

Carbon capture, wiedzieć jak najwięcej – nasz wspólny cel

Adam TATARCZUK, Marek ŚCIAŻKO, Marcin STEC – Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze; Stanisław TOKARSKI – Tauron Wytwarzanie SA, Katowice; Jerzy JANIKOWSKI – Tauron Polska Energia SA, Katowice

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2013, 67, 10, 897–902

Wstęp

Redukcja emisji dwutlenku węgla z energetyki użytkowej jest jednym z celów, do realizacji których zobowiązuje nas przyjęty przez Parlament Europejski w grudniu 2008 r. pakiet energetyczno-klimatyczny [1, 2]. Jedną z najbardziej obiecujących metod ograniczania emisji jest usuwanie dwutlenku węgla metodą absorpcji w wodnych roztworach amin [3]. Trudności przy opracowaniu technologii procesu wychwytu CO₂ ze spalin kotłów energetycznych wynikają z wielkości strumienia gazu, zawierającego dwutlenek węgla o niskim ciśnieniu cząstkowym i bardzo dużej ilości azotu. Aby sprostać wymaganiom, roztwór absorbujący dwutlenek węgla musi charakteryzować się wysoką szybkością absorpcji, dużą pojemnością sorpcyjną dla CO₂. Dodatkowo powinien posiadać jak najmniejsze ciepło regeneracji – dla zminimalizowania zapotrzebowania na energię wymaganą do prowadzenia procesu.

Najczęściej stosowane roztwory w procesie chemicznej absorpcji dwutlenku węgla zawierają monoetanolaminę (MEA), dietanolaminę (DEA), N-metylodietanolaminę (MDEA). W ostatnich latach badane są mieszaniny różnych amin (np. roztwory N-metylodietanolaminy z piperazyną), w których obserwowany jest mechanizm aktywacji, poprawiający własności absorpcyjne roztworu [3].

Wiedzieć jak najwięcej

Wspólny cel rozwoju, zdobywania wiedzy i doświadczenia w dziedzinie ograniczenia emisji CO₂ na największą skalę w Polsce, realizowany jest obecnie przez Grupę TAURON oraz Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla. Działanie to prowadzone jest w ramach Strategicznego Programu Badawczego – Zaawansowane technologie pozyskiwania energii: „Opracowanie technologii dla wysokosprawnych „zeroemisyjnych” bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO₂ ze spalin”, którego koordynatorem jest Politechnika Śląska. [4].



Rys. 1. Skalowanie procesu usuwania CO₂. Instalacje wykorzystane do badań: laboratoryjna – 5 m³/h (lewa górna), półtechniczna – 20–100 m³/h (prawa górna), pilotowa – 200 m³/h (dolna)

Ważnym krokiem dla energetyki w rozwoju niskoemisyjnych bloków węglowych było uruchomienie, 25 kwietnia 2013 r. pierwszej w kraju Instalacji Pilotowej aminowego usuwania CO₂ ze spalin z komercyjnego bloku węglowego na Elektrowni Łaziska–TAURON Wytwarzanie SA. Wydarzenie to zostało poprzedzone licznymi przygotowaniem, których istotnym etapem były rozpoczęte w 2010 r. badania nad poszukiwaniem nowych sorbentów oraz testy procesu usuwania CO₂ w skali laboratoryjnej. Rok później zakończono prace projektowe nad stacjonarną instalacją usuwania CO₂ z mieszanin gazowych w skali półtechnicznej (20–100 m³/h) (Rys. 1), która powstała w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla w ramach projektu Centrum Czystych Technologii Węglowych [5]. Zaowocowało to przeprowadzeniem pierwszych testów usuwania CO₂ ze spalin w grudniu 2012 r. [6].

Zdobyte w trakcie trwania zadania badawczego doświadczenia projektowe i eksploatacyjne w różnej skali, pozwoliły wybudować, uruchomić i oddać do badań w czerwcu br. przewoźną Instalację Pilotową.

Opis Instalacji Pilotowej

Kontenerowa Instalacja Pilotowa aminowego usuwania CO₂ ze spalin (Rys. 2), zaprojektowana została do pracy badawczej w trybie ciągłym, z możliwością instalowania na różnych obiektach technologicznych. Instalacja składa się z trzech kontenerów: technologicznego, magazynowego i nadzoru, o gabarytach typowych kontenerów, co znacząco ułatwia jej transport i podłączenie.



