



Krzysztof GALOS*, Jarosław SZLUGAJ**, Anna BURKOWICZ**

Źródła sorbentów wapiennych do odsiarczania spalin w Polsce w kontekście potrzeb krajowej energetyki

STRESZCZENIE: W ostatnim ćwierćwieczu w polskiej elektroenergetyce zawodowej zbudowano znaczną liczbę instalacji odsiarczania spalin (IOS), co pozwoliło czterokrotnie ograniczyć całkowitą emisję SO₂ do 0,4 mln Mg w 2013 r., a udział SO₂ zatrzymanego w tych instalacjach wzrósł do ponad 80% w 2013 r. W konsekwencji zanotowano wzrost krajowego zapotrzebowania na sorbenty wapienne z poziomu praktycznie zerowego w 1990 r. do około 2,5 mln Mg rocznie obecnie, a branża energetyczna stała się jednym z najważniejszych odbiorców polskiego przemysłu wapienniczego. W artykule zaprezentowano metody odsiarczania stosowane w polskich elektrowniach i elektrociepłowniach i rodzaje użytkowanych w nich sorbentów oraz scharakteryzowano ich użytkowanie. Poddano analizie proces wdrażania systemów odsiarczania w krajowych elektrowniach z podaniem zdolności produkcyjnej i poziomu rzeczywistej produkcji gipsów syntetycznych. Przedstawiono bazę zasobową oraz wielkość podaży skał i surowców wapiennych w Polsce z uwzględnieniem głównych kierunków ich zastosowań. Przedstawiono także obecne i przyszłe źródła sorbentów wapiennych do odsiarczania spalin metodą mokrą wapienną. Na podstawie oficjalnych planów rozwojowych polskiej energetyki przedstawiono prognozę podaży gipsów z odsiarczania w najbliższej dekadzie, a także prognozę zużycia sorbentów wapiennych stosowanych w energetyce.

SŁOWA KLUCZOWE: odsiarczanie spalin, sorbenty wapienne, wapienie, gips syntetyczny

* Dr hab. inż., ** Mgr inż. – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.

Wprowadzenie

Polska energetyka zawodowa tradycyjnie bazuje na spalaniu węgla kamiennych i brunatnych, co powoduje powstawanie znacznych ilości SO_2 i innych gazów. W 1990 roku energetyka zawodowa wyemitowała około 1,6 mln Mg SO_2 , w 2000 roku – około 0,8 mln Mg SO_2 , a w 2013 r. już tylko około 0,4 mln Mg SO_2 . Łączna ilość SO_2 generowanego w procesach spalania (głównie węgla) była znacznie większa, ale w ciągu ponad 20 lat nastąpiła zasadnicza zmiana w zakresie czynnych instalacji odsiarczania spalin w krajowych elektrowniach i elektrociepłowniach. Dzięki temu ilość SO_2 zatrzymanego w tych instalacjach wzrosła z około 0,33 mln Mg SO_2 w 1990 roku do około 0,60 mln Mg SO_2 w 2000 roku i około 1,72 mln Mg SO_2 w 2013 roku (*Ochrona Środowiska 2015*), co oznacza, że w instalacjach zatrzymywano już ponad 80% powstającego SO_2 . Do zjawisk tych przyczyniły się zarówno międzynarodowe, jak i krajowe regulacje dotyczące ograniczania emisji gazów, w tym na szczeblu międzynarodowym, m.in. tzw. Drugi Protokół Siarkowy z 1994 r. oraz Dyrektywa w sprawie emisji przemysłowych (IED) z 2010 r., a na szczeblu krajowym kolejne programy ograniczania emisji SO_2 w energetyce, czy – w okresie późniejszym – programy ochrony powietrza, w tym przyjęty w 2015 r. Krajowy program ochrony powietrza do roku 2020.

Zespół tych czynników sprawił, że od początku lat 90. XX wieku w polskiej energetyce zawodowej trwał intensywny proces modernizacji, dotyczący w szczególności budowy instalacji odsiarczania spalin (IOS), lub też – w przypadku modernizacji bloków energetycznych – wprowadzania niekiedy kotłów fluidalnych, gdzie proces odsiarczania następuje w kotle zaraz po procesie spalania w nim paliwa (głównie węgla) (*Galos i in. 2003*). Stosowane rozwiązania technologiczne, mające na celu zatrzymanie powstającego w trakcie spalania SO_2 , są zróżnicowane, tym niemniej w Polsce największe znaczenie uzyskały dwa podejścia: budowa IOS metodą mokrą wapienną przy istniejących lub modernizowanych/budowanych blokach energetycznych spalających węgiel kamienny lub brunatny lub też wspomniane wprowadzanie kotłów fluidalnych. W obu przypadkach jako sorbent używany jest odpowiedniej jakości wapień, przy czym w metodzie mokrej wapiennej o drobniejszej granulacji – mączka wapienna, a w kotłach fluidalnych o nieco grubszym uziarnieniu – tzw. piasek wapienny (*Gawlicki i in. 2009*).

Postępujący proces wdrażania metod odsiarczania w polskiej energetyce zawodowej (a także w energetyce przemysłowej i częściowo w ciepłownictwie) przyczynił się do rozwoju krajowego zapotrzebowania na sorbenty wapienne z poziomu praktycznie zerowego na początku lat 90. XX wieku do około 2,5 mln Mg/rok obecnie. Dzięki temu branża energetyczna stała się jednym z najważniejszych odbiorców polskiego przemysłu wapienniczego, który z drugiej strony doświadcza znacznego ograniczenia popytu na tradycyjne produkty wapiennicze, w szczególności na różne rodzaje wapna (*Bilans gospodarki... 2015*).

1. Metody odsiarczania stosowane w polskich elektrowniach i elektrociepłowniach oraz użytkowane w nich sorbenty

Procesy odsiarczania spalin polegają na usuwaniu siarki (głównie w postaci SO_2 , rzadziej innych związków siarki), ze spalin powstających w różnych procesach przemysłowych. W Polsce głównymi źródłami emisji związków siarki są procesy spalania paliw kopalnych – węgla kamiennego i brunatnego – głównych źródeł energii elektrycznej i ciepłej. Ilość powstającego w tych procesach SO_2 zależy od rodzaju paliwa, od zawartości związków siarki w paliwie, a także od warunków spalania (spalanie zupełne lub niezupełne w różnych typach palenisk).

Znanych jest wiele metod usuwania dwutlenku siarki ze spalin procesów produkcyjnych. Wszystkie polegają na wprowadzeniu do układu sorbentu, który przereagowuje z gazowym SO_2 zawartym w spalinach, wiążąc go w związki stałe, a produkty reakcji są usuwane z układu. Odsiarczaniu mogą być poddawane zarówno gazy odpylone, jak też niosące znaczne ilości pyłu. Ponadto procesy odsiarczania mogą być przeprowadzane przed, w czasie i po spaleniu paliwa. Sorbentami najczęściej stosowanymi w procesach odsiarczania są: mączka kamienia wapiennego, wapno hydratyzowane i zmielone wapno palone. Znacznie rzadziej używany jest zmielony dolomit, kalcynowany magnezyt oraz węglan sodu. Niekiedy stosowane są również odpady przemysłowe (np. wapno pokarbidowe).

Ze względu na sposoby wprowadzania sorbentu do układu odsiarczania i odbioru produktów odsiarczania wyróżnia się metody: suche, półsuche i mokre. Metody suche charakteryzują się tym, że procesy wiązania chemicznego SO_2 przebiegają w stanie suchym, tj. w układzie gaz–ciało stałe, a produkty odsiarczania są otrzymywane w takim samym stanie. Oparte są one na adsorpcji na sorbentach stałych z jednoczesnym suszeniem produktów odsiarczania. W metodach półsuchych i mokrych sorbent SO_2 wprowadzany jest do instalacji odsiarczania w postaci zawiesiny w wodzie, natomiast produkty odsiarczania odbierane są w stanie suchym (metoda półsucha) lub w formie zawiesiny (metoda mokra). Zgodnie z podanymi wyżej kryteriami, do suchych metod odsiarczania zalicza się również odsiarczanie prowadzone w trakcie spalania w paleniskach kotłów fluidalnych. Produktami odsiarczania metodami suchymi i półsuchymi są tzw. desulfopopioły i popioły siarczanowo-wapniowe. Stanowią one mieszaninę popiołów, produktów odsiarczania i nieprzereagowanych sorbentów. W przypadku metody mokrej wapiennej produktem jest gips syntetyczny z niewielką ilością nieprzereagowanego sorbentu (Roszczynialski i Gawlicki 1997; Bis 2002; Knura 2011).

