



<https://doi.org/10.32056/KOMAG/KOMEKO2023.2>

Poprawa właściwości użytkowych węgla z Zakładu Górniczego Brzeszcze TAURON Wydobycie S.A. poprzez dodatek modyfikatora w postaci haloizytu

Robert Łaskuda – TAURON Wydobycie S.A.

Rafał Przysaś – TAURON Wydobycie S.A.

Zbigniew Jagiello – TAURON Wydobycie S.A.

Józef Soltys – Przedsiębiorstwo Techniczno-Handlowe INTERMARK

Streszczenie: W rozdziale przedstawiono możliwości poprawy właściwości użytkowych węgla poprzez dodatek haloizytu ze złoża Dunino jako modyfikatora. Przedstawiono przebieg procesu spalania węgla różnych typów w kotłach z dodatkiem haloizytu lub bez dodatku, zmianę parametrów procesu spalania oraz analizę porównawczą spalin i popiołu. Opisano technologie sporządzania mieszanin węgla z haloizytem.

Słowa kluczowe: węgiel, groszek plus, spalanie, haloizyt

Improvement of the usable properties of hard coal from Zakład Górniczy Brzeszcze TAURON Wydobycie S.A. by adding a modifier in the form of halloysite

Abstract: The chapter presents the possibilities of improving of the usable properties of coals by adding halloysite from the Dunino deposit as a modifier. The course of the combustion process of various types of coals, which takes place in boilers with or without the addition of halloysite, change of combustion process parameters and comparative analysis of flue gas and ash were presented. Technologies for preparing mixtures of coal and halloysite were described.

Keywords: coal, groszek plus, combustion, halloysite

1. Wprowadzenie

TAURON Wydobycie S.A. jest jednym z kluczowych producentów węgla energetycznego w Polsce [1]. Skupia trzy zakłady górnicze w zachodniej Małopolsce oraz wschodniej części województwa śląskiego: ZG Brzeszcze w Brzeszczach, ZG Janina w Libiążu oraz ZG Sobieski w Jaworznie. W zakładach górniczych Sobieski i Janina wydobywany jest węgiel energetyczny typu 31.2 (węgiel płomienny). Węgiel wydobywany w Zakładzie Górniczym Brzeszcze jest klasyfikowany jako węgiel typu 33 i 34.1, czyli należy do węgla gazowych i gazowo-koksowych.

Głównymi odbiorcami węgla (około 80% produkcji) z zakładów górniczych TAURON Wydobycie S.A. jest energetyka zawodowa i ciepłownictwo.

Pozostała część to w większości sektor gospodarstw domowych, który w ostatnim czasie uległ znaczącej transformacji i dla tej grupy odbiorców TAURON Wydobycie S.A. realizował opisany w niniejszym rozdziale projekt poprawy własności użytkowych węgla.

Węgiel dla odbiorców indywidualnych produkowany jest w Spółce w trzech podstawowych sortymentach:

- **Kostka**
63÷200 [mm], 22,0÷24,0 [MJ/kg] - produkcja w ZG Sobieski i ZG Janina.
- **Kostka II**
63÷130 [mm], 22,0÷24,0 [MJ/kg] - produkcja w ZG Sobieski.



- **Orzech**
25÷80 [mm], 22,0÷24,0 [MJ/kg] - produkcja w ZG Sobieski i ZG Janina.
25÷80 [mm], 28,0÷32,0 [MJ/kg] - produkcja w ZG Brzeszcze.
- **Groszek**
5÷40 [mm], 22,0÷24,0 [MJ/kg] - produkcja w ZG Sobieski i ZG Janina.
5÷40 [mm], 28,0÷32,0 [MJ/kg] - produkcja w ZG Brzeszcze.
- **Groszek II**
5÷25 [mm], 22,0÷24,0 [MJ/kg] - produkcja w ZG Sobieski i ZG Janina.
5÷25 [mm], 28,0÷32,0 [MJ/kg] - produkcja w ZG Brzeszcze.

Stosowane przez lata do ogrzewania w gospodarstwach domowych węgle o sortymentach grubych (kostka, orzech) w ostatnim czasie w dużym stopniu wyparte zostały przez węgle o drobniejszym ziarnie (groszki 0÷40 mm) lub wysokojakościowe odpowiednio przygotowane – groszki plus (6÷25 mm). Dzieje się tak, między innymi, za sprawą wzrostu świadomości ekologicznej społeczeństwa oraz Rządowego programu „Czyste powietrze” pozwalającego na sukcesywną wymianę w gospodarstwach domowych węglowych źródeł ciepła na bardziej wydajne i ekologiczne. Stare, „kopcące” kotły węglowe, które umożliwiają spalanie wszystkich rodzajów paliw, wymienia się na nowoczesne, w których proces i technika spalania jest prowadzona w sposób znacznie ograniczający wpływ na środowisko.

Tendencja zamiany tradycyjnych paliw węglowych na „groszki plus” będzie postępowała, na co dowodem może być system zachęt przygotowany przez Rząd (dopłaty nawet do 80% kosztów przy wymianie kotłów). Można zatem założyć, że w perspektywie kilku kolejnych lat zastaniemy sytuację, że segment klientów indywidualnych, którzy obecnie stosują tradycyjne sortymenty węglowe, będzie zastąpiony segmentem klientów na groszki plus.