Rys. 2. Instalacja Pilotowa podczas nocnej kampanii badawczej na Elektrowni Łaziska

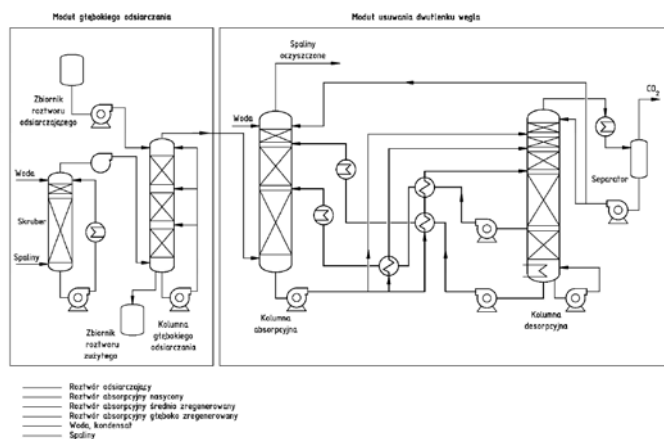
W kontenerze technologicznym zabudowano wszystkie urządzenia i aparaty technologiczne konieczne do prowadzenia procesu głębokiego odsiarczania i usuwania CO₂ ze spalin. Głównymi aparatami są dwie kolumny absorpcyjne i kolumna regeneracji roztworu, których wysokość sięga 15 m. Dzięki modułowej budowie, są w łatwy sposób demontowane na czas transportu. Pozostałe urządzenia nie wymagają demontażu i są trwale zabudowane w kontenerze technologicznym.

Stanowiska obsługowe operatorów oraz podręczne laboratorium analityczne znajdują się w kontenerze nadzoru.

Wysoki stopień automatyzacji, w tym możliwość zdalnego sterowania i analizowania wyników, bogate opomiarowanie i łatwość zestawiania różnych wariantów technologicznych procesu, czyni z Instalacji Pilotowej doskonałe narzędzie do badań procesu usuwania CO₂ w reżimie przemysłowym. Instalację projektowano w celu wykorzystania w elektrowniach węglowych, jednak jej modułowa konstrukcja, elastyczna struktura technologiczna i łatwość transportu, daje możliwość zastosowania w innych lokalizacjach, gdzie zaistnieje potrzeba usuwania CO₂ ze spalin.

Opis procesu

Instalacja Pilotowa składa się z dwóch modułów: odsiarczenia i usuwania CO₂, które zlokalizowane są w kontenerze technologicznym instalacji.



Rys. 3. Schemat przewoźnej Instalacji Pilotowej [7]

W module odsiarczenia spaliny są głęboko odsiarczane do wartości SO₂, na poziomie 10 mg/m³_n, dla ograniczenia tworzenia się trwałych, nieregenerowalnych soli amin w module usuwania CO₂. Głównymi urządzeniami sekcji odsiarczenia są skruber Venturiego – służący do schłodzenia i odpylenia spalin; dmuchawa sprężająca spaliny do ciśnienia ok. 35–40 kPa oraz kolumna absorpcyjna – do usuwania dwutlenku siarki. Istnieje także możliwość obniżenia zawartości dwutlenku siarki w adsorberze zawierającym złożo aktywne, jeśli proces głębokiego odsiarczenia nie byłby dostatecznie skuteczny, lub w przypadku jego awarii. Cały układ odsiarczenia jest powiązany z istniejącą Instalacją Odsiarczenia Spalin elektrowni.

Strumień odsiarczonych spalin o natężeniu ok. 208 m³_n/h trafia do sekcji usuwania CO₂ (Rys. 3). Proces usuwania CO₂ zachodzi w kolumnie absorpcyjnej z wypełnieniem strukturalnym, pracującej na ciśnieniu do 149 kPa_{abs} i w temp. 35–60°C. Spaliny kontaktują się ze spływającym przeciwwprądowo roztworem amin, i dzięki zachodzącym reakcjom chemicznym, CO₂ obecne w spalinach zostaje związane w roztworze.

Kolumna absorpcyjna zasilana jest dwoma strumieniami roztworu: częściowo zregenerowanym (stopień karbonizacji α = ok. 0,35 mol CO₂/mol MEA), służącym do wstępnego oczyszczenia spalin z CO₂ i głęboko zregenerowanym (stopień karbonizacji α = ok. 0,2 mol CO₂/mol MEA), mającym na celu usunięcie pozostałego CO₂. Roztwór częściowo zregenerowany trafia do środkowej części kolumny absorpcyjnej, natomiast głęboko zregenerowany podawany jest na szczyt.