Sorbenty wapniowe (mączki i piaski wapienne, w niektórych przypadkach także wapno palone lub hydratyzowane) stanowią najliczniejszą grupę reagentów stosowanych w instalacjach odsiarczania spalin w Polsce, przede wszystkim w metodzie mokrej wapiennej oraz w kotłach fluidalnych, w mniejszym stopniu w metodach półsuchych i suchych (tab. 1). W polskiej energetyce stosowane są w 99% istniejących instalacji odsiarczania spalin. Wynika to z ich powszechnej dostępności, niskich kosztów zakupu oraz – w przypadku metody mokrej wapiennej – łatwości utylizacji powstającego gipsu syntetycznego. Do sorbentów wapniowych zalicza się:

TABELA 1. Instalacje odsiarczania spalin użytkowane obecnie w polskich elektrowniach i elektrociepłowniach

TABLE 1. FGD installations used in Polish power plants and central heating plants

Elektrownia/Elektrociepłownia	Stosowane metody odsiarczania spalin
El. Bełchatów	mokra wapienna
El. Jaworzno III	mokra wapienna
El. Opole	mokra wapienna
El. Łaziska	mokra wapienna oraz pólsucha
El. Kozienice	mokra wapienna
El. Konin	mokra wapienna
El. Pątnów	mokra wapienna
El. Połaniec	mokra wapienna
El. Rybnik	mokra wapienna, pólsucha oraz sucha
El. Ostrołęka	mokra wapienna
El. Dolna Odra	mokra wapienna
EC Siekierki	mokra wapienna oraz pólsucha
EC Kraków	mokra wapienna
EC Wrocław	mokra wapienna
EC Gdańsk	mokra wapienna
EC Gdynia	mokra wapienna
EC Jelenia Góra	mokra wapienna
El. Turów	kotły fluidalne oraz sucha
El. Łagisza	kocioł fluidalny oraz pólsucha
El. Siersza	kotły fluidalne oraz pólsucha
EC Bielsko-Biała	kocioł fluidalny oraz sucha
EC Chorzów	kotły fluidalne oraz sucha
El. Skawina	pólsucha
EC Łódź 4	pólsucha
EC Poznań Karolin	pólsucha
EC Zabrze	pólsucha
EC Głogów	pólsucha
EC Megatem-Lublin	pólsucha
EC Miechowice	sucha
EC Lublin Wrotków	sucha
EC Zgierz	sucha
El. Jaworzno II	kocioł fluidalny
EC Żerań	kotły fluidalne
EC Katowice	kocioł fluidalny
EC Starogard Gdański	kotły fluidalne
EC Legnica	mokra absorpcyjna Solonix 1
EC Częstochowa	dozowanie mączki wapiennej
EC Miejska Ostrów	wtrysk wody zdemineralizowanej

Źródło: ARE 2015

w suchych metodach odsiarczania – zmielone wapno palone i kamień wapienny, w półsuchych metodach odsiarczania – wapno hydratyzowane i zmielone wapno palone, a w mokrych metodach odsiarczania – zmielone wapno palone, zmielony kamień wapienny i kredę (Szmigielska i Głomba 2012).

Rozwiązanie technologiczne odsiarczania w trakcie spalania w kotłach fluidalnych to drugie – po metodzie mokrej wapiennej – najpopularniejsze rozwiązanie technologiczne w polskich elektrowniach i elektrociepłowniach, stąd użytykuje się tu znaczące ilości sorbentu wapiennego odpowiedniej granulacji (patrz niżej). Kotły z paleniskami fluidalnymi zaczęto wdrażać na skalę przemysłową na świecie w latach 60., a Polsce w latach 90. XX w. Za ich rozwojem przemawia niska temperatura procesu spalania (850–950°C), możliwość obniżenia emisji SO₂ i NO_x do atmosfery oraz sposobność wykorzystania niskojakościowych paliw stałych i płynnych (Niesler 2011). Wartości energetyczne spalanych paliw w paleniskach fluidalnych są bardzo zróżnicowane i wahają się w szerokim zakresie 4 000–36 000 MJ/kg (Hycnar 2006).

Kotły fluidalne dzielą się na dwie główne kategorie: kotły atmosferyczne (AFBC) oraz kotły ciśnieniowe (PFBC). Ponadto kotły fluidalne mogą być wyposażone w złożę pęcherzowe lub cyrkulujące (Trybuś 1995). Dominują kotły z paleniskami fluidalnymi ze złożem cyrkulującym. Współcześnie eksploatowane są kotły fluidalne o mocy od kilkuset kW do 360 MW, a w budowie znajdują się bloki o mocy rzędu 500 MW, przy równoczesnych pracach projektowych nad blokami o mocy 600 do 800 MW (Hycnar 2006). W Polsce kotły fluidalne są zainstalowane w kilku elektrowniach (Turów, Łagisza, Siersza, Jaworzno II) oraz w kilku elektrociepłowniach (Warszawa-Żerań, Katowice, Chorzów, Tychy, Bielsko-Biała, Starogard Gdański, tab. 1).

W kotłach fluidalnych do komory spalania podawane jest rozdrobnione paliwo oraz sorbent, gdzie wraz z materiałem inertnym (np. piaskiem) tworzą złożę. Ciągłe mieszanie cząstek złoża strumieniem powietrza pozwala na całkowite spalanie paliwa oraz na wiązanie dwutlenku siarki (Trybuś 1995). W Polsce w kotłach fluidalnych do wiązania dwutlenku siarki emitowanego w trakcie spalania paliwa wykorzystywane są głównie sorbenty wapienne, przy koniecznym nadmiarze stechiometrycznym sorbentu. W procesie spalania bardzo ważnym czynnikiem jest granulacja poszczególnych składników tworzących złożę, która powinna być jednorodna. Przyjmuje się, że średnica ziaren sorbentów do złoża fluidalnego nie może przekraczać 6 mm, a granulacja oferowanych na rynku sorbentów, noszących handlową nazwę piasków wapiennych, mieści się w granicach 0,1–1,2 mm. Brak dokładnych szacunków na temat łącznej wielkości zużycia piasków wapiennych w kotłach fluidalnych w Polsce, ale z pewnością przekracza ono 0,5 miliona Mg/r., a ilość powstających odpadów popiołowo-siarczanowych z kotłów fluidalnych to niemal 2 mln Mg/r. (Gawlicki i in. 2009).

2. Użytkowanie sorbentów wapiennych i produkcja gipsu syntetycznego w metodzie mokrej wapiennej odsiarczania spalin

Spośród licznych metod odsiarczania mających na celu ograniczenie emisji SO_2 do atmosfery w dużych elektrowniach i elektrociepłowniach, w których węgiel spalany jest w kotłach konwencjonalnych, najbardziej efektywna – także w Polsce – okazała się nieregeneracyjna metoda mokra odsiarczania odpylonych gazów spalinowych. W metodzie tej odpylone spaliny są oczyszczane w absorberze przez przepływającą w przeciwnym kierunku zawieszynę mączki wapiennej. Znajdujący się w spalinach dwutlenek siarki (SO_2) reaguje z węglanem wapnia (CaCO_3), głównym składnikiem kamienia wapiennego, w wyniku czego powstaje półwodny siarczan (IV) wapnia ($\text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), a następnie po utlenieniu powietrzem doprowadzonym z zewnątrz oraz po krystalizacji – gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Produkty odsiarczania odbierane są w formie zawiesiny wodnej, która jest następnie odwadniana na odpowiednich taśmach lub filtrach próżniowych. Wdrożenie tej metody wymaga stosunkowo wysokich nakładów inwestycyjnych, cechuje się jednak wysoką skutecznością odsiarczania (90–99%) i uzyskiwaniem produktu w pełni przydatnego gospodarczo, jakim jest gips syntetyczny (Szmigielska i Głomba 2012; Gawlicki i in. 2009).

