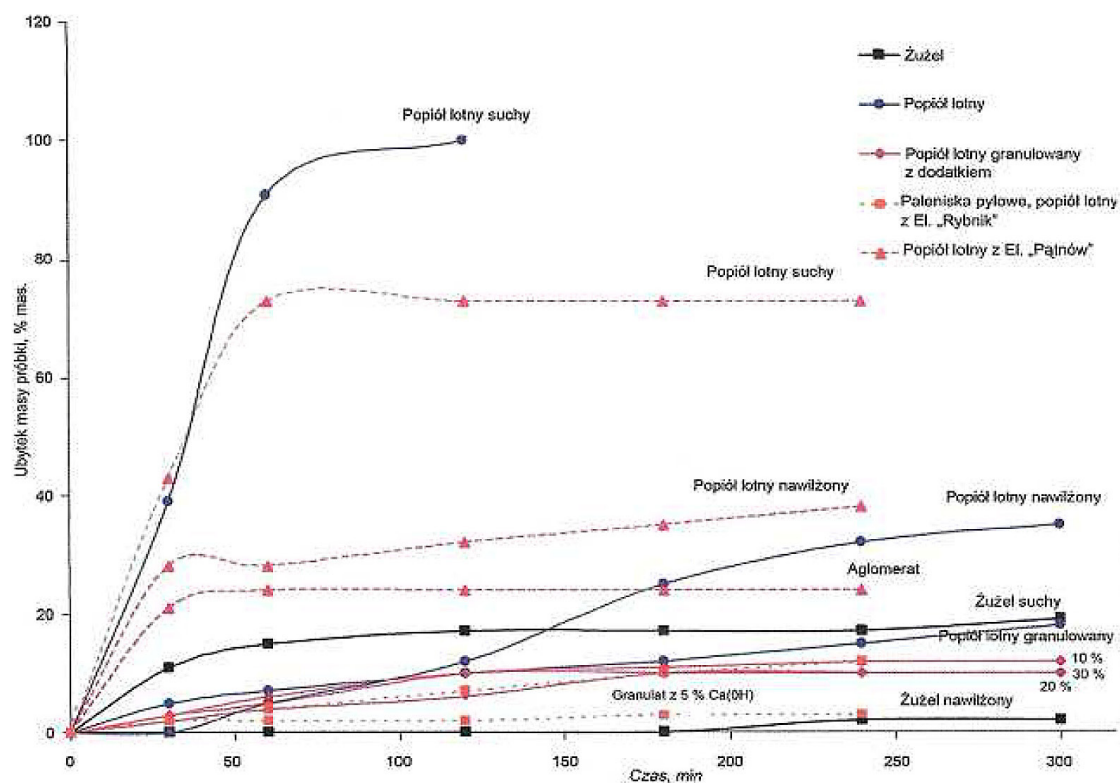
Mieszanke fosfogipsu z popiołem lotnym (w stosunku 1:5) po ujednorodnieniu w mieszalniku podawano do granulatora talerzowego (o średnicy talerza 0,65 m, wysokości burty 0,16 m, obrotach 12–30 na min., kącie nachylenia 10–90°). W trakcie granulowania stosowano nawilżanie wodą za pomocą dyszy rozpylającej o średnicy 1,4 mm. Maksymalny wymiar średnicy granulatu wynosił ok. 20 mm, zaś średni wymiar wynosił 5–15 mm. Gotowe granulaty sezonowano w okresie 48–72 godzin. Granulaty charakteryzował się wytrzymałością na ściskanie wynoszącą 41,6 MPa, wytrzymałością zrzutową 70%, ścieralnością 14,2% i masą nasypową – 806 kg/m³ przy zawartości wody wynoszącej 14,2% (tabela 1).