Nasycony CO₂ roztwór aminy (stopień karbonizacji α = ok. 0,50 mol CO₂/mol MEA) jest również rozdzielany i trzema drogami trafia do kolumny desorpcyjnej. Rozdzielenie strumienia roztworu nasyconego pozwala na zoptymalizowanie obiegów cieplnych instalacji i odzysku ciepła z gorącego strumienia roztworu zregenerowanego.

Kolumna desorpcyjna, również posiada wypełnienie strukturalne. W kubie kolumny desorpcyjnej zabudowana jest grzałka elektryczna (moc maks. 63 kW), umożliwiająca podgrzanie roztworu [8].

Roztwór nasycony, trafiając do kolumny desorpcyjnej, kontaktuje się z parami wrzącego w dolnej części kolumny roztworu zregenerowanego, w efekcie czego dochodzi do desorpcji CO₂ i regeneracji roztworu.

W celu poprawienia bilansu energetycznego i usprawnienia wymiany ciepła w regeneratorze, zastosowano prototypowy układ rekuperacji ciepła.

Na szczyt kolumny absorpcyjnej i desorpcyjnej podawane są niewielkie ilości kondensatu służące do schłodzenia gazu opuszczającego kolumny, dzięki czemu ograniczone są straty wody i aminy z roztworu.

Zaproponowane rozwiązanie technologiczne instalacji o rozdzielonych strumieniach charakteryzuje się wysoką sprawnością usuwania CO₂, przy obniżonym zużyciu energii, jednak kosztem zwiększenia przepływu roztworu w stosunku do układu klasycznego [9].

Badania procesu usuwania CO₂ ze spalin na Elektrowni Łaziska

Podczas rozpoczętego w połowie 2013 r. w Elektrowni Łaziska cyklu badań na Instalacji Pilotowej do usuwania CO₂ ze spalin bloku pyłowego, wykorzystywany jest roztwór monoetanolaminy, najpopularniejszy chyba roztwór stosowany w tej technologii. Docelowo, w trakcie kolejnych kampanii badawczych, dotychczasowy roztwór zostanie zastąpiony roztworami opartymi na aminach z zawadą steryczną i aminach heterocyklicznych, opracowanymi w trakcie badań prowadzonych w Instytucie.

Roztwory te charakteryzują się wysoką szybkością reakcji absorpcji CO₂ i niskim ciepłem wymaganym do regeneracji roztworu, i stanowią atrakcyjną alternatywę dla dotychczas stosowanych amin.

Tablica 1

Zestawienie skuteczności działania Instalacji Pilotowej w trakcie wybranych kampanii badawczych na roztworze 20% MEA

Opis kampanii badawczej	Sprawność usuwania CO ₂ , %	Energia do desorpcji, MJ/kg _{CO₂}
Układ z rozdzielonymi strumieniami i rekuperacją ciepła w kolumnie desorpcyjnej	90,3	5,23
Układ z rozdzielonymi strumieniami bez rekuperacji ciepła w kolumnie desorpcyjnej	82,1	5,35
Układ z rozdzielonymi strumieniami i rekuperacją ciepła, zwiększone do 40 kPa ciśnienie regeneracji	96,8	4,61
Pozostałe parametry prowadzonych badań		
Przepływ gazu	200 m ³ _n /h	
Przepływ roztworu	1600 l/h	
Badany gaz	Spaliny	
Zawartość CO ₂	ok. 10 %obj.	
Moc grzania przy desorpcji	do 57,6 kW	
Absorbent	wodny roztwór MEA	

Wyniki uzyskane w trakcie testów Instalacji Pilotowej dowiodły skuteczności zastosowanej metody i rozwiązań konstrukcyjnych instalacji. Dzięki możliwości rekonfiguracji strumieni roztworu przetesto-

wano skuteczność rozdzielania strumieni i wykazano, że dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest uzyskanie bardzo wysokich sprawności usuwania dwutlenku węgla znacznie przekraczające 90%. Wstępne podsumowanie przeprowadzonych testów z zastosowaniem roztworu MEA przedstawiono w Tabelcy I.

Podsumowanie

Aktualny program badań obejmuje optymalizację procesu technologicznego oraz przygotowanie do testów z zastosowaniem modyfikowanych roztworów opracowanych przez Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla. Zaangażowanie partnerów przemysłowych TAURON Polska Energia i TAURON Wytwarzanie w zadanie badawcze w postaci sfinansowania Instalacji Pilotowej oraz udostępnienie obiektów energetycznych do prowadzenia testów w realnych warunkach pracy komercyjnych bloków węglowych pozwoli na uzyskanie wiedzy i doświadczeń w obszarze usuwania CO₂ ze spalin kotłów węglowych metodą absorpcji chemicznej. Zagadnienia te nabiorą szczególnego znaczenia, gdy procesy usuwania CO₂ ze spalin staną się koniecznością, a energetyka stanie przed wyborem technologii redukcji emisji CO₂.