Pierwsza instalacja odsiarczania spalin metodą mokrą wapienną (dalej IOS) została w Polsce oddana do użytku w Elektrowni Bełchatów w 1994 r. Zapoczątkowało to zarazem użytkowanie w Polsce odpowiednich mączek wapiennych (tzw. sorbentów wapiennych) do odsiarczania spalin w elektrowni, a także uzyskiwanie gipsów syntetycznych z odsiarczania spalin. W kolejnych kilkunastu latach IOS zbudowano w dwunastu następnych elektrowniach. Ich zdolności produkcyjne na koniec 2014 roku wynosiły około 3,9 mln Mg gipsu rocznie. Obecnie producentami gipsów syntetycznych w Polsce są (tab. 2):

- ◆ PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. – Elektrownie Bełchatów, Opole i Dolna Odra,
- ◆ Tauron Wytwarzanie S.A. – Elektrownie Jaworzno III i Łaziska,
- ◆ ZE Pątnów-Adamów-Konin S.A. – Elektrownie Konin, Pątnów I oraz Pątnów II,
- ◆ GDF SUEZ Energia Polska S.A. – Elektrownia Połaniec,
- ◆ ENEA Wytwarzanie S.A. – Elektrownia Kozienice,
- ◆ ENERGA S.A. – Elektrownia Ostrołęka,
- ◆ EDF Polska – Elektrownia Rybnik,
- ◆ PGNiG Termika S.A. – Elektrociepłownia Siekierki.

Rozwój produkcji gipsu syntetycznego w poszczególnych elektrowniach w latach 1994–2014 przedstawiono na rysunku 1. W czasie wdrażania technologii odsiarczania w polskich elektrowniach konwencjonalnych w latach 1995–2000 produkcja gipsu syntetycznego wykazywała silny trend wzrostowy, zahamowany w latach 2001–2006, gdy ograniczono produkcję energii elektrycznej. Aby sprostać nowym normom emisji gazów oraz zobowiązaniom zawartym w trakta-

TABELA 2. Instalacje odsiarczania spalin metodą mokrą wapienną uruchomione w Polsce od 1994 r.

TABLE 2. Wet limestone FGD installations launched in Poland from 1994

Elektrownia	Rok uruchomienia instalacji	Zdolność produkcyjna instalacji [tys. Mg gipsu/r.]	Poziom produkcji gipsu w ostatnich latach [tys. Mg/r.]
Bełchatów	1994–2011	2000	1300
Jaworzno III	1996	240	185
Opole	1997	350	120
Konin	1997	70	25
Połaniec	1999–2008	180	160
Łaziska	2000	140	125
Dolna Odra	2000	100	70
Kozienice	2001–2010	240	150
Ostrołęka	2008	80	50
Rybnik	2008	100	80
Pątnów I i II	2008	540	400
Siekierki	2010	80	65
RAZEM		4120	2730

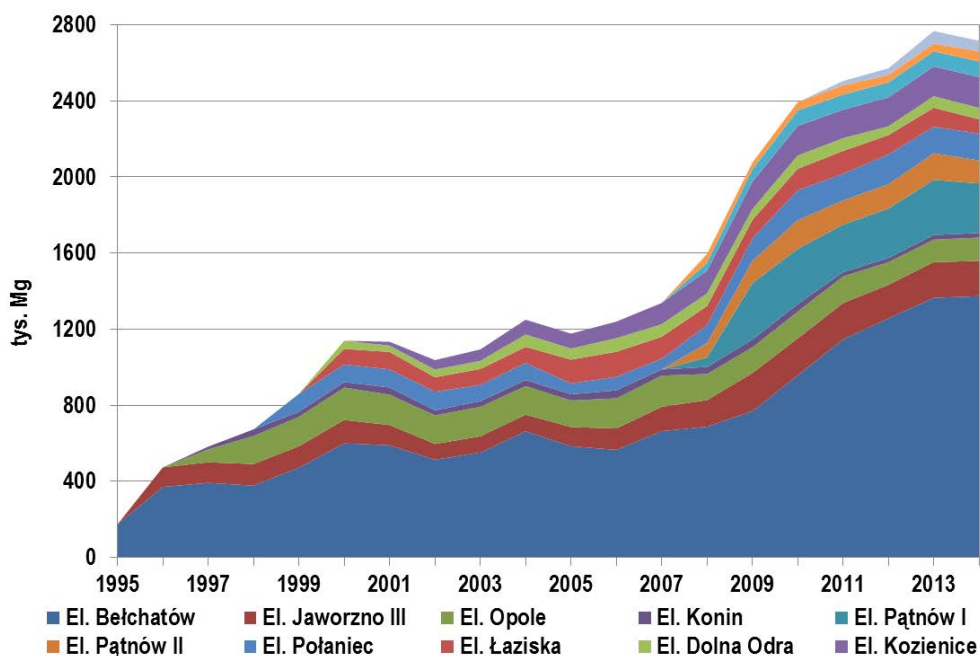
Źródło: Bilans gospodarki... 2015; dane producentów

cie akcesyjnym po wstąpieniu Polski do Unii Europejskiej, w latach 2006–2011 prowadzono intensywne prace, w wyniku których powstały instalacje w kolejnych zakładach, a zdolności produkcyjne gipsu z instalacji odsiarczania uległy podwojeniu osiągając poziom około 4,1 mln Mg/rok, co skutkowało rekordową podażą tego surowca w ilości około 2,7 mln Mg/rok w latach 2013–2014 (rys. 1).

Rozwój stosowania metody mokrej wapiennej skutkowało równoległym rozwojem produkcji i zużycia sorbentu wapiennego drobnoziarnistego niezbędnego w tej metodzie (rys. 2). Obserwuje się przy tym ścisłą korelację pomiędzy rozwojem wielkości zużycia sorbentu wapiennego a rozwojem wielkości produkcji gipsu syntetycznego z odsiarczania (tab. 2).

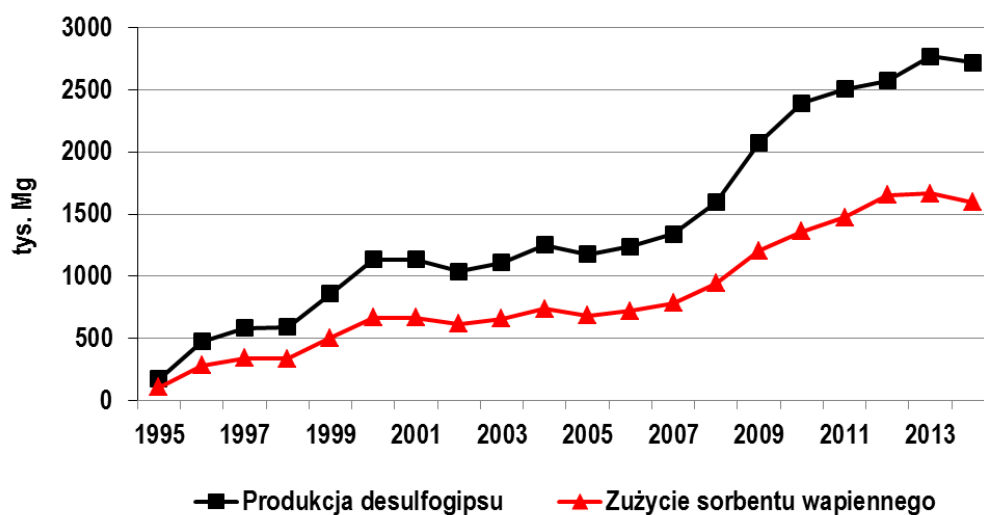
Prognozowanie ilości uzyskiwanego gipsu syntetycznego z odsiarczania spalin w Polsce w najbliższych latach jest wysoce niepewne, choć bez wątplenia w perspektywie kilku lat ilości te nie ulegną zasadniczej redukcji, a wręcz przeciwnie – powinny nawet wzrosnąć. Głównymi czynnikami na to wpływającymi będą m.in. struktura produkcji energii elektrycznej (tzw. miks elektryczny), w tym w wyniku spalania węgla kamiennego i węgla brunatnego, kształtowanie się zawartości siarki w spalanych węglach, skala i zakres planowanych modernizacji istniejących bloków energetycznych lub ich wymiany na nowe (z uwzględnieniem rodzaju paliwa: węgiel kamienny, węgiel brunatny, gaz ziemny, biomasa itp.), udział generacji prądu elektrycznego ze źródeł odnawialnych (Szluga i Naworyta 2015).