Otrzymany granulaty zastosowano do wyprodukowania cementów. Mieszanke cementową (z dodatkiem 20% rozdrobnionego granulatu) charakteryzuje dłuższy czas wiązania i twardnienia w porównaniu do cementu popiołowo-gipsowego. Natomiast uzyskana zaprawa miała większą lub porównywalną wytrzymałość na zginanie oraz na ściskanie, odpowiednio po 3, 7 i 28 dniach twardnienia. Uzyskany cement nie odbiega właściwościami od typowych oraz spełnia wymagania wytrzymałościowe cementu klasy 32,5 [Borowski, Hycnar 2015].

Stwierdzono zatem korzystny wpływ procesów granulowania na właściwości materiałów pylistych i drobnoziarnistych. Różnice w rozpuszczalności i pyleniu ubocznych produktów spalania (ups) w postaci naturalnej i po granulacji przedstawiono na rysunku 1 oraz w tabeli 2 [Hycnar 2006]. Jednakże nie wszystkie wapniowe produkty odsiarczania spalin są łatwe do granulowania i niejednokrotnie wymagają dodatkowej obróbki (np. termicznej, aktywacji powierzchniowej itp.) oraz stosowania dodatkowych składników

Tabela 1. Charakterystyka granulatu uzyskanego z popiołu lotnego z dodatkiem 20% fosfogipsu

Nr próby	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Wytrzymałość na zrzut [%]	Masa nasypowa [kgm ⁻³]	Zawartość wilgoci [% wag.]	Odporność na ścieranie [%]
1	3,8	76,3	762,1	14,0	7,6
2	3,9	78,4	795,4	13,8	8,0
3	3,9	77,3	800,2	14,2	7,7
4	4,0	82,5	775,4	13,3	7,8
5	4,1	81,3	782,9	14,2	7,2
6	4,2	83,9	790,3	15,0	7,6
7	4,3	79,5	833,7	14,8	7,5
8	4,5	82,3	823,4	14,0	7,8
9	4,6	83,4	840,5	14,6	6,9
10	4,7	85,2	842,1	14,0	7,7
Średnia	4,2	81,0	804,6	14,2	7,6



Rys. 1. Wpływ granulowania na kinetykę pylenia w funkcji czasu w tunelu aerodynamicznym (40 km/h)

Tabela 2. Wpływ granulowania na rozpuszczalność składników w wodzie

Metoda badania rozpuszczalności	Popioły z palenisk fluidalnych – rozpuszczalność [%]				
	Popiół lotny	Żużel		Granulat żużla mielonego sezonowany [dni]	
		naturalny	granulowany (po 28 dniach)	1	28
Dynamiczna	2,17	0,78	0,08	0,27	0,07
Ekstrakcyjna	11,1	9,87	0,08	1,92	0,08

(np. popiołów, spoiw itp.). Istotnym czynnikiem negatywnie wpływającym na rozwój procesów granulowania są stosunkowo małe wydajności granulatorów oraz znaczne zużycie energii elektrycznej w odniesieniu do masy wytworzonego produktu.

BRYKIETOWANIE WAPNIOWYCH PRODUKTÓW ODSIARCZANIA SPALIN

W początkowym okresie rozwoju mokrej metody wapienno-gipsowej opracowano i wdrożono w Niemczech technologię brykietowania rea-gipsu [Stalh, Jurkowitsch 1985]. Brykietowany rea-gips był łatwy do deponowania w środowisku oraz do zagospodarowania w wyrobiskach kopalni węgla kamiennego. Obecnie brykietowanie stosowane jest w czeskiej elektrowni Mielnik

wraz z dostawą rea-gipsu do cementowni [Kraitr, Sirotek 2002]. W jednej z polskich elektrowni wyposażonej w instalację odsiarczania spalin, planowano wprowadzenie brykietowania rea-gipsu oraz zakupiono przemysłową brykieciarkę, które nie została uruchomiona. Technologie brykietowania gipsu odpadowego przedstawiono w kilku krajowych pracach [Cichy 2012, Małolepszy, Łagosz 1990], które jednak nie zostały wdrożone.