Przedstawione w artykule wyniki zostały uzyskane w badaniach współfinansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach umowy SP/E/1/67484/10 – Strategiczny Program Badawczy – Zaawansowane technologie pozyskiwania energii: Opracowanie technologii dla wysokosprawnych „zero-emisyjnych” bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO₂ ze spalin.

Literatura

1. Dreszer K., Więclaw-Solny L.: *Obniżenie emisji CO₂ z sektora energetycznego – możliwe ścieżki wyboru technologii*. Polityka Energetyczna 2008, **11**, 117–129.
2. Więclaw-Solny L., Tatarczuk A., Krótki A., Wilk A.: *Przegląd technologii ograniczenia emisji CO₂ z sektora energetycznego*. Karbo 2012, **57**, 62–67.
3. Więclaw-Solny L., Ściażko M., Tatarczuk A., Krótki A., Wilk A.: *Czy CCS może być tańsze? – W poszukiwaniu nowych sorbentów CO₂*. Polityka Energetyczna 2011, **14**, 441–453.
4. Chmielniak T., Łukowicz H.: *Wysoko sprawne „zeroemisyjne” bloki węglowe zintegrowane z wychwytem CO₂ ze spalin*. Polityka Energetyczna 2012, **15**, 91–106.
5. Lajnert R., Latkowska B.: *Potencjał badawczy instalacji technologicznych Centrum Czystych Technologii Węglowych (CCTW) w Zabrze*. Przemysł Chemiczny 2013, **92**, 215–221.
6. Tatarczuk A., Ściażko M., Stec M., Tokarski S.: *Zastosowanie absorpcji aminowej do usuwania CO₂ ze spalin w skali pilotowej*. Chemik 2013, **67**, 407–414.
7. Tatarczuk A., Krótki A., Stec M., Gruszka S., Dziaduła S., Zdeb J., Janikowski J.: *Preparation for carbon capture pilot tests*. Power Engineering and Environment, Ostravice 2012, VŠB-TU Ostrava, 161–163.
8. Szczypiński T., Tatarczuk A., Grudnik K.: *Optymalizacja procesu aminowego wychwytem CO₂ ze spalin poprzez zmianę konfiguracji układu technologicznego*. Przemysł Chemiczny 2013, **92**, 106–110.
9. Polasek J.C., Bullin J.A., Donnelly S.T.: *How to Reduce Costs in Amine Sweetening Units*. Chemical Engineering Progress 1983, **79**, 63–67.

Mgr inż. Adam TATARCZUK ukończył studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach (2002). Jest starszym specjalistą w Centrum Badań Procesowych Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla. Specjalność – inżynieria chemiczna i procesowa.

e-mail: tatarczuk@ichpw.zabrze.pl, tel. 661 166 474

Dr hab. inż. Marek ŚCIAŻKO, prof. nadzw. jest absolwentem Politechniki Śląskiej (1975). W 1980 r. odbył staż naukowy w Pittsburgh Energy Technology Center w USA, gdzie wykonywał badania nad modelowaniem ciśnieniowego zgazowania węgla, w wyniku czego powstała praca doktorska. W 1993 r. otrzymał stypendium na University of North Dakota, USA, w dziedzinie zarządzania projektami inwestycyjnymi w energetyce. W latach 1987–1993 był kierownikiem projektu i zastępcą dyrektora Polsko-Niemieckiego Centrum Badawczego, ukierunkowanego na rozwój technologii pirolizy węgla. Pełnił funkcję dyrektora Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla w latach 1991–2013. Jest członkiem Grupy Doradczej ds. Energetyki – DG RTD UE, Komitetu Energetyki oraz Inżynierii Chemicznej Polskiej Akademii Nauk, członkiem Rady Nadzorczej grupy energetycznej Tauron, jest także profesorem w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (AGH). Jest współautorem 120. artykułów, 29. monografii i 55. patentów.

e-mail: msc@ichpw.zabrze.pl, tel. 32 271 51 52

Mgr inż. Marcin STEC ukończył studia na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach (2003). Jest pracownikiem Centrum Badań Procesowych w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze. Specjalność – komputerowe systemy sterowania.