Pomijając kwestie kształtowania się miksu elektrycznego oraz rosnącego udziału odnawialnych źródeł energii w łącznej produkcji prądu elektrycznego, nie ulega wątpliwości, że ze względu na wieloletnie zapóźnienia polski sektor energetyczny – do tej pory zdominowany przez elektrownie opalane węglem kamiennym i brunatnym – wymaga znacznych inwestycji w kierunku



Rys. 1. Struktura produkcji gipsu syntetycznego w Polsce w latach 1995–2014 (dane producentów)

Fig. 1. Structure of the synthetic gypsum production in Poland in the years 1995–2014 (producers data)



Rys. 2. Porównanie wielkości produkcji gipsu syntetycznego i zużycia sorbentu wapiennego do odsiarczania spalin metodą mokrą wapienną (dane producentów gipsu i użytkowników sorbentu)

Fig. 2. Comparison of the production volume of synthetic gypsum and consumption of limestone sorbent applied in flue gas desulfurization in wet method (gypsum producers and sorbent consumers data)

uruchomienia nowych mocy wytwórczych. Zgodnie z dotychczasową Polityką Energetyczną Polski do 2030 roku (Polityka... 2009), w latach 2011–2020 planowano wycofanie ponad 7 tys. MW mocy wytwórczych w elektrowniach systemowych, a w latach 2021–2030 – kolejnych 7,3 tys. MW, przy głębokiej modernizacji około 6,1 tys. MW do 2015 roku, a także przyroście nowych mocy wytwórczych w okresie 2011–2020 na poziomie około 4,58 tys. MW.

W kontekście wymienionych założeń w najbliższych latach krajowe zdolności produkcyjne gipsu syntetycznego powinny co najmniej utrzymać się na dotychczasowym poziomie. Prowadzone i planowane prace modernizacyjne w poszczególnych elektrowniach nie doprowadzą bowiem do zmniejszenia potencjału wytwórczego gipsu. Dodatkowo, obecnie buduje się instalacje odsiarczania spalin w czterech nowych blokach energetycznych na węgiel kamienny (tab. 3), w wyniku czego w perspektywie 2020 r. zdolności produkcyjne gipsu syntetycznego w Polsce mogą wzrosnąć o około 1,25 mln Mg/r i przekroczyć poziom około 5,3 mln Mg/rok. Oprócz wymienionych projektów budowane są również inne nowe bloki, jednak bez mokrej instalacji odsiarczania spalin (Szlugaj i Naworyta 2015).

TABELA 3. Bloki energetyczne w budowie z instalacjami mokrego odsiarczania spalin

TABLE 3. Power plant units with wet limestone FGD (under construction)

Elektrownia	Rodzaj paliwa	Moc bloku energetycznego [MW]	Szacunkowa zdolność produkcyjna gipsu [tys. Mg]	Rok zakończenia budowy
Kozienice	węgiel kamienny	1075	350	2017
Jaworzno III	węgiel kamienny	910	300	2019
Opole	węgiel kamienny	2x900	600	2017-2018

Źródło: Szlugaj i Naworyta 2015

Potencjalnie możliwa, choć w bardziej odległej perspektywie czasowej, jest budowa zupełnie nowych elektrowni na węgiel kamienny, np. Elektrowni Północ w miejscowości Rajkowy na Pomorzu Gdańskim o planowanej mocy 2x1000 MW (potencjalny inwestor Kulezyk Holding). W takim przypadku zdolności produkcyjne gipsu syntetycznego mogłyby wzrosnąć o kolejne około 600 tys. Mg/r.

3. Baza zasobowa oraz podaż skał i surowców wapiennych w Polsce

Wapień to skały osadowe, których głównym składnikiem jest kalcyt CaCO_3 . W zależności od domieszek innych minerałów wyróżnia się szereg odmian skał przejściowych: przy rosnącej

ilości minerałów ilastych są to wapienie margliste, margle właściwe i margle ilaste, krzemionki – opoki i gezy, a kwarcu – wapienie piaszczyste i piaskowce wapniste. Szczególnie częsta jest domieszka minerału dolomitu $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ w skałach o charakterze mieszanym – wapieniach dolomitycznych i dolomitach wapnistych. Szczególną odmianą skał wapiennych, zarówno ze względu na genezę, jak i właściwości oraz wykorzystanie, jest kreda pisząca. Jest to odmiana najbardziej drobnoziarnista spośród wszystkich węglanowych skał wapiennych. Wiele odmian skał wapiennych ma strukturę drobnoziarnistą lub średnioziarnistą. Z kolei odmianami najbardziej gruboziarnistymi są odmiany wapieni krystalicznych, np. kambryjskich w rejonie Wojciechowa (Wyszomirski i Galos 2007).

Polska posiada liczne złoża skał wapiennych za wyjątkiem najszlachetniejszych odmian marmurów rzeźbiarskich i architektonicznych. Baza zasobowa wapieni dzieli się na kopaliny wapienne i pokrewne dokumentowane dla różnych celów: wapienie dla przemysłu wapienniczego, wapienie i skały pokrewne dla przemysłu cementowego, wapienie do produkcji kruszyw łamanych i kamienia budowlanego oraz wapienie jeziorne (kreda jeziorna). W praktyce podział ten ma znaczenie umowne, gdyż na poszczególnych złożach działają np. kombinaty cementowo-wapiennicze, wykorzystujące czystsze ich partie do produkcji wyrobów wapienniczych, a pozostałe do cementu czy kruszyw łamanych (Bilans gospodarki... 2015).

Złoża wapieni dla przemysłu wapienniczego znane są głównie w województwie świętokrzyskim (60% zasobów łącznych, głównie wapienie dewońskie i jurajskie) oraz łódzkim, opolskim i śląskim. Łączne zasoby 120 złóż wynosiły na koniec 2014 r. 5591 mln Mg (Bilans zasobów... 2015). Złoża wapieni i skał pokrewnych dla przemysłu cementowego występują w województwach: lubelskim (26%, przeważnie kredowe margle i kreda pisząca), świętokrzyskim (17%, dewońskie i jurajskie wapienie), łódzkim (15%, wapienie jurajskie), mazowieckim (12%, wapienie jurajskie), mniejsze w kujawsko-pomorskim, opolskim i śląskim. Łączne zasoby 70 złóż wynosiły na koniec 2014 r. 12833 mln Mg. Złoża wapieni dla potrzeb budownictwa i drogownictwa występują przede wszystkim w regionie świętokrzyskim (około 90% zasobów, wapienie dewońskie i jurajskie). Wiele złóż udokumentowano również na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej, a pojedyncze – w Karpatach, Sudetach, Wyżynie Lubelskiej i in. Łączne zasoby 144 złóż wapieni i skał pokrewnych dla budownictwa i drogownictwa wynosiły na koniec 2014 r. 1988 mln Mg (Bilans zasobów... 2015).

Według wieku utworów wapiennych największe znaczenie mają wapienie wieku jurajskiego (ponad 59% zasobów), następnie wapienie i skały pokrewne wieku kredowego (ponad 21%), wapienie dewońskie (około 8%), wapienie triasowe (około 8%), wapienie trzeciorzędowe (około 3%), a marginalne – wapienie wieku karbońskiego, kambryjskiego i prekambryjskiego (rys. 3).

W 2014 r. wapienie były wydobywane w 76 odkrywkach, w tym w 18 kopalniach wapieni i margli dla przemysłu cementowego (po uruchomieniu kopalni na złożu Pajęczno Rakowice II w woj. łódzkim), 15 kopalniach wapieni dla przemysłu wapienniczego (dwa złoża: Górażdże i Bukowa były eksploatowane dla potrzeb przemysłu cementowego i wapienniczego równocześnie), a ponadto w 42 kopalniach użytkujących złoża wapieni lub marmurów udokumentowanych w grupie kamieni łamanych i blocznych oraz jednej kopalni kredy jeziornej (Lubiatowo III). W związku zżywieniem w budownictwie i drogownictwie, stymulowanym napływem



Rys. 3. Ważniejsze rejony występowania węglanowych kopalin wapniowych w Polsce
Wiek skał: 1 – kambry, 2 – dewon, 3 – trias, 4 – jura, 5 – kreda, 6 – trzeciorzęd
(wg Wyszomirski i Galos 2007)

Fig. 3. Major regions of carbonate calcium raw materials occurrences in Poland (Wyszomirski i Galos 2007)

środków unijnych na finansowanie inwestycji infrastrukturalnych (głównie budownictwo drogowe), w ostatnich latach wzrosło znacząco wydobycie różnych gatunków wapieni, osiągając łączny poziom ponad 69,6 mln Mg w 2011 r. (tab. 4). Kolejne lata przyniosły ograniczenie ich wydobycia do poziomu 52,7 mln Mg w 2013 r., przy czym największy – ponad 23% – spadek odnotowano w grupie kopalin dla przemysłu wapienniczego. W grupie tej w 2014 r. odnotowano dalszy trend spadkowy, mimo że łączna wielkość wydobycia skał wapiennych wzrosła o ponad 6% do 55,8 mln Mg (tab. 4, rys. 4).