Dostosowując się do zachodzących w tym sektorze zmian, w sierpniu 2017 roku TAURON Wydobyte S.A. uruchomił produkcję wysokojakościowych konfekcjonowanych paliw węglowych - **TAURON Ekogroszek oraz JARET Plus** (nazwa handlowa). Ze względu na konieczność uzyskania odpowiednich parametrów jakościowych paliwo przygotowywane jest z mieszanki wyselekcjonowanych wysokokalorycznych węgli z Zakładu Górniczego Brzeszcze oraz Zakładu Górniczego Sobieski [2]. W tym przypadku dużym ograniczeniem przy produkcji groszków plus o wysokich parametrach jakościowych (przede wszystkim wysokiej kaloryczności) jest spiekalność węgla pochodzącego z ZG Brzeszcze wyrażona wskaźnikiem RI na poziomie około 50.

Analizując możliwości poprawy parametrów jakościowych węgli produkowanych w ZG Brzeszcze przy zastosowaniu dostępnych modyfikatorów ustalono kilka potencjalnych kierunków prowadzenia prac. Najbardziej optymalnym rozwiązaniem było zastosowanie do tego celu szeroko rozpowszechnionego minerału ilastego - haloizytu.

Aby sprawdzić i potwierdzić właściwości haloizytu jako modyfikatora polepszającego parametry jakościowe węgli z ZG Brzeszcze, należało przeprowadzić szereg badań i testów. W tym celu TAURON Wydobyte S.A. podjął współpracę z firmą Przedsiębiorstwo Techniczno-Handlowe Intermark, właściciela kopalni haloizytu w Duninie, z którą od 2019 r. zrealizował pracę badawczą – rozwojową pn: „*Poprawa właściwości użytkowych ekogroszków produkowanych przez TAURON Wydobyte S.A.*”

Głównym celem pracy było wykonanie prób spalania zmodyfikowanego węgla w poszczególnych fazach procesu na kotłach retortowych m.in. klasy Ecodesign oraz przeprowadzenie szczegółowych badań produktów spalania (popiołu i spalin) [3, 4].

W założeniach do przeprowadzonego projektu modyfikacji węgla przyjęto, że dzięki zastosowaniu haloizytu będzie można obniżyć spiekalność Groszku II z ZG Brzeszcze i zaferować tak przygotowane paliwa użytkownikom nowoczesnych kotłów V generacji. Dodatkowo zmniejszając indeks Rogi w węglach z ZG Brzeszcze można będzie zwiększyć kaloryczność produkowanych w ZG Sobieski groszków plus uzyskując lepsze i wydajniejsze paliwo.

Ze względu na swoje właściwości fizyko-chemiczne dodatek haloizytu ma wpłynąć również na poprawę innych parametrów spalania, istotnych z punktu widzenia ekonomicznego i ekologicznego, w tym między innymi na:

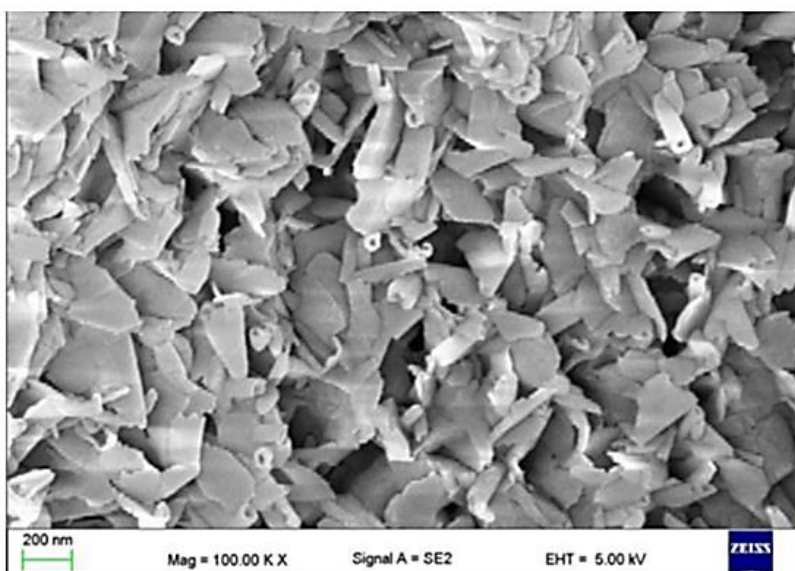
- wzrost sprawności spalania (mniejsza zawartość części palnych w popiele),
- redukcję emisji zanieczyszczeń do atmosfery,
- redukcję emisji szkodliwych gazów.

1.1. Charakterystyka haloizytu ze złoża Dunino

Haloizyt jest minerałem z grupy minerałów warstwowych. W Polsce jest on wydobywany przez Kopalnię Haloizytu Dunino w miejscowości o tej samej nazwie leżącej pod Legnicą. Polski haloizyt składa się z mieszaniny nanorurek i nanopłytek, luźno połączonych ze sobą przestrzennie (rys. 1). Haloizyt jest minerałem nieposiadającym wartości opałowej [3].