Mgr inż. Stanisław TOKARSKI Absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Elektroniki (1983). Obecnie Prezes Zarządu TAURON Wytwarzanie SA. Wcześniej pracował w TAURON Polska Energia SA, jako wiceprezes Zarządu dyrektor ds. Strategii i Rozwoju. Karierę zawodową rozpoczynał w PKE Elektrowni Jaworzno III. Od 1998 r. jako członek międzynarodowej organizacji UNIPED, a następnie Eurelectric w Brukseli, przygotowującej opinie dla Komisji Europejskiej na temat podstawowych aktów prawnych (dyrektyw) dotyczących sektora elektroenergetyki i paliw, uczestniczy w pracach wielu instytucji europejskich. Jest działaczem wielu organizacji, m.in. Eurelectric i Polskiego Komitetu Normalizacji oraz Polskiego Komitetu Światowej Rady Energetycznej. Jest członkiem Rady Zarządzającej Polskiego Komitetu Energii Elektrycznej oraz Rady Dyrektorów VGB. Aktywnie działa w KIC InnoEnergy, międzynarodowej spółce prowadzącej projekty badawczo-rozwojowe. Jest autorem 11. rozdziałów w monografiach, 134. artykułów i 11. referatów.

Mgr inż. Jerzy JANIKOWSKI jest absolwentem Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (1991). Pracę w energetyce rozpoczął w Elektrowni Jaworzno III, gdzie zajmował się systemami sterowania w Wydziale zabezpieczeń i Pomiarów Elektrycznych, następnie w Południowym Koncernie Energetycznym był odpowiedzialny za sprawy europejskie. Od 2008 r. w Tauron Polska Energia SA, gdzie pełni rolę Szefa Biura ds. Regulacji i Współpracy Międzynarodowej. Od 2002 r. członek Eurelectric – organizacji unijnego sektora energetycznego opiniującej projekty regulacji europejskich. Członek Polskiego Komitetu Energii Elektrycznej, członek VGB, członek ENEF. Współpracuje z Krajową Izbą Gospodarczą. Uczestniczy w pracach KIC InnoEnergy dotyczących rozwijania nowych technologii w sektorze energetycznym. Jest autorem i współautorem ponad 120. artykułów oraz kilkunastu referatów, w tym wygłaszanych także na konferencjach międzynarodowych.

Carbon capture, towards comprehensive knowledge – our common objective

Adam TATARCZUK, Marek ŚCIAŻKO, Marcin STEC – Institute for Chemical Processing of Coal (ICHPW), Zabrze; Stanisław TOKARSKI – TAURON Wytwarzanie SA, Katowice; Jerzy JANIKOWSKI – TAURON Polska Energia SA, Katowice, Poland

Please cite as: CHEMIK 2013, 67, 10, 897–902

Introduction

The reduction of carbon dioxide emissions within the energy industry is one of the objectives to be sought under the energy-climate package adopted by the European Parliament in December 2008 [1, 2]. One of the most promising methods of emission reduction is carbon dioxide capture by absorption in amine aqueous solutions [3]. The technological difficulties in developing the process of the capture of CO₂ from the flue gases of coal-fuelled boilers are due to the size of the stream of low partial pressure carbon dioxide-containing gas with a high content of nitrogen. In order to meet the requirements, the carbon dioxide absorbing solution must show a high rate of absorption and high CO₂ sorption capacity. In addition, it should have a minimal regeneration heat – to minimize the energy demand required for the process.

The most popular solutions used for the chemical absorption of carbon dioxide contain monoethylamine (MEA), diethylamine (DEA) and N-methyldiethanolamine (MDEA). In recent years, the subject of investigation have also been various amine mixtures (e.g., the solutions of N-methyldiethanolamine with piperazine), in which an activation mechanism improves the absorption properties of the solution [3].

Towards comprehensive knowledge

Our common objective is to gain knowledge and experience with respect to improving the reduction of CO₂ emissions in Poland. It is currently being sought by the TAURON Group and the Institute for Chemical Processing of Coal. This activity is executed as part of the Strategic Research Programme – „Advanced technologies of energy acquisition: Development of high performance technology of “zero-emission” coal units integrated with CO₂ reuptake from flue gases.”, coordinated by the Silesian University of Technology. [4].



Fig. 1. Carbon Capture process scale up. Plants used during research: laboratory – 5 m³/h (upper left), research plant – 20–100 m³/h (upper right), pilot plant 200 m³/h (bottom)

An important step for the energy industry in the development of low-emission coal units was the launch on April 25th, 2013, of the first Polish Pilot Plant for the amine capture of CO₂ from the flue gases of the commercial coal unit in Laziska Power Plant- TAURON Wytwarzanie SA. This event was preceded by vast preparations, predominantly the tests commenced in 2010 whose goal was the development of new sorbents as well as the investigation of the process of CO₂ capture at a laboratory scale. A year later, the design works on a fixed plant for CO₂ capture from gaseous mixtures at a semi-technological scale were completed (20–100 m³/h) (Fig. 1). The plant was constructed at the Institute for Chemical Processing of Coal as part of the project of the Centre for Clean Carbon Technologies [5]. The upshot were the first tests of CO₂ capture from flue gases in December, 2012 [6].