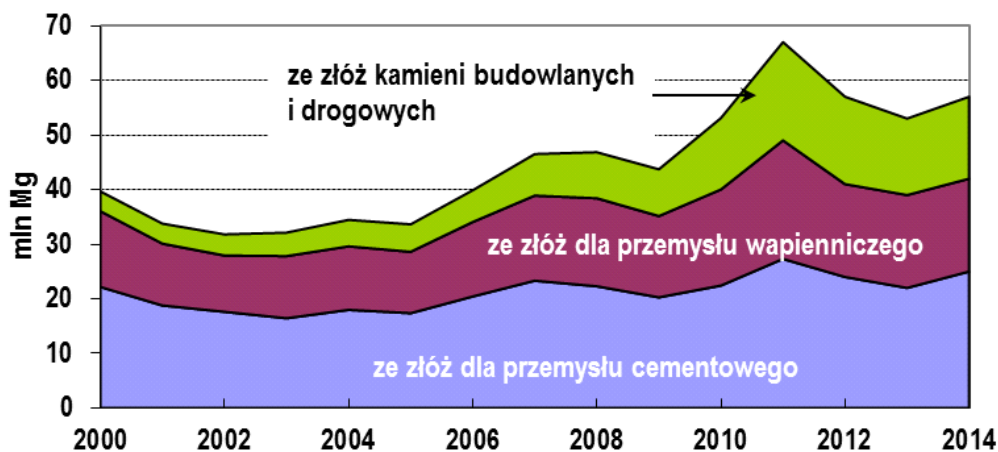
Skały wapienne są użytkowane do produkcji kilku grup wyrobów: cementu, wapna, wyrobów wapienniczych niewypalanych, kruszyw wapiennych łamanych, elementów budowlanych i nawozów. Wyroby wapiennicze wypalane (wapno) i niewypalane (mączki wapienne), o zróżnicowanym asortymencie, są wytwarzane przez kilkanaście zakładów, które w większości zostały sprywatyzowane z udziałem zagranicznych koncernów specjalizujących się w produkcji wapna

TABELA 4. Gospodarka wapieniami w Polsce [tys. Mg]

TABLE 4. The limestone economy in Poland [thousand Mg]

	2006	2008	2010	2012	2014
Wydobycie	39 959	46 888	53 116	56 906	55 830
Wapienie i margle ze złóż dla przemysłu cementowego	20 428	22 301	22 431	24 322	24 803
Wapienie ze złóż dla przemysłu wapienniczego	13 645	16 110	17 588	167 28	16 561
Wapienie ze złóż kamieni budowlanych i drogowych	5 807	8 426	13 080	15 840	14 448
Kreda jeziorna do produkcji nawozów wapniowych	79	51	17	16	18
Produkcja ¹	29 299	32 958	33 235	38 211	35 152
w tym kamień na zbytny	11 702	12 844	14 882	18 960	17 631
Import	98	53	40	168	147
Eksport	420	399	150	414	501
Zużycie pozorne	28 977	32 612	33 125	37 965	34 798

¹ Notowana przez GUS produkcja kamienia wapiennego przemysłowego (w tym na zbytny) oraz mączek wapiennych
 Źródło: GUS, Bilans zasobów... 2015; Bilans gospodarki... 2015



Rys. 4. Wydobycie wapieni i skał pokrewnych w Polsce w latach 2000–2014

Fig. 4. Mining output of limestone and related rocks in Poland in the years of 2000–2014

lub innych materiałów budowlanych. Niektóre zakłady wapiennicze produkują znaczące ilości kamienia wapiennego na zbytny, użytkowanego jako topnik wielkopiecowy lub w cukrowniach do produkcji wapna palonego niezbędnego do oczyszczania soku buraczanego (tab. 5). Wapienne kruszywa budowlane i drogowe pozyskiwane są ze złóż kamieni budowlanych i drogowych, jak

TABELA 5. Produkcja górnicza wapieni w ważniejszych kopalniach dostarczających wapień przemysłowe jako produkty główne lub dodatkowe¹
[tys. Mg]

TABLE 5. Mining production of limestone in major mines, delivering industrial limestones as the main or additional products [thousand Mg]

Złoże	Województwo	Kierunek dokumentowania	Kierunki zastosowań	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Połom	Dolnośląskie	W, K-W	k,l,m,n,w	614	531	600	5	542	581
Barcin-Piechcin	Kujawsko-Pomorskie	C-W	c,k,l,n,w	4 805	5 168	7 083	6 921	6 301	6 297
Ślawno	Łódzkie	K-W	m,n	200	199	257	279	272	278
Czatkowice	Małopolskie	W, K-W	l,m,k	1 589	1 842	2 252	2 195	1 868	1 929
Górażdże	Opolskie	W, C-W	c,l,m,n,w	3 762	3 838	4 204	3 674	3 147	3 720
Izbicko II	Opolskie	W	l,n,w	38	221	551	758	885	1 075
Tarnów Opolski	Opolskie	W	l,m,n,w	1 074	1 346	1 544	1 071	606	481
Budy	Świętokrzyskie	K-W	k,l,n	1 379	2 249	3 025	2 426	2 239	2 519
Bukowa	Świętokrzyskie	W, C-W	l,m,n,w	1 805	1 738	2 154	1 758	1 815	1 805
Celiny I	Świętokrzyskie	K-W	k,l	493	1 211	2 477	1 268	943	1 160
Chęciny-Wolica	Świętokrzyskie	W	m	252	137	148	8	-	-
Gnieździńska-Góra Maćkowa	Świętokrzyskie	W	k,l	281	222	257	214	255	237
Jazwica	Świętokrzyskie	K-W	k,l,n	1 215	1 536	2 280	1 374	1 180	1 089
Morawica III	Świętokrzyskie	K-W	k,l,n,b	1 454	2 032	2 518	1 780	1 638	2 084
Ostrówka i Ołowianka	Świętokrzyskie	W	k,l,m	3 400	5 180	5 869	5 235	5 500	5 737
Ptasznik I	Świętokrzyskie	K-W	l	208	211	227	147	173	188
Trzuskawica	Świętokrzyskie	W	k,l,m,n,w	2 949	3 411	5 684	3 364	3 306	2 704
Wierzbica	Świętokrzyskie	W	k, l	555	564	726	599	548	449

Kierunki udokumentowania złożeń: C-W – wapień dla przemysłu cementowego, K-W – kamień budowlany i drogowy (wapień), W – wapień dla przemysłu wapienniczego.

Kierunki zastosowań: b – kamień budowlany (bloki, płyty itp.), c – cement, k – kruszywa lamane, l – kamień lamany na zbyt, m – mączki wapienne, n – nawozy wapienne, w – wapno

¹ Z wyłączeniem kopalń dostarczających wapień i skały pokrewne wyłącznie dla potrzeb cementowni; wyłuszczonej czcionką wyróżnione kopalnie, z których pochodzi kamień wapienny stosowany do produkcji mączek wapiennych.

Źródło: Bilans zasobów... 2015; Bilans gospodarki... 2015

również w niektórych zakładach wapienniczych. Drobne frakcje odpadowe z produkcji kruszyw są często przeznaczone na wapniowe nawozy węglanowe (Bilans gospodarki... 2015).

Jak już wspomniano, w związku z określoną lokalizacją bazy zasobowej wapieni – zwłaszcza tych najwyższej czystości – produkcja głównych wyrobów pochodnych, a więc cementu, wapna oraz mączek wapiennych (w tym sorbentów wapiennych) skoncentrowana jest w Polsce w kilku regionach, głównie w południowej części (tab. 6). Zdecydowanie dominujące znaczenie ma region świętokrzyski, gdzie funkcjonujące tam zakłady dostarczają pełny asortyment cementów, wapna oraz wyrobów wapienniczych niewypalanych. Jeśli chodzi o mączki wapienne, duże znaczenie mają także region opolski i śląsko-krakowski, a marginalne – kujawski. W regionie lubelskim wytwarzane są wyłącznie cementy (tab. 6).