Haloizyt ze złoża Dunino odznacza się następującymi właściwościami:

- duża powierzchnia właściwa (surowy – $60\div 70$ m²/g, aktywowany do 500 m²/g),
- duża porowatość wynikająca z luźno aglomerowanej struktury,
- zdolność absorpcji metali ciężkich (m.in. rtęci) i szkodliwych gazów,
- duża ilość aktywnych centrów odgrywających sorpcyjną i katalityczną rolę,
- zachowanie struktury do temperatury ok. 1500°C.



Rys. 1. Mikroskopowy widok SEM haloizytu Dunino (widoczna luźna przestrzennie mieszanina nanorurek i nanopłytek o dużej porowatości) [3]

Haloizyt testowany był również w energetyce jako dodatek do spalania węgla, biomasy i RDF. Po przeprowadzonych próbach wykazano jego przydatność poprzez następujące działania:

- redukcja szlakowania i zanieczyszczania powierzchni ogrzewalnych kotłów,
- redukcja emisji pyłów, metali ciężkich (w tym rtęci) i gazów szkodliwych (NO_x, Cl, HCl),
- efektywne spalanie paliw uważanych za jakościowo gorsze, takich jak węgle o podwyższonej zawartości rtęci i chloru, RDF, biomasa typu AGRO,
- katalityczne działanie na proces spalania węglowodorów aromatycznych i alifatycznych.

1.2. Charakterystyka węgla z ZG Brzeszcze

Ze względu na duże skłonności do spiekania się w czasie spalania i tworzenia spieków koksowych, węgiel z ZG Brzeszcze nie znajduje szerokiego zastosowania w kotłach energetycznych (tabela 1). Wysoka liczba Rogi (40÷60) i wskaźnik wolnego wydymania (3) sprawiają, że przy wzroście temperatury w czasie procesu spalania ziarna tego węgla zwiększają swoją objętość nawet 2÷3 krotnie, a wydzielające się przy wzroście temperatury plastyczne związki smoliste powodują powstawanie dużych aglomeratów ziarnowych, których spalanie wymaga długiego czasu.

Głównym celem stosowania haloizytu jako dodatku do węgla jest redukcja spiekalności w procesie spalania w kotłach retortowych i rusztowych.

Charakterystyka węgli z TAURON Wydobycie S.A. sortyment groszek i groszek II

Tabela 1

	Brzeszcze		Sobieski		Janina	
	średnie	oferta	średnie	oferta	średnie	oferta
typ węgla	33.0-34.1		31.2		31.2	
sortyment	Groszek		Groszek II		Groszek II	
wartość opałowa [kJ/kg]	29 000	28 000 - 32 000	23 000	22 000 - 24 000	23 000	22 000 - 24 000
zawartość popiołu AR [%]	6-9		5-9		5-9	
zawartość wilgoci Wtr [%]	4-7		16-20		16-20	
zawartość siarki Sr [%]	0,3-0,6		0,9-1,4		0,7-1,4	
zawartość części lotnych V daf [%]	30,9		32,13		30,63	
spiekalność (RI)	40-65		0-5		0-5	
wskaźnik wolnego wydymania (FSI)	3,0		0		0	
dylatacja b [%]	-19		-		-	
zawartość fosforu [%]	<0,05		<0,05		<0,05	
zawartość chloru [%]	<0,2		<0,1		<0,7	

2. Proces spalania węgla z ZG Brzeszcze

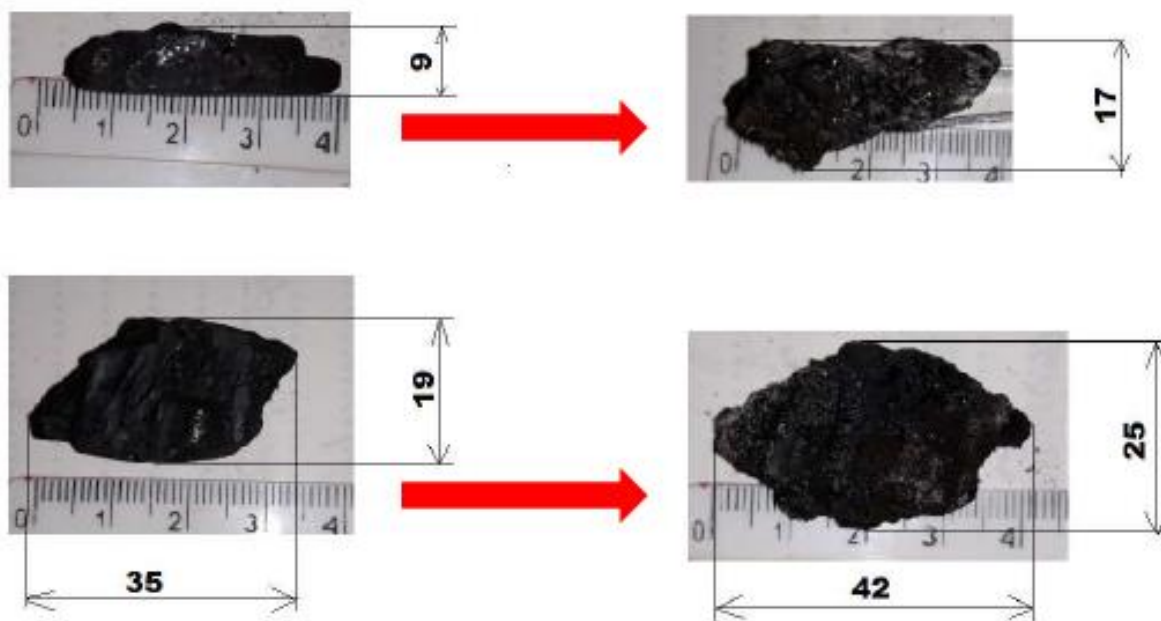
Do temperatury około 350°C w ogrzewanym węglu nie zachodzą żadne większe makroskopowo dostrzegalne zmiany. Początkowo wydziela się woda i następnie CO₂ i H₂S, a na końcu niewielkie ilości gazów palnych i smoły. Ilość tych produktów zależy od typu węgla i szybkości jego nagrzewania.