The design and exploitation experience gained during the research performed at different process scales facilitated the construction, start-up and commissioning of the Mobile Pilot Plant in June this year.

Pilot Plant description

The Mobile Pilot Plant for the amine capture of CO₂ from flue gases (Fig. 2), has been designed for on-going investigation and has been adapted for various technological objects. The Plant comprises three containers: technological, storage and supervision containers, with dimensions of typical containers, thereby greatly facilitating shipment and installation.



Fig. 2. Pilot plant during night research campaign in Laziska Power Plant

Incorporated inside the technological container are all the devices and technological equipment required for the process of deep desulfurization and removal of CO₂ from flue gases. The main apparatuses are two absorption columns and one solution regeneration column. Their height reaches 15 m. Owing to modular structure, the columns may be readily disassembled for shipment. Other devices do not require dismantling and are permanently incorporated inside the technological container.

The operator work stations, as well as portable analytic laboratory, are located in the supervision container.

A high degree of automation, translating into remote control function and result analysis, extensive measurement system and the possibility to readily arrange different technological variations of the process, contributes to the Pilot Plant's eligibility for the investigation of the capture of CO₂ within an industrial regime. The plant has been designed for application in coal power plants. However, its modular structure, flexible technological array and ease of transportation open the possibility of its implementation in other locations where CO₂ is to be captured from flue gases.

Process description

The Pilot Plant comprises two units: one for desulfurization and another for CO₂ removal, located inside the technological container of the plant.

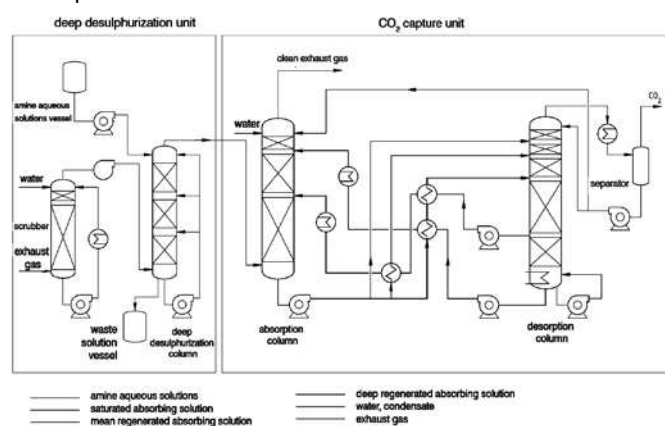


Fig. 3. Mobile Pilot Plant flow diagram [7]

In the desulfurization unit, flue gases undergo deep desulfurization to the SO₂ content at the level of 10 mg/m³_n in order to limit the formation of persistent, non-regenerable amine salts in the CO₂ removal unit. The main devices of the desulfurization unit are Venturi scrubber that serves to cool the flue gases and collect dust; a blower compressing flue gases to the pressure of approx. 35–40 kPa and an absorption column – for the removal of sulphur dioxide. Sulphure dioxide levels may also be lowered in an adsorber containing an active bed, should the deep desulfurization process prove ineffective or fail. The entire desulfurization unit is integrated with the existing Power Plant Flue Gas Desulfurization System.

The stream of desulfurized flue gases having volume flow of approx. 208 m³_n/h is directed to the unit for CO₂ removal (Fig. 3). CO₂ capture occurs inside the absorption column which is packed, operating at the pressure of up to 149 kPa and at 35–60°C. The flue gases comes in contact with counter flowing amine solution and the resulting chemical reactions allow for the CO₂ present in the flue gases to be bound by the solution.

The absorption column is fed with two solution streams: partially regenerated (CO₂ loading α = approx. 0.35 moles CO₂/mole of MEA) for the initial capture of CO₂ from flue gases and the deeply regenerated (CO₂ loading α = approx. 0.2 moles CO₂/mole of MEA) for the removal of the remaining CO₂ content. The partially regenerated solution is streamed to the central part of the absorption column, while the deeply regenerated solution is fed at the top.

The rich amine solution (CO₂ loading α = approx. 0.5 moles CO₂/mole of MEA) is also separated and conveyed by three routes to the desorption column. Rich solution separation allows to optimise the plant's heat circulation and heat recovery from the hot stream of regenerated solution.

The desorption column is also packed. In-built in the desorption column is an electric heating element (max. power of 63 kW), allowing to heat up the solution [8].