TABELA 6. Charakterystyka głównych regionów występowania i wykorzystywania wapieni przemysłowych w Polsce (stan na koniec 2014 r.)

TABLE 6. Characteristics of main regions of occurrence and utilization of industrial limestone in Poland (as of the end of 2014)

Parametr	Region świętokrzyski	Region opolski	Region śląsko-krakowski	Region lubelski	Region kujawski
Wiek utworów	dewon, jura	trias, kreda	karbon, trias, jura	kreda, trzeciorzęd	jura
Zasoby bilansowe [mln Mg]	6 649	1 744	3 205	3 286	962
Ilość złóż	64	16	56	18	1
Zasoby złóż eksploatowanych [mln Mg]	2 699	1 099	694	251	962
Ilość złóż eksploatowanych	15	8	7	2	1
Wielkość wydobycia w 2014 r. [mln Mg]	17,7	8,8	5,6	2,5	6,3
Wystarczalność bazy zasobowej (lat)	>150	>120	>120	>100	>150
Główne produkty	C, W, Ł, M, S	C, W, Ł, M, S	C, Ł, M, S	C	C, W, Ł, M
Główne zakłady	Trzuskawica, Bukowa, Miedzianka, Wolica, Ozarów, Małogoszcz, Nowiny	Góraždze, Tarnów Opolski, Labtar, Odra	Czatkowice, Warta, Rudniki	Chelm, Rejowiec	Bielawy, Kujawy

Objaśnienia: C – cementy, W – wapno, Ł – kamień wapienny łamany, M – mączki wapienne, S – sorbenty wapienne
 Źródło: Bilans zasobów... 2015; Bilans gospodarki... 2015; obliczenia własne

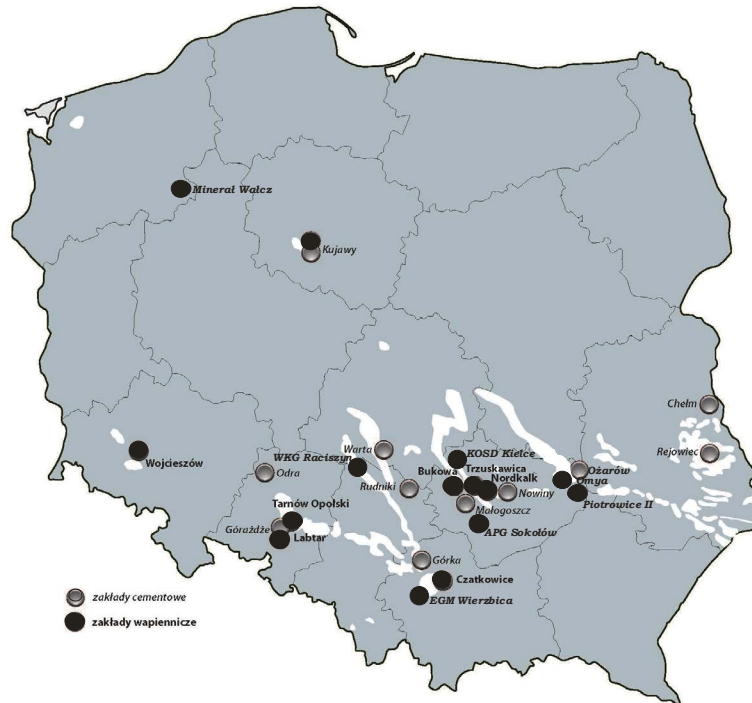
Ważną grupą wyrobów wytwarzanych ze skał wapiennych są tzw. wyroby wapiennicze niewypalane. Są one produkowane w bardzo szerokim asortymencie — począwszy od wyrobów gruboziarnistych, głównie kamienia wapiennego na zbyt, po wyroby drobnoziarniste, takie jak

sorbenty do odsiarczania spalin, inne mączki wapienne do zastosowań przemysłowych, pył wapienny, kreda pisząca, pastewna i inne. Ich głównymi dostawcami są: Trzuskawica S.A. w zakładzie w Sitkówce, Lhoist w zakładach w Bukowej, Tarnowie Opolskim, Górażdżach i Wojcieszowie, Kopalnia Wapienia Czatkowice, Nordkalk z zakładami Miedzianka (złóże Ostrówka i Ołowianka), Chęciny-Wolica i Owadów (Sławno), a mniejszymi: Labtar w Tarnowie Opolskim, Kopalnie Odkrywkowe Surowców Drogowych w Kielcach, Zakłady Przetwórcze Surowców Chemicznych i Mineralnych Piotrowice w Piotrowicach, Zakład Produkcyjno-Handlowy APG w Sokołowie koło Kielc, Zakład Przerobu Surowców Mineralnych Minerał w Wałczu oraz GiGa w Płazie (Bilans gospodarki... 2015).

Głównym pod względem ilościowym produktem wapienniczym niewypalonym jest kamień wapienny na zbył, dostarczany w znaczących ilościach – poza wyżej wymienionymi – także przez Kopalnię Wapienia Morawica w Morawicy oraz kilka innych firm regionu świętokrzyskiego. Łączne dostawy kamienia wapiennego na zbył wzrosły z poziomu niespełna 13 mln Mg/r. w 2009 r. do 19,8 mln Mg w 2011 r., przy redukcji w kolejnych latach 2013–2014, do 17,5–17,6 mln Mg. Poziom sprzedaży zależy od potrzeb głównego użytkownika – hutnictwa żelaza i metali nieżelaznych, a także branży cukrowniczej i przemysłu chemicznego (Bilans gospodarki... 2015).

Drugą ważną grupą wyrobów wapienniczych niewypalanych są wyroby wapiennicze mielone (tj. różnego rodzaju mączki wapienne), dostarczane w wielu gatunkach dla różnych odbiorców. Ich znaczenie wyraźnie rośnie (szczególnie grupy sorbentów wapiennych), a łączna produkcja z pewnością przekracza 3 mln Mg/r. Obecnie poszczególne rodzaje wyrobów wapienniczych do różnych zastosowań wytwarzane są przez (rys. 5):

- ◆ mączka wapienna i sorbent węglanowy do odsiarczania spalin – zakłady Lhoist w Bukowej, Tarnowie Opolskim i Górażdżach, a także zakłady ZPW Trzuskawica w Sitkówce i Bielawach; Czatkowice, Nordkalk, Labtar, EGM Wierzbica, WKG Raciszyn;
- ◆ mączka wapienna do mas bitumicznych – zakłady Trzuskawica, Lhoist (Tarnów Opolski i Bukowa), Nordkalk i KOSD Kielce, Labtar; Cemex (Cementownia Rudniki); EGM Wierzbica;
- ◆ mączka wapienna dla przemysłu szklarskiego – zakłady ZPW Trzuskawica; Lhoist Bukowa; Omya i Nordkalk;
- ◆ pył wapienny do hamowania wybuchów węglowych – zakłady Labtar, Lhoist Bukowa i KOSD Kielce;
- ◆ kreda pastewna – zakłady Lhoist, Labtar, Cementownia Warta, ZPW Trzuskawica w Bielawach; Minerał Wałcz; EGM Wierzbica;
- ◆ kreda techniczna i malarska – zakłady Trzuskawica, Piotrowice, Lhoist Bukowa i APG Sokołów;
- ◆ wypełniacz w przemyśle wapienniczym tworzyw sztucznych, farb, klejów i lakierów – zakłady Omya; zakłady ZPW Trzuskawica w Bielawach; WKG Raciszyn; Piotrowice (Bilans gospodarki... 2015).



Rys. 5. Lokalizacja głównych zakładów produkujących wyroby wapiennicze i cementy w Polsce

Fig. 5. Location of the main producers of limestone products and cements in Poland

4. Obecne i przyszłe źródła sorbentów wapiennych do odsiarczania spalin metodą mokrą wapienną

Obecnie w Polsce do produkcji sorbentów wapiennych stosowanych do obniżenia emisji SO_2 wykorzystuje się wysokiej jakości wapień, eksploatowane ze złóż różnego wieku. Sorbenty drobnoziarniste, zwane często mączkami, o uziarnieniu poniżej $120 \mu\text{m}$, stosowane są w metodzie mokrej wapiennej, natomiast sorbenty gruboziarniste, zwane także piaskami, o uziarnieniu powyżej $120 \mu\text{m}$, przede wszystkim do odsiarczania w trakcie spalania w kotłach fluidalnych.