W zakresie 350÷500°C (odgazowanie pierwotne) rozpoczyna się właściwy rozkład organicznej substancji węglowej, któremu towarzyszy intensywne wydzielanie się smoły, wody rozkładowej i gazu. Ilość tych substancji zależy głównie od stopnia uwęglenia węgla. Paliwa z grupy węgla koksujących (węgle z ZG Brzeszcze) przechodzą w stan plastyczny, którego istotą jest topnienie (mięknienie) składników bitumicznych tworzących z nietopliwymi składnikami huminowymi półpłynną masę plastyczną.

W temperaturze około 500°C zachodzi zjawisko resolidacji, czyli zestalenia się masy plastycznej i powstaje nietopliwy w wyższych temperaturach tzw. półkok.

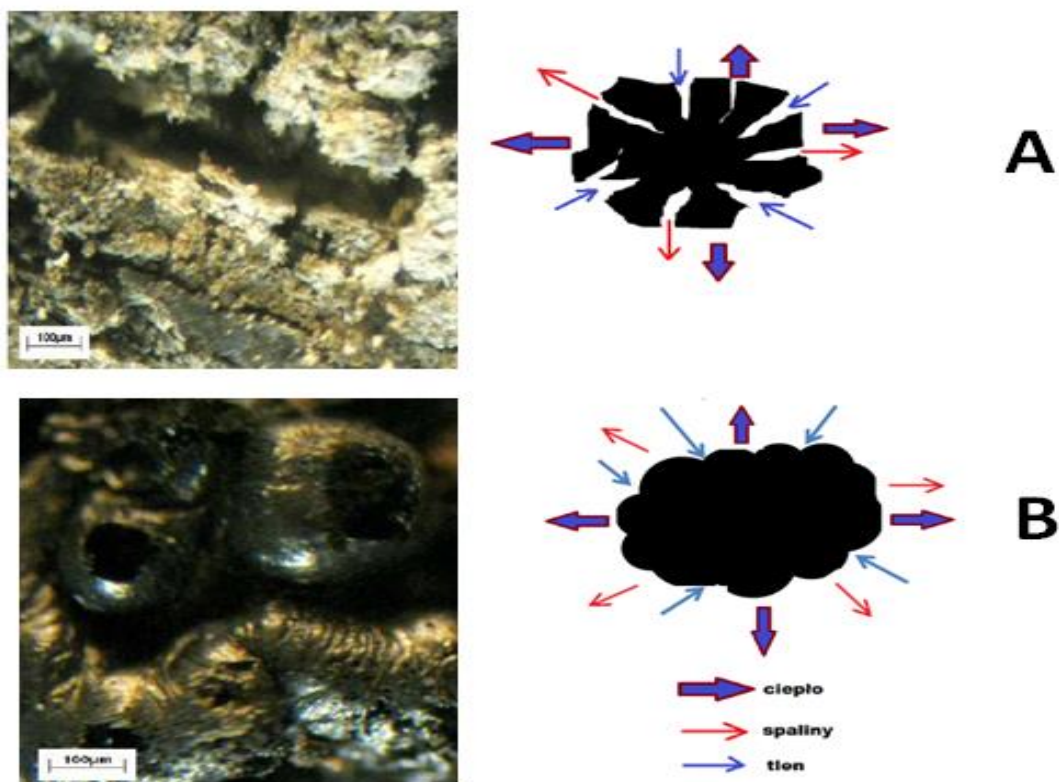
Na rysunku 2 pokazano zmianę objętości ziarna węgla z ZG Brzeszcze w zakresie temperatur 400÷500°C, czyli w początkowej fazie procesu spalania. Objętość ziarna wzrosła prawie 3-krotnie. Dodatkowym niekorzystnym czynnikiem jest wysoka zawartość w tym węglu inertynitu (ok. 40%).

Ten składnik węgla do spalania potrzebuje wysokiej temperatury i dużej ilości tlenu przy jego powierzchni.



Rys. 2. Wzrost objętości ziarna węgla z ZG Brzeszcze w temperaturze ok. 400-500°C [2]

Różnicę w procesie spalania węgla gazowego i gazowo-koksowego typu 33 i 34.1 (węgiel z ZG Brzeszcze) oraz węgla płomiennego typu 31.2 (węgiel z ZG Sobieski i ZG Janina) przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Różnica spalania ziaren węgla klasy 31/32 (A) i węgla klasy 33/34 (B) [2]

Węgiel gazowy i gazowo-płomienny spala się w sposób objętościowy (rys. 3A). Powstające w czasie odgazowania w stanie plastycznym ($350\div 500^{\circ}\text{C}$) szczeliny ułatwiają dopływ tlenu i odpływ spalin nie tylko z powierzchni, ale także z licznych szczelin powstających w całej objętości ziarna. Dzięki temu spalanie takiego ziarna przebiega dość szybko i jest ono determinowane praktycznie tylko przez ilość tlenu w pobliżu ziarna.