The rich solution in the desorption column comes into contact with the vapours of the boiling regenerated solution that is at the bottom of the column. As a result, CO₂ desorption occurs and the solution is regenerated.

In order to improve the energy use and optimise heat exchange in the regenerator, a heat recovery prototype system was implemented.

A minor amount of condensate is fed at the top of absorption and desorption columns to cool the gases leaving the columns, thereby reducing the losses of water and amines from the solution.

The suggested technological solution for the plant with separate streams shows a high performance with respect to CO₂ removal and low energy demand. However, the solution flow rate must be slightly increased as opposed to the classic solution [9].

Investigation of CO₂ removal from the Łaziska Power Plant flue gas

During a cycle of tests launched mid-2013 in the Łaziska Power Plant with the implementation of the Pilot Plant for the removal of CO₂ from the flue gases emitted from the dust collection unit, monoethanolamine solution is used. This is probably the most common solution applied in the discussed technology. Our target in the upcoming test campaigns is to replace the currently used solution with solutions based on amines with a steric hindrance or heterocyclic amines that are to be developed during the investigations carried out at the Institute.

The said solutions evince a high rate of CO₂ absorption reaction and low heat required for solution regeneration. Hence, they are a promising alternative to the amines used so far.

The findings of the Pilot Plant tests confirm the efficiency of the method applied as well as the structural solutions implemented in the plant. By virtue of the reconfiguration of solution streams, the stream separation performance could be examined. It was demonstrated that this solution allows for a very high performance with respect to carbon dioxide capture, considerably exceeding 90%. Preliminary conclusions drawn from the tests with MEA solution have been provided in Table I.

Table I
List of Pilot Plant performance parameters operation during the selected research campaigns on 20% MEA solution

Research campaign description	CO ₂ capture efficiency, %	Energy for desorption, MJ/kg _{CO₂}
System with separate streams and heat recovery in the column for desorption	90.3	5.23
System with separate streams and heat recovery in the column for desorption	82.1	5.35
System with separate streams and heat recovery, regeneration pressure increased to 40 kPa	96.8	4.61
Other parameters of the research conducted		
Gas flow rate	200 m ³ _n /h	
Solution flow rate	1600 l/h	
Gas investigated	Flue gas	
Content of CO ₂	approx. 10% of volume	
Heating power at desorption	up to 57.6 kW	
Absorbent	Acqueous solution of MEA	

Conclusions

The currently conducted programme addresses the streamlining of the technological process by means of modified solutions developed by the Institute for Chemical Processing of Coal (IChPW). The involvement of the business partners, namely, TAURON Polska Energia SA and TAURON Wytwarzanie SA, in scientific activities, i.e., by means of funding the Pilot Plant as well as providing access to power plant facilities for the purpose of the performance of trials in genuine conditions of the operation of commercial coal units, shall allow to obtain both knowledge and experience with respect to CO₂ capture from the flue gases of coal-fuelled boilers by chemical absorption. The issue at hand shall gain particular importance in the future when the capture of CO₂ from flue gases becomes indispensable and the energy industry faces the choice of the technology of CO₂ emission reduction.

Acknowledgements

The findings presented in the article are the effect of research co-funded by the National Centre for Research and Development as part of the contract SP/E/1/67484/10 – Strategic Research Programme – Advanced technologies of energy acquisition: Development of high performance technology of “zero-emission” coal units integrated with CO₂ reuptake from flue gases.

Literature

1. Dreszer K., Więclaw-Solny L.: *Obniżenie emisji CO₂ z sektora energetycznego – możliwe ścieżki wyboru technologii*. Polityka Energetyczna 2008, **11**, 117–129.
2. Więclaw-Solny L., Tatarczuk A., Krótki A., Wilk A.: *Przegląd technologii ograniczenia emisji CO₂ z sektora energetycznego*. Karbo 2012, **57**, 62–67.
3. Więclaw-Solny L., Ściażko M., Tatarczuk A., Krótki A., Wilk A.: *Czy CCS może być tańszy? – W poszukiwaniu nowych sorbentów CO₂*. Polityka Energetyczna 2011, **14**, 441–453.
4. Chmielniak T., Łukowicz H.: *Wysoko sprawne „zeroemisyjne” bloki węglowe zintegrowane z wychwytem CO₂ ze spalin*. Polityka Energetyczna 2012, **15**, 91–106.
5. Lajnert R., Latkowska B.: *Potencjał badawczy instalacji technologicznych Centrum Czystych Technologii Węglowych (CCTW) w Zabrze*. Przemysł Chemiczny 2013, **92**, 215–221.
6. Tatarczuk A., Ściażko M., Stec M., Tokarski S.: *Zastosowanie absorpcji aminowej do usuwania CO₂ ze spalin w skali pilotowej*. Chemik 2013, **67**, 407–414.
7. Tatarczuk A., Krótki A., Stec M., Gruszka S., Dziadula S., Zdeb J., Janikowski J.: *Preparation for carbon capture pilot tests*. Power Engineering and Environment, Ostravice 2012, VŠB-TU Ostrava, 161–163.
8. Szczypiński T., Tatarczuk A., Grudnik K.: *Optymalizacja procesu aminowego wychwytu CO₂ ze spalin poprzez zmianę konfiguracji układu technologicznego*. Przemysł Chemiczny 2013, **92**, 106–110.
9. Polasek J.C., Bullin J.A., Donnelly S.T.: *How to Reduce Costs in Amine Sweetening Units*. Chemical Engineering Progress 1983, **79**, 63–67.