W gronie krajowych dostawców tego rodzaju sorbentów węglanowych należy wymienić co najmniej siedem firm produkcyjnych: Lhoist Polska Sp. z o.o., KW Czatkowice Sp. z o.o., ZPW Trzuskawica S.A., Nordkalk Sp. z o.o., Labtar Sp. z o.o., EGM Sp. z o.o. oraz WKG Sp. z o.o. (tab. 7). Największym dostawcą w wymienionej grupie jest koncern Lhoist Polska, w którym produkcja sorbentów drobnoziarnistych odbywa się w dwóch zakładach: Lhoist Bukowa koło Kielc na bazie wapienia jurajskiego ze złoża Bukowa, oraz Lhoist Opolwap S.A. w Tarnowie

Opolskim (od lipca 2011 r. ZW Lhoist S.A. po połączeniu zakładów Lhoist Opolwap i ZW Wojcieszów) na bazie wapienia triasowego ze złoża Tarnów Opolski. Jednym z podstawowych parametrów decydujących o efektach odsiarczania spalin jest czystość chemiczna wapieni. Oznacza to zwykle zawartość CaCO_3 min. 94%, zawartość Fe_2O_3 zwykle poniżej 0,4%, MgO zwykle <1%, przy zmiennej zawartości SiO_2 (Szmigielska i Głomba 2012). Sorbenty uzyskiwane ze złoża Bukowa charakteryzują się wyższą zawartością CaCO_3 (97–98%) w porównaniu z surowcem ze złoża Tarnów Opolski (94,7–96,5%). Na bazie surowca ze złoża Tarnów Opolski produkcję niewielkiej ilości sorbentów węglanowych droбноziarnistych o zawartości CaCO_3 min. 94% prowadzi również przedsiębiorstwo Labtar Sp. z o.o. Znaczącym dostawcą wysokiej jakości sorbentów wapiennych (ponad 450 tys. Mg/r) jest Kopalnia Wapienia Czatkowice (w składzie Grupy Tauron Polska Energia) w Krzeszowicach koło Krakowa, eksploatująca złożę wapieni dolnokarbońskich Czatkowice. Oferowane sorbenty w formie mączek charakteryzują się ponad 96% zawartością CaCO_3 i znakomitymi wskaźnikami: reaktywności RI – poniżej 2,5 i sorpcji CI – powyżej 120 (tab. 7). KW Czatkowice jest jedynym dostawcą prowadzącym badania wskaźników CI i RI w sposób ciągły i ogólnie dostępny dla odbiorców. Znaczne ilości sorbentów (łącznie ponad 200 tys. Mg/r.) pozyskiwane są na bazie wapienia wieku jurajskiego złoża Chęciny-Wolica w zakładzie Wolica koło Kielc należącym do skandynawskiej firmy Nordkalk Sp z o.o. Ponadto sorbenty średnioziarniste o uziarnieniu <0,15 mm w ilości kilkudziesięciu tysięcy Mg rocznie dostarczane są przez ZPW Trzuskawica (należące do irlandzkiego koncernu CRH) z wykorzystaniem wapienia dewońskiego najwyższej czystości (tab. 7) i stosunkowo dużej twardości. Mniejszymi producentami droбноziarnistych sorbentów wapiennych o dużej czystości są EGM Sp. z o.o. oraz WKG Sp. z o.o. (tab. 7).

W przyszłości możliwe jest podjęcie produkcji droбноziarnistych sorbentów węglanowych (mączek wapiennych) przez użytkowników innych złóż wapieni, charakteryzujących się odpowiednim stopniem czystości (zawartość CaCO_3 ponad 95%), a także przez Elektrownię Bełchatów, która potencjalnie może pozyskiwać wapień i/lub kredę jeziorną, towarzyszące złożu węgla brunatnego Bełchatów (Hycnar i in. 2015). Warto podkreślić, że Elektrownia Bełchatów od kilku lat prowadzi produkcję sorbentów wapiennych we własnej przemiałowni kamienia wapiennego na potrzeby bloków energetycznych nr 1–12 z surowca sprowadzanego z kopalń Raciszyn, Morawica i Bukowa. Na potrzeby odsiarczania spalin w nowym bloku nr 14 wykorzystywane są mączki wapienne od różnych dostawców – m. in. Nordkalk, Trzuskawica, KW Raciszyn i KW Czatkowice (tab. 8).

Łączne zapotrzebowanie na sorbenty wapienne stosowane w instalacjach odsiarczania spalin metodą mokrą wapienną oceniane jest na około 1 800 tys. Mg/r. (tab. 8). Głównymi użytkownikami sorbentu tego typu jest Elektrownia Bełchatów oraz ZE Pątnów-Adamów-Konin. Średniej wielkości odbiorcy to elektrownie Jaworzno II, Opole, Połaniec, Koźienice i Łaziska, a mniejszymi elektrownie Rybnik, Dolna Odra, Siekierki i Ostrołęka (tab. 8). W 2015 roku oddano do użytku instalacje odsiarczania spalin metodą mokrą wapienną w czterech elektrociepłowniach będących własnością firmy EDF Polska S.A.: Gdańsk, Gdynia, Wrocław i Kraków. Łączne zużycie sorbentów droбноziarnistych (mączek wapiennych) może wzrosnąć o kolejne 80–100 tys. Mg/r. W perspektywie 2020 roku, aktualnie budowane instalacje odsiarczania spalin w czterech

TABELA 7. Podstawowe parametry jakościowe ważniejszych sorbentów wapiennych stosowanych w Polsce do odsiarczania spalin metodą moką wapienną

TABLE 7. Basic quality parameters of major limestone sorbents utilized in Poland in wet limestone FGD process

Producent / nazwa sorbentu	Źródło sorbentu	Skład chemiczny [% mas.]				Granulacja	
		CaCO ₃	SiO ₂ + NR	MgCO ₃	Fe ₂ O ₃		
ZPW Trzuskawica S.A. sorbent węglanowy do odsiarczania spalin	wapień dewoński Trzuskawica	>98,0	<1,0	<2,0	<0,06	<0,25	min. 90% <0,09 mm min. 85% <0,075 mm
ZPW Trzuskawica S.A., zakład Bielawy mączka wapienna	wapień jurajski Barcin-Piechcin-Pakość	>93	<3	<1,5	<0,4	b.d.	min. 80% <0,075 mm 100% <0,18 mm (możliwość dostosowania do potrzeb odbiorcy)
KW Czatkowice Sp. z o.o. mączka wapienna	wapień karboński Czatkowice	96,0	1,5	1,5	0,15	0,09	85-95% <0,063 mm
ZW Lhoist S.A.* sorbent wapienny do odsiarczania spalin	wapień triasowy Tarnów Opolski	97,5	1,1	0,9	0,3	0,1	98,7% <0,2 mm 89,4% <0,09 mm
Labiar Sp. z o.o. sorbent drobnociąmiste	wapień triasowy Tarnów Opolski	>94	<2,5	<2,0	<0,7	<0,7	min. 90% <0,09 mm
Nordkalk Sp. z o.o. sorbent Electra 90 (WO)	wapień jurajski Wolica	97,0	1,25	0,7	0,12	0,12	92,3% <0,063 mm 98,9% <0,09 mm
EGM Sp. z o.o. mączka wapienna	wapień jurajski Wierzbica	>97,3	<0,5	<1,2	<0,15	<0,4	frakcje od 0-0,09 mm do 0,8-1,4 mm
WKG Sp. z o.o. mączka wapienna	wapień (trawertyn) jurajski Raciszyn	>96,0	<1,5	<0,8	<0,5	<0,5	b.d.

Źródło: Informacje producentów
b.d. – brak danych

TABELA 8. Użytkowanie sorbentów wapiennych w instalacjach odsiarczania spalin metodą mokrą wapienną (stan na koniec 2014 r.)