Zupełnie inaczej przebiega spalanie ziarna węgla gazowych i gazowo-koksowych (rys. 3B). W zakresie temperatury $350\div 500^{\circ}\text{C}$ z węgla wydziela się nie tylko gaz, ale powstaje także plastyczna masa, którą gaz wypycha na zewnątrz ziarna, pokrywając szybko jego powierzchnię. Część gazu uwalnia się tworząc kuliste bąble widoczne na dolnym zdjęciu mikroskopowym. Jeśli w pobliżu powierzchni znajduje się tlen, to następuje zapłon i spalanie gazu oraz części węgla z powierzchni ziarna.

Masa plastyczna na powierzchni jednego ziarna przy wzroście jego objętości łatwo tworzy aglomeraty z ziarnami sąsiednimi. Przykład takiego aglomeratu ilustruje rysunek 4. Spalanie tak dużego aglomeratu wymaga znacznie dłuższego czasu niż pojedynczych oddzielnych tworzących go ziaren.

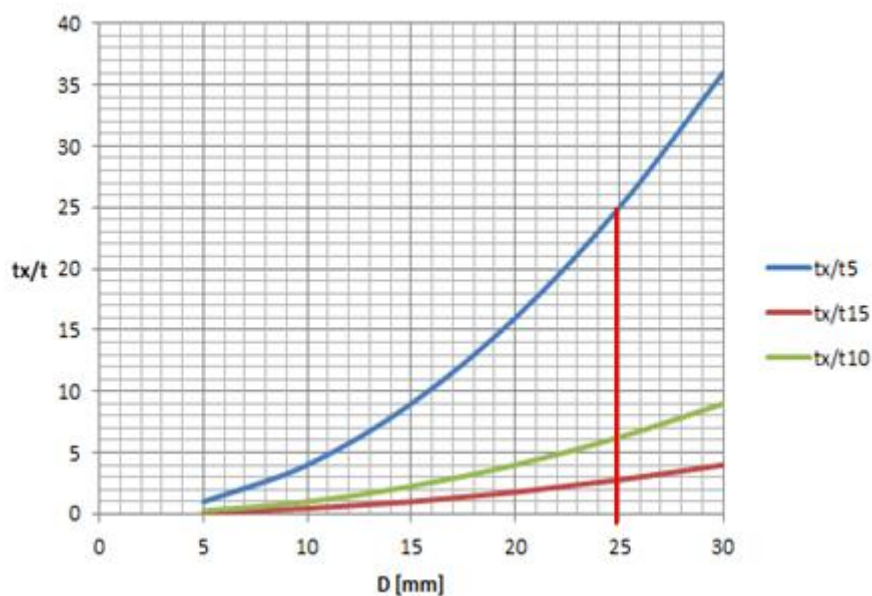


Rys. 4. Aglomerat koksowy ziaren węgla z ZG Brzeszcze utworzony w czasie procesu spalania [2]

Powierzchnia spalania tego węgla jest znacznie mniejsza niż węgla gazowego o porównywalnej wielkości i czas spalania takiego ziarna jest kilkakrotnie dłuższy w porównaniu z węglem gazowym. Mniejszy jest też strumień wydzielanego ciepła. Ponieważ czas przebywania węgla w komorze spalania kotła jest ograniczony, zatem taki spiek opuszcza komorę w dużym stopniu nie spalony powiększając stratę spalania.

Z kolei brak tlenu przy powierzchni ziarna powoduje wydzielanie się dużych ilości związków smolistych pokrywających powierzchnie ogrzewalne kotłów i zwiększających ilość związków organicznych w spalinach.

Istotny wpływ wymiaru ziarna na czas spalania ilustruje rysunek 5.



Rys. 5. Wpływ wielkości ziarna węgla na czas jego spalania

($tx/t5$; $tx/t10$; $tx/t15$ – stosunek czasu spalania ziarna o średnicy D do czasu spalania ziarna o średnicy odpowiednio 5, 10 i 15 mm)



Bardzo istotnym czynnikiem w procesie spalania jest także wielkość ziaren węgla, która ma bezpośredni wpływ na czas spalania. Obliczenia porównawcze wykonano dla ziaren o wymiarach 5, 10, 15 i 25 mm. Na przykład ziarno o wielkości $D=25$ mm będzie się spalać 25 razy dłużej niż ziarno o wielkości 5 mm, 6 razy dłużej niż ziarno o wielkości $D=10$ mm i 3 razy dłużej niż ziarno o wielkości 15 mm.

3. Możliwość poprawy procesu spalania węgla z ZG Brzeszcze

Powyżej opisane zjawisko tworzenia aglomeratów ziaren blokujących dopływ powietrza do ich wnętrza można w dużym stopniu zredukować poprzez uniemożliwienie tworzenia się aglomeratów, tak aby cała powierzchnia ziarna była powierzchnią swobodnej wymiany gazów i dopływu tlenu (lub dwutlenku węgla).