Adam TATARCZUK – M.Sc., graduated from the Faculty of Chemistry, Silesian University of Technology in Gliwice (2002). He is a senior expert at the Centre for Process Research, Institute for Chemical Processing of Coal (IChPW). Specialization – chemical and proces engineering.

e-mail: tatarczuk@ichpw.zabrze.pl, phone: +48 661 166 474

Marek ŚCIAŻKO – (Sc.D., Eng.) Assoc.Prof., graduated from the Silesian University of Technology (1975). In 1980 he completed a scientific internship at the Pittsburgh Energy Technology Center in USA where he investigated the models of carbon pressure gassing, concluded in a doctoral thesis. In 1993, he was granted a fellowship at the University of North Dakota, USA, in the management of investment projects in energy industry. In the years 1987–1993 he headed a project and acted as the deputy director of the Polish-German Research Centre, oriented towards the development of carbon pyrolysis technology. He acted as the director of the Institute for Chemical Processing of Coal (IChPW) in the period 1991–2013. He is a member of the Counselling Group for Energy – DG RTD UE, Committee for Energy and Chemical Engineering of the Polish Academy of Sciences, member of the Supervisory Council of the TAURON energy group and a professor at the AGH University of Science and Technology in Cracow (AGH). He has authored 120 articles, 29 monographs and 55 patents.

e-mail: msc@ichpw.zabrze.pl, phone: +48 32 271 51 52

Marcin STEC – M.Sc., graduated from the Faculty of Automatic Control, Electronics and Computer Science, Silesian University of Technology in Gliwice (2003). He works at the Centre for Process Research, Institute for Chemical Processing of Coal (IChPW). Specialization – computerized control systems.

Stanisław TOKARSKI – M.Sc., graduated from the Faculty of Electrotechnics, Automatic Processes and Electronics, AGH University of Science and Technology in Cracow (1983). At present, he is the Director of the Management Board of TAURON Wytwarzanie SA. He worked at TAURON Polska Energia SA, as a Deputy Director for Strategy and Development. He started his professional career at the power plant PKE Elektrownia Jaworzno III. Since 1998 as a member of an International organisation UNIPED, and subsequently – Eurelectric in Brussels, preparing opinions for the European Commission concerning the basic legal acts (directives) regulating the energy and fuel sector, he has been part of the works of many European institutions. He acts for numerous organisations such as Eurelectric and the Polish Normalisation Committee as well as the Polish Committee of the Global Council of Energy. He is a member of the Management Council of the Polish Committee for Electric Energy and the Council of Directors of VGB. He is an active member of KIC InnoEnergy, an International company performing research and development projects. He has authored 11 monograph chapters, 134 articles and 11 presentations.

Jerzy JANIKOWSKI – M.Sc., graduated from the Faculty of Electrotechnics, Automatic Processes and Electronics, AGH University of Science and Technology in Cracow (1991). He launched his career in energy industry in the power plant Jaworzno III where he was in charge of control systems at the Department of Protective Measures and Electric Measurements and went on to work at the Southern Energy Concern Company where he was responsible for European Union issues. Since 2008, he has been employed at TAURON Polska Energia SA, acting as the Chief Executive Officer of the Office of International Regulation and Cooperation. Since 2002, he has been a member of Eurelectric – a body of the EU energy sector issuing opinions regarding the drafts of European regulations. Member of the Polish Committee for Electric Energy, member of VGB, member of ENEF. He cooperates with the National Chamber of Economy. He participates in the works of KIC InnoEnergy concerning the development of new technologies in the energy sector. He is the author and co-author of over 120 scientific articles and a dozen of presentation, including international congress presentations.