W ostatnim czasie stwierdza się nadmiar niezagospodarowanego rea-gipsu, przy jednoczesnym wzroście ilości i mocy instalacji odsiarczania spalin oraz ustabilizowanego rynku materiałów budowlanych. Problem bezpiecznego składowania rea-gipsu będzie wymagał rozwiązania.

Przeprowadzono próby brykietowania rea-gipsu pobranego z trzech krajowych elektrowni wyposażonych w instalację odsiarczania spalin.

Wytworzone brykiety miały kształt „poduszek” o wymiarach 58×58×25 mm oraz 25×25×15 mm. Wykonano je w przemysłowej prasie walcowej produkcji Eko-Invest model PW 400×260 o wydajności 6 Mg/h. Przed dozowaniem do brykietarki pobrane 100 kilogramowe partie re-a-gipsu przesiewano przez sito o oczkach 2×2 mm. Nie stwierdzano występowania zanieczyszczeń w materiale. Proces brykietowania przebiegał prawidłowo i wytworzone brykiety spadając z brykietarki na twarde podłoże z wysokości 350 mm nie ulegały zniszczeniu (pękaniu). Brykiety miały dużą spójność sprasowanego gipsu oraz nie oklejały matrycy prasy podczas brykietowania.

Otrzymywane brykiety poddano następującym badaniom:

- testy produkcyjne,
- wytrzymałości na ściskanie,
- odporności na warunki atmosferyczne,
- wodoodporności,
- wymywalności składników rozpuszczalnych w wodzie.

Testy produkcyjne

Badania testowe prowadzono z brykietami wykonanymi z samego gipsu oraz z brykietami wykonanymi z dodatkiem 5% i 10% pyłów wapiennych. Brykiety z gipsu bez dodatków, w pierwszej fazie po wyjściu z prasy wyraźnie były słabsze, ale w okresie kilkudniowego sezonowania uzyskiwały wystarczającą wytrzymałość. Gips z dodatkiem pyłów stwarzał wyraźny opór w trakcie brykietowania, ale brykiety były bardziej zbite i o wyższej wytrzymałości na ści-

skanie. Wyniki badań wykazały, że gips jest podatny na brykietowanie zarówno w czystej postaci, jak i dodatkiem pyłów wapiennych.

Stwierdzono, że możliwe jest dalsze zwiększenie wytrzymałości brykietów przez poprzez zastosowanie docisku ślimakowego wsadu w prasie walcowej.

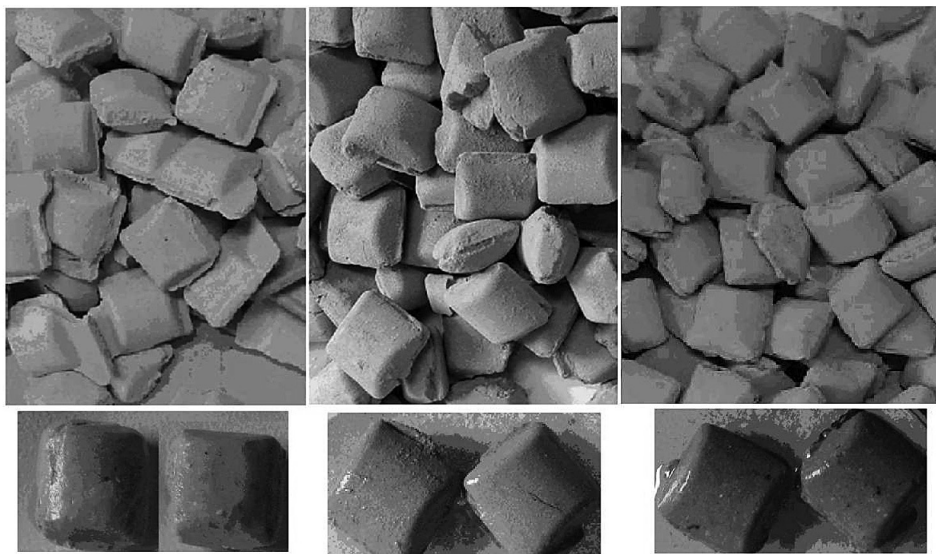
Badania brykietów w zmiennych warunkach atmosferycznych i wodnych prowadzono z brykietami „małym» (25×25×15 mm) (rys. 2). W tym celu wytworzono cztery partie brykietów:

- 1) z re-a-gipsów powstałych w instalacji A,
- 2) z re-a-gipsów powstałych w instalacji B,
- 3) z fluidalnego popiołu lotnego,
- 4) z mieszaniny popiołu lotnego z popiołem den-
nym.

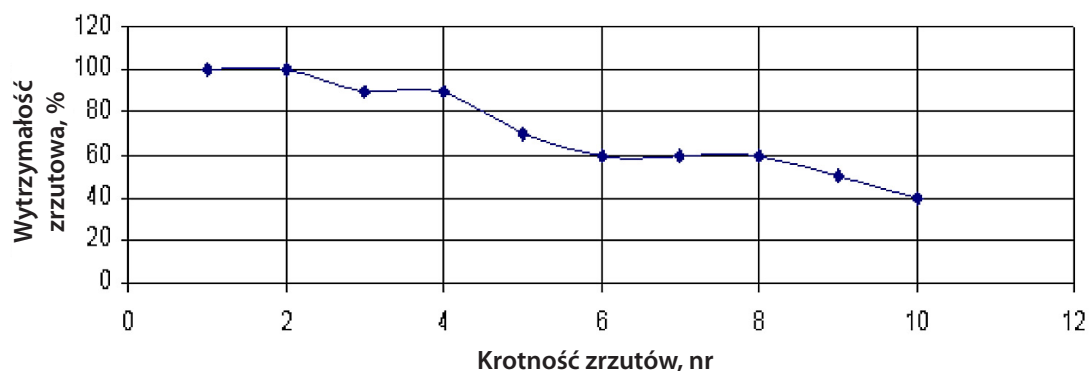
Badania wytrzymałości mechanicznej

Wymienione brykiety charakteryzowała duża wytrzymałość mechaniczna w momencie ich wytworzenia. Podczas sezonowania brykietów następuje dalszy wzrost ich wytrzymałości mechanicznej i odporności na ścieranie. Najwyższe przyrosty tych parametrów rejestrowano w pierwszych 72 godzinach sezonowania.

Wszystkie badane brykiety, niezależnie od ich pochodzenia, w warunkach atmosferycznego składowania w ciągu około 4000 godzin nie uległy zniszczeniu i po tym czasie odnotowano bardzo wysokie wytrzymałości zrzutowe – nawet 6-ciokrotny cykl zrzutów z wysokości 1,5 m nie powodował uszkodzenia ich struktury) (rys. 3). Według kryteriów stosowanych do oceny brykietów z droбноziarnistych węgli [Giemza 2007]



Rys. 2. Wygląd brykietów z re-a-gipsu i popiołów fluidalnych



Rys. 3. Przebieg spadku wytrzymałości zrzutowych brykietów rea-gipsu w zależności od krotności ich zrzutów

otrzymane brykiety z rea-gipsu spełniają kryteria bezpiecznego transportu i ich składowania.

Wykonując próby w prasie stemplowej uzyskano różnice ich wytrzymałości na ściskanie (tabela 3). Najbardziej wytrzymałymi na nacisk okazały się brykiety z mieszaniny popiołów lotnych z dennymi. Interesujące natomiast okazało się zachowanie próbki rea-gipsu – podczas zwiększania nacisku na próbkę ulegała ona „płynięciu», jest to tzw. zjawisko tiksotropii (rys. 4).