Można to uzyskać w następujący sposób:

- spalać węgle koksujące wraz z dodatkiem węgla klasy 31 i 32 niewykazujących zdolności koksowania,
- pokrywać powierzchnię węgla koksującego warstwą izolacyjną zapobiegającą tworzeniu się mostków międzyziarnowych przez plastyczną warstwę bitumiczną, przy czym warstwa ta powinna umożliwiać wymianę gazów pomiędzy wnętrzem ziarna a jego otoczeniem,
- stosować obie metody łącznie.

W ramach realizowanej w TAURON Wydobywie S.A. poprawy własności użytkowych węgla z Zakładów Górniczych Spółki, przeprowadzono szereg testów z różnego rodzaju dodatkami mającymi za zadanie w szczególności poprawić proces spalania węgla z ZG Brzeszcze.

Przeprowadzone próby wykazały, że przy zastosowaniu dodatku haloizytu jako modyfikatora zostaje uzyskany pożądaný efekt obniżenia spiekalności.

Zastosowany w testach haloizyt zachował swe właściwości do temperatury ok. 1500°C , a więc znacznie powyżej temperatury spalania węgla w piecach i kotłach. Podczas prób wykazano między innymi, że dodany haloizyt zmodyfikował strukturę ziaren węgla z ZG Brzeszcze i podczas spalania miał znaczącą rolę na cały proces poprzez:

- utworzenie na powierzchni ziaren węgla warstwy izolacyjnej zapobiegającej tworzeniu się aglomeratów,
- utworzenie kanałów przepływu powietrza i spalin między ziarnami węgla,
- utworzenie filtru zatrzymującego w porowatej powierzchni warstewki i haloizytu na ziarnie węglowym emisji metali ciężkich (w tym także rtęci) i pyłu,
- zredukowanie ilości szkodliwych gazów w spalinach oraz zwiększenie sprawności spalania, na skutek redukcji ilości niespalonego węgla w popiele.

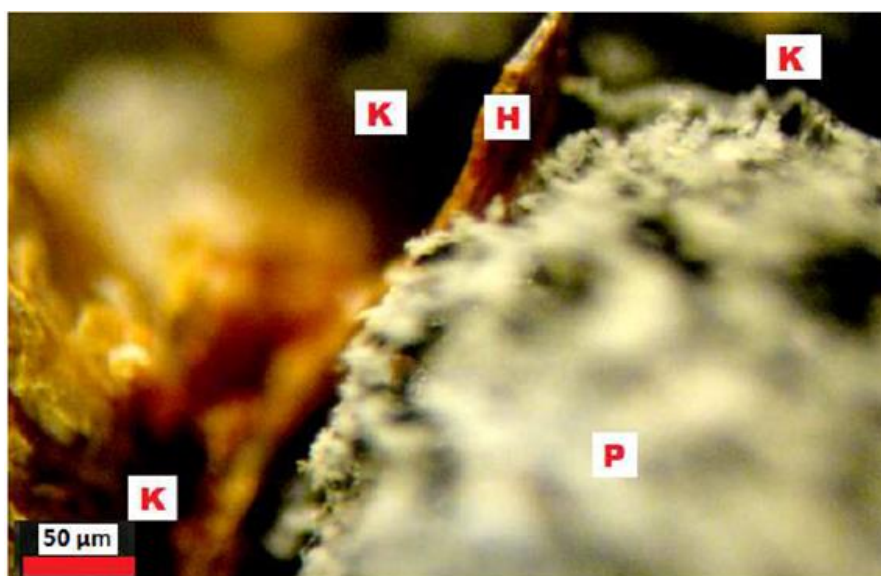
Powyższe pozytywne efekty uzyskano jednak przy dokładnym pokryciu powierzchni ziaren węgla odpowiednio cienką warstwą haloizytu oraz przy odpowiednich ustawieniach pracy kotłów.

Najlepszym sposobem pokrywania ziaren węgla haloizytem okazało się mieszanie go z węglem w postaci emulsji wodnej, przy czym ilość haloizytu zawiera się w granicach $1\pm 2\%$ w stosunku do masy węgla.

4. Wpływ haloizytu na proces spalania węgla klasy 33/34.1 z ZG Brzeszcze

4.1. Proces spalania

Rozpatrując przebieg procesu spalania w różnych kotłach dopuszczonych do eksploatacji, należy stwierdzić, że stosunkowo najgorsze warunki istnieją w przypadku kotłów typu retortowego. Przyczyną tego jest relatywnie krótki czas spalania węgla. Kontakt ziarna węgla z tlenem trwa zwykle kilka minut. Jeśli w tym czasie nie nastąpi całkowite i zupełne spalanie ziarna, to zwiększa to stratę niedopału zarówno w popiele, jak i w spalinach (np. sadza). Sytuację wyjątkowo pogarsza obecność spieków przechodzących do popiołu z dużą ilością niespalonego węgla. Kocioł nie otrzymuje wymaganej ilości ciepła i nie osiąga wymaganych parametrów. W przypadku węgla klasy 33/34.1 haloizyt radykalnie zmienia tę sytuację, co obrazują rysunki 6, 7, 8.