TABLE 8. Use of limestone sorbents in wet limestone FGD (as of the end of 2014)

Elektrownia	Rodzaj i źródło sorbentu	Orientacyjne maksymalne zapotrzebowanie [tys. Mg/r]
Bełchatów	bloki nr 1–12: kamień wapienny z kopalń Raciszyn, Morawica i Bukowa (mączki wapienne produkowane w elektrowni); blok nr 14: mączka wapienna – Nordkalk (Wolica), Trzuskawica, Raciszyn i KW Czatkowice	870
ZE Pątnów-Adamów-Konin	mączka wapienna – KW Czatkowice, ZW Lhoist	285
Jaworzno III	mączka wapienna – KW Czatkowice	105
Opole	mączka wapienna – ZW Lhoist	100
Połaniec	mączka wapienna – KW Morawica i Wierzbica	90
Kozienice	mączka wapienna – Nordkalk, Trzuskawica	90
Łaziska	mączka wapienna – KW Czatkowice	70
Rybnik	mączka wapienna – KW Czatkowice	55
Dolna Odra	mączka wapienna – Nordkalk (Szczecin, wapień z Gotlandii)	45
Siekierki	mączka wapienna – Nordkalk (Wolica) i KW Czatkowice	35
Ostrołęka	mączka wapienna – b.d.	35

Źródło: Informacje użytkowników (z elektrowni)

nowych blokach energetycznych na węgiel kamienny (tab. 3), będą zużywać około 700–750 tys. Mg/r. sorbentów droбноziarnistych, w wyniku czego zapotrzebowanie na sorbenty droбноziarniste w Polsce może sięgnąć nawet 2 650 tys. Mg/rok.

Podsumowanie

Działania na rzecz ograniczania emisji SO₂ w krajowej energetyce zawodowej bazującej głównie na spalaniu węgla, mające miejsce od początku lat 90. XX wieku, spowodowały budowę licznych instalacji odsiarczania spalin, głównie z zastosowaniem metody mokrej wapiennej, a w niektórych przypadkach wprowadzanie kotłów fluidalnych, gdzie proces odsiarczania następuje w kotle zaraz po procesie spalania węgla. W obu najważniejszych metodach sorbentem jest wapień odpowiedniej granulacji. Skutkowało to wzrostem zapotrzebowania na sorbenty wapienne z poziomu zerowego na początku lat 90. XX wieku do około 2,5 mln Mg/rok w chwili obecnej. Do produkcji takich mączek i piasków wapiennych sorbentowych wykorzystywane są

różne odmiany wapieni w różnych regionach kraju, przy czym muszą one spełniać podstawowe wymagania dotyczące m.in. składu chemicznego i granulacji. Największe znaczenie w produkcji sorbentów wapiennych mają w chwili obecnej odmiany wapieni jurajskich (region świętokrzyski, łódzki i kujawski), dewońskich (region świętokrzyski), karbońskich (region śląsko-kra-kowski) oraz triasowych (region opolski).

Planowane dalsze inwestycje w zakresie instalacji odsiarczania spalin – przede wszystkim metodą mokrą wapienną – zarówno w istniejących, jak i budowanych blokach energetycznych opalanych węglem kamiennym lub brunatnym, mogą spowodować dalszy wzrost użytkowania sorbentów wapiennych do celów odsiarczania, nawet do poziomu rzędu 3,0–3,2 mln Mg/rok w perspektywie 2020 roku. Poza dotychczasowymi źródłami takich sorbentów, poważne znaczenie w przypadku największego ich użytkownika – Elektrowni Bełchatów – może mieć w najbliższej przyszłości wapień występujący w nadkładzie złoża węgla brunatnego Bełchatów.

Publikacja zrealizowana w ramach badań statutowych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk.

Literatura

- ARE, 2015 – Emitter 2014. Emisja zanieczyszczeń środowiska w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych. Agencja Rynku Energii, Warszawa.
- BIS, Z. 2002. Sorbenty wapienne w energetyce. [W:] *Monografia Przeróbka i wykorzystanie surowców skalnych*. Praca zbiorowa. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków.
- Bilans gospodarki..., 2015 – Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013 – praca zbiorowa pod red. T. Smakowskiego, K. Galosa i E. Lewickiej. Wyd. PIG-PIB Warszawa 2015 (oraz edycje wcześniejsze).
- Bilans zasobów..., 2015 – Bilans Zasobów Złóż Kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2014 r. – praca zbiorowa pod red. M. Szufflickiego, A. Malon i M. Tymińskiego. Wyd. PIG-PIB Warszawa 2015 (oraz edycje wcześniejsze).
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych – IED (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola).
- GALOS i in. 2003 – GALOS, K., SMAKOWSKI, T. i SZLUGAJ, J. 2003. Flue-gas desulphurisation products from Polish coal-fired power plants. *Applied Energy* 75, s. 257–265.
- GAWLICKI i in. 2009 – GAWLICKI, M., GALOS, K. i SZLUGAJ, J. 2009. Mineralne surowce odpadowe z elektrowni, elektrociepłowni i ciepłowni. [W:] *Surowce mineralne Polski. Mineralne surowce odpadowe*. Praca zbiorowa pod red. K. Galosa. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- HYCNAR i in. 2015 – HYCNAR, E., RATAJCAK, T. i JOŃCZYK, W. 2015. Węglanowe kopaliny towarzyszące a możliwości ich wykorzystania w charakterze sorbentów SO₂ (na przykładzie złoża węgla brunatnego Bełchatów). *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN* nr 90, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- HYCNAR, J. 2006. Paleniska fluidalne przykładem racjonalnego rozwiązywania problemów odpadów. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 9, z. spec. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.

- KNURA, P. 2011. Pólsucha metoda odsiarczania spalin z zastosowaniem reaktora pneumatycznego zintegrowanego z filtrem tkaninowym (metoda RP+FT) – kierunki rozwoju technologii, potencjał i możliwości. *Materiały II Konferencji Wytwórców Energii Elektrycznej*. Skawina.
- Krajowy program ochrony powietrza do roku 2020 (z perspektywą do 2030). Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 2015.
- NIESLER, J. 2011. Rozwój palenisk fluidalnych w energetyce. *Piece przemysłowe & kotły* Nr XI–XII.
- Ochrona Środowiska 2015. Rocznik Głównego Urzędu Statystycznego.
- Polityka... 2009 – Polityka energetyczna Polski do 2030 roku, Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z 10 listopada 2009 r.
- ROSZCZYŃSKI, W. i GAWLIŃSKI, M. 1997. Kierunki zagospodarowania produktów odsiarczania spalin. *Materiały VII Konferencji „Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi”*. Polanica Zdrój.
- SZLUGAJ, J. i NAWORYTA, W. 2015. Analiza zmian podaży gipsu w Polsce w świetle rozwoju odsiarczania spalin w elektrowniach konwencjonalnych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 31, z. 2, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- SZMIGIELSKA, E. i GŁOMBA, M. 2012. Analiza fizyko-chemiczna wapieni stosowanych w technologiach odsiarczania spalin energetycznych. *Materiały II Konferencji POL-EMIS 2012, Ochrona powietrza atmosferycznego*. Sienna-Czarna Góra.
- TRYBUŚ, T. 1995. Fluidalne spalanie paliw jako metoda ograniczania emisji dwutlenku siarki i tlenków azotu. *Ochrona Środowiska* nr 2(57).
- WYSZOMIRSKI, P. i GALOS, K. 2007. *Surowce mineralne i chemiczne przemysłu ceramicznego*. UWND AGH, Kraków.

Krzysztof GALOS, Jarosław SZLUGAJ, Anna BURKOWICZ

Sources of limestone sorbents for flue gas desulphurization in Poland in the context of the needs of domestic power industry

Abstract

In the last twenty five years a large number of flue gas desulphurization (FGD) installations was constructed in the Polish power industry, so domestic SO₂ emission was reduced fourfold, and amounted to ca. 0.4 million Mg in 2013, while SO₂ capture increased to over 80%, respectively. Consequently, a significant increase in domestic demand for limestone sorbents was recorded, from virtually zero in 1990 to about 2.5 million Mgpy today, and power industry has become one of the most important customers of limestone industry. The paper shows the methods used in the flue gas desulphurization in Polish heat and power plants, the types of utilized sorbents, characterizing also their use. Moreover, the paper presents process of the implementation of FGD along with potential and real gypsum production in domestic power plants. Furthermore, paper shows the resource base and the volume of supply of limestone and related rocks in Poland in relation to the main directions of their use. The current and future sources of limestone sorbents applied

in FGD in wet method were also presented. Taking into account official plans of the development of the Polish energy production, the forecast of the synthetic gypsum production as well as the use of limestone sorbents in the next years has been made.

KEYWORDS: flue gas desulphurization, limestone sorbents, limestone, synthetic gypsum