Odporność na warunki atmosferyczne

Mierzono temperatury otoczenia i wilgotności w okresie od września 2014 r. do lipca 2015 r. Próbki zabezpieczono przed opadami deszczu. Odnotowano wahania temperatury w zakresie od -27°C do $+36^{\circ}\text{C}$, zaś zmiana wilgotności wynosiła od 18% do 100%. Brykiety poddane działaniu wstrząsom i przyspieszeniom w procesie transportu kołowego na trasie 1500 km nie uległy

zniszczeniu, jedynie uległy nieznacznemu ścieraniu (zawartość pyłu 0,6%).

Badania wodoodporności

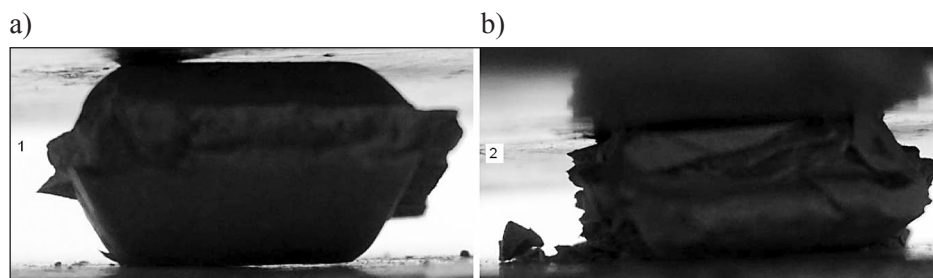
Do badań wodoodporności brykiety umieszczono w wodzie na około 4000 godzin i poddano je mieszaniu w warunkach transportu kołowego na trasach wynoszących w sumie 1500 km. Próby prowadzono od września 2014 roku do lipca 2015 roku. Po wyjęciu z wody brykiety nie uległy zniszczeniu. Po ich wysuszeniu w powietrzu wykonano próby zrzutowe (tabela 4). W pozostałej wodzie największą ilość zawiesin stwierdzono w próbkach zawierających brykiety z rea-gipsem.

Badania wymywalności

Wykonano badania wymywalności składników rozpuszczalnych w wodzie z brykietów

Tabela 3. Porównanie nacisków powodujących rozkruszenie próbek (średnia, z co najmniej 5-ciu powtórzeń)

Lp.	Próbka	Nacisk prasy, p [MPa]	Siła nacisku, F [N]
1.	Popiół lotny + popiół denny	0,31	16 450
2.	Popiół lotny	0,20	10 613
3.	Rea-gips B	0,17	9 021
4.	Rea-gips A	0,12	6 368



Rys. 4. Wygląd brykieta rea-gipsu poddanej działaniu sił nacisku: a – przed próbą, b – w czasie próby

Tabela 4. Charakterystyka brykietów po 4000 godzinach kontaktowania z wodą

Próbka		Brykiety			Zawiesina wodna	
Nr	Rodzaj	Wygląd	Wytrzymałość zrzutowa [%]		Mętność	Zawartość osadu w stosunku do masy brykiety [%]
			po 24 h	po 1000 h		
1	Rea-gips A	bez zmian	100	100	lekko mętna	3,00
2	Rea-gips B	bez zmian	100	100	lekko mętna	2,32
3	Popiół lotny	bez zmian	100	100	klarowna	0,04
4	Popiół lotny + popiół denny	bez zmian	100	100	klarowna	0,04

Tabela 5. Wyniki wymywalności pierwiastków z brykietów

Pierwiastek	Zawartość pierwiastka w wyciągu wodnym [mg/dm ³]			
	Rea-gips A	Rea-gips B	Popiół lotny	Popiół lotny + popiół denny
Al	0,02140	0,03721	7,59450	4,57421
As	0,0	0,01386	0,02472	0,0
Cd	0,00157	0,00125	0,00055	0,00045
Cr	0,0	0,0	0,07647	0,15523
Cu	0,00151	0,00753	0,00407	0,01160
Fe	0,0	0,0	0,0	0,0
Mn	0,07598	0,29833	0,0	0,0
Ni	0,00188	0,00351	0,00282	0,0