Rys. 6. Widok mikroskopowy SEM sąsiednich ziaren węgla 33/34.1 po procesie spalania (H- płytka haloizytowa między ziarnami węgla, P-popiół, K- kanały przepływu powietrza i spalin)



Rys. 7. Widok spalonego ziarna węgla 33/34.1 z barierą haloizytową (brązowy kolor) (zarówno pod powierzchnią warstwy haloizytu (A), jak i w środku ziarna (B) jest tylko popiół z całkowicie spalonego węgla)



Rys. 8. Porównanie spalania w kotle retortowym węgla klasy 33/34.1 w stanie naturalnym (A) oraz tego samego węgla pokrytego haloizytem (B) (z prawej strony widoczny popiół z obu prób; jasny kolor komory spalania (B) wskazuje na prawidłowy przebieg procesu spalania w przeciwieństwie do pokrytej sadzą komory (A)) [2]

Rysunki pokazują, że haloizyt ma następujący wpływ na spalanie tego węgla:

1. Zapobieganie tworzeniu się spieków koksowych sąsiadujących ze sobą ziaren węgla dzięki tworzeniu barier międzyziarnowych. Warstewka haloizytu uniemożliwiając tworzenie się spieków sprzyja jednocześnie tworzeniu się kanałów międzyziarnowych, umożliwiających dopływ tlenu do powierzchni ziarna i odpływ spalin (rys. 6).
2. Umożliwienie całkowitego i zupełnego spalania węgla dzięki porowatej strukturze warstewki haloizytu, umożliwiającej wymianę gazów z otoczeniem ziarna węgla (rys. 7).
3. Przy spalaniu w retorcie naturalnego węgla 33/34.1 tworzą się aglomeraty ziarnowe, które nie są w stanie się spalić w czasie przebywania w strefie spalania i zostają przetrzucane do popiołu, zawierając dużą ilość niespalonego węgla, zwiększając znacząco stratę spalania (rys. 8A). Ziarna pokryte haloizytem spala się całkowicie, tworząc sypki popiół z niewielką stratą spalania (rys. 8B).

Dzięki zastosowaniu haloizytu proces spalania węgla z ZG Brzeszcze praktycznie nie różni się od spalania węgla typu 31.

Należy też podkreślić, że parametry węgla z ZG Brzeszcze wymagają zmiany ustawień parametrów pracy kotła w porównaniu z innymi węglami handlowymi. Ta sama ilość węgla z ZG Brzeszcze jest źródłem znacznie większej ilości energii cieplnej i wymaga większej ilości tlenu do spalania. Z tego też powodu należy zmienić czas podawania węgla, a także czas przerwy w podawaniu i wydajność dmuchawy. Badania wykazały, że ustawienia tych parametrów należy dobierać indywidualnie dla każdego kotła, ponieważ zwykle różnią się one wydajnością dmuchawy, ilością podawanego w czasie węgla, wymiarami retorty i sposobem podawania powietrza do strefy spalania. W czasie testów stwierdzono m.in., że zasypanie węgla 33/34.1 do kotła dotychczas spalającego węgiel 31/32 bez zmiany ustawień nie prowadziło do uzyskania dotychczasowych parametrów pracy kotła i dopiero zmiana ustawień dawała zadowalające rezultaty.

Ten warunek powinien być znany użytkownikom zmodyfikowanego węgla 33/24.1 w celu uniknięcia błędnych wniosków przy zmianie paliwa.

4.2. Wpływ haloizytu na produkty spalania

Pomiary temperatur charakterystycznych popiołu wykonano dla próbki węgla bez dodatku i z dodatkiem. Wyniki pomiarów zawiera tabela 2.

Charakterystyczne temperatury topliwości popiołu

Tabela 2

Parametr	33/34.1 naturalny	33/34.1 z haloizytem
temperatura spiekania	910°C	920°C
temperatura mięknięcia	1240°C	1380°C
temperatura topnienia	1350°C	1490°C
temperatura płynięcia	1400°C	1500°C

Pomiar temperatur charakterystycznych popiołu, podobnie jak liczby Rogi, wykonuje się na próbce zmielonej, co nie odzwierciedla warunków spalania węgla pokrytego haloizytem (może to mieć znaczenie przy spalaniu tego węgla w kotłach fluidalnych i pyłowych).

Mimo tego stwierdzono, że dodatek podnosi wszystkie temperatury charakterystyczne popiołu, zwłaszcza temperaturę mięknięcia i topnienia odpowiedzialne za tworzenie spieków żuźlowych.

W czasie testów przy spalaniu węgla 33/34.1 z haloizytem nie zaobserwowano tworzenia się tych spieków, natomiast duża ilość spieków koksowych przy spalaniu węgla bez dodatku praktycznie uniemożliwiła stwierdzenie występowania spieków żuźlowych przy tym paliwie [5].

4.3. Zawartość pyłów w spalinach

Dane z pomiarów zawartości pyłów w spalinach zostały przeliczone zgodnie z normą Ecodesign do stężenia 10% O₂.

Pomiary wykonywano na spalinach tuż za kotłem przed urządzeniami oczyszczania spalin. Wyniki wskazują na znaczący wpływ haloizytu na redukcję emisji pyłów (tabela 3). Redukcja ta jest w dużym stopniu wynikiem działania warstewki haloizytu na powierzchni ziarna jako filtra powierzchniowego, a także jako katalizatora spalania sadzy i innych węglowodorów.