(tabela 5). Stwierdzone stężenia poszczególnych składników w wyciągach wodnych z brykietów z rea-gipsu były mniejsze w porównaniu do stężeń w wyciągach wodnych z brykietów popiołowych.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W najbliższych latach przewiduje się dalsze zwiększenie ilości niezagospodarowanego gipsu z odsiarczenia spalin, więc istnieje konieczność jego zagospodarowania. Przeprowadzone próby granulowania i brykietowania pylastych wapniowych produktów odsiarczenia spalin potwierdziły możliwości ich efektywnego scalania (kawałkowania). W niektórych przypadkach, do granulowania produktów odsiarczenia konieczna jest obróbka termiczna oraz dodawanie spoiw.

Zmiana struktury pylastej na kawałkową wapniowych produktów odsiarczenia spalin skutkuje zwiększeniem odporności na erozję wietrzną i wodną w procesie ich deponowania, transportu oraz dalszego użytkowego wykorzystania. Deponowane granulaty lub brykiety praktycznie nie zanieczyszczają powietrza, gleby, a także wód (minimalna wymywalność składników rozpuszczalnych w wodzie).

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały dużą efektywność przeróbki gipsu do postaci bry-

kietów. Zaletą tego rozwiązania jest prosty sposób przygotowania materiału, łatwość procesu aglomeracji, jak również możliwość bezpiecznego przewozu otwartymi środkami transportu na składowisko lub do odbiorcy. Brykiety z gipsu wykazały dużą odporność na erozję wietrzną i wodną, znaczące wartości wytrzymałości mechanicznej, oraz minimalną wymywalność składników rozpuszczalnych w wodzie. Brykietowany gips powinien uzyskać statut surowca przyszłościowego.

LITERATURA

1. Borowski G., Hycnar J.J. 2015. Wykorzystanie granulowanych popiołów lotnych z fosfogipsem jako dodatku do produkcji cementu. Cement-Wapno-Beton (w druku).
2. Cichy B. 2012. Odpady nieorganiczne przemysłu chemicznego. Foresight Technologiczny. Gliwice-Warszawa-Kraków.
3. Giemza H., Gruszka G., Hycnar J., Józefiak T., Kiermaszek K. 2007. Optymalizacja zagospodarowania sedymentu węglowego – technologia brykietowania sedymentu. Polityka Energetyczna, 10(2).
4. Hycnar J.J. 1988. Storage and utilization of solid flue gas desulphurization by-products. Seminar on Impact of Atmospheric Protection Measures on Thermal Power Station. Essen.

5. Hycnar J.J. 2006. Czynniki wpływające na właściwości fizykochemiczne i użytkowe stałych produktów spalania paliw w paleniskach fluidalnych. Wyd. Górnicze. Katowice.
6. Kraitr M, Sirotek V. 2002. Flue Gas Desulphurization (FGD) at the Melnik Power Plant (CZ) and the Use of Produced FGD Gypsum (DSG). *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, nr 2-3.
7. Małolepszy J., Łagosz A. 1990. Właściwości fizykochemiczne odpadów powstających w metodzie półsuchej odsiarczania gazów i ich wykorzystanie. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, nr 10.
8. Piszczek L., Zajączkowski J., Adamek E. 1980. Wpływ składowiska szlamów pochodzących z odsiarczania gazów spalinowych na środowisko wodne. ZPBE Energopomiar. Sprawozdanie nr 41/80. Gliwice.
9. Stalh H, Jurkowitsch H. 1985. Briquetting of flue-gas gypsum. *Aufbereitungs Technik*, nr 8.
10. Węgrzyn Z., Chajdaś M. Hycnar J.J. i in. 1980. Wykorzystanie produktów poreakcyjnych procesu odsiarczania spalin wg mokrej metody wapiennej MOWAP do produkcji materiałów budowlanych. Etap. PZOEl. Katowice.
11. World FGD Systems 1985. Northbrook, Ill, McIlvaine Co, , pp. 104.