Zawartość pyłów w spalinach

Tabela 3

Parametr	33/34.1 naturalny	33/34.1 z haloizytem
pył całkowity [mg/Nm ³]	105,5	52,4
pył PM 10 [mg/Nm ³]	73,4	36,7
pył PM 2,5 [mg/Nm ³]	32,1	15,7

4.4. Wyniki pozostałych badań

Przedstawione powyżej wyniki badań w zakresie wykorzystania haloizytu Dunino są jednymi z wielu wyników badań prowadzonych od ponad 10 lat na różnych kotłach i z zastosowaniem różnych paliw. Potwierdzają one możliwość szerokiego wykorzystania tego dodatku w energetyce, zwłaszcza w okresie zaostrzających się przepisów emisyjnych. W trakcie dotychczasowych badań zaobserwowano wpływ haloizytu na:

- 1) **Emisję chloru** - w spalinach była mniejsza przy zastosowaniu haloizytu, który spowodował związanie tego pierwiastka w popiele. Związanie chloru przez haloizyt oznacza nie tylko jego mniejszą zawartość w spalinach, ale także mniejszą ilość KCl w popiele lotnym, który jest jednym z czynników powodujących zwiększenie skali korozji wysokotemperaturowej.
- 2) **Emisję rtęci i metali ciężkich** - dodatek haloizytu powodował wzrost zawartości rtęci w popiele lotnym, co oznacza zmniejszenie zawartości tego pierwiastka w spalinach.
- 3) **Ilość osadów na powierzchniach ogrzewalnych kotła** - zanieczyszczenia powierzchni ogrzewalnych kotła pogarszają sprawność kotła i zmniejszają jego moc. Przy spalaniu paliw (węgla, biomasy) z dodatkiem haloizytu zaobserwowano spadek ilości zanieczyszczeń o około 20%.
- 4) **Emisję NO_x i pyłu** - zaobserwowano znaczące zmniejszenie emisji pyłu i NO_x. Przy czym należy podkreślić, że parametry te nie były przedmiotem optymalizacji, a pomiary wykonano przy okazji innych badań.
- 5) **Redukcję emisji NO_x w spalinach** – specjaliści z Politechniki Śląskiej opracowali tzw. suchą metodę SNCR [6]. Polega ona na wdmuchiowaniu do kotła pyłu haloizytowego zawierającego suchy mocznik. Metoda jest prosta w stosowaniu i bezpieczna dla środowiska. Jej zaletą jest nie tylko redukcja NO_x w spalinach, ale także działanie uboczne haloizytu w zakresie redukcji emisji pyłów, metali ciężkich, skali zjawiska korozji wysokotemperaturowej oraz spiekania się złożeń i popiołu. W badaniach uzyskano 52% redukcji NO_x.

5. Podsumowanie

Przedstawione w rozdziale wyniki badań w zakresie wykorzystania haloizytu Dunino potwierdzają, że węgiel z ZG Brzeszcze może być cennym paliwem dla kotłów rusztowych i retortowych.

Zalety haloizytu przedstawione w przytoczonych wynikach badań są podstawą do rozszerzenia prób o zastosowania tego typu zmodyfikowanego węgla także w ciepłowniach i elektrociepłowniach.



Warunkiem uzyskania dobrych wyników w zakresie mocy, wysokiej sprawności spalania i niskiej emisji szkodliwych związków jest odpowiednie przygotowanie paliwa i dostosowanie parametrów pracy kotła do jego cech.

Dodatek haloizytu do węgla i innych paliw daje następujące rezultaty:

- 1) radykalna redukcja zjawiska tworzenia się spieków koksowych i żużlowych,
- 2) redukcja szlakowania i zanieczyszczania powierzchniowo ogrzewalnych kotłów,
- 3) redukcja emisji pyłów, metali ciężkich i szkodliwych gazów,
- 4) katalityczny wpływ na proces spalania węgla, RDF i biomasy,
- 5) poszerzenie możliwości gospodarczego wykorzystania popiołów (komponenty nawozów i materiałów budowlanych).

Modyfikator w postaci haloizytu jest minerałem łatwo dostępnym w kraju, a jego zasoby w złożu Dunino mogą zapewnić dostawy na dziesięciolecia.

Literatura

1. <https://www.tauron-wydobycie.pl> [dostęp 20 lutego 2023]
2. Raport z pracy badawczej: Poprawa właściwości użytkowych ekogroszków produkowanych przez TAURON Wydobyte S.A., Przedsiębiorstwo Techniczno-Handlowe Intermark, Gliwice 2020, Materiały niepublikowane
3. www.intermark.pl [dostęp 20 lutego 2023]
4. Raport z pracy badawczej: Advanced pretreatment and characterization of Biomass for Efficient Generation of heat and power, Politechnika Śląska, Uniwersytet w Stuttgarcie, Przedsiębiorstwo Techniczno-Handlowe Intermark, Heat and Power Engennering GmbH, BioEffGen 2018
5. Raport z pracy badawczej: Ocena wpływu dodatku haloizytu na proces żużlowania powierzchni ogrzewalnych kotła k4 op650 w el. RYBNIK, Politechnika Śląska, Gliwice 2011, Materiały niepublikowane
6. Wejkowski R. i in.: Full-Scale Investigation of Dry Sorbent Injection for NO_x Emission Control and Mercury Retention, 2021 November, Energies, MDPI, vol. 14(22), pages 1-13. doi.org/10.3390/en14227787