

dr hab. inż. Halina Pawlak-Kruczek, prof. PWR., kierownik Zakładu Kotłów, Spalania i Procesów Energetycznych,  
dr hab. inż. Zbigniew Plutecki, prof. PO, Katedra Innowacyjnych Procesów Technologicznych,  
Michał Czerep, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska

# Integracja suszarki fluidalno-fontannowej w układ bloku energetycznego opalanego węglem brunatnym

Problem poprawy sprawności bloków energetycznych opalanych węglem brunatnym stanowi aktualny problem w energetyce polskiej i światowej. Zastosowanie instalacji suszącej węgiel w układzie bloku z wykorzystaniem odpadowych źródeł ciepła może zwiększyć sprawność produkcji energii jednocześnie powoduje obniżenie emisji CO<sub>2</sub>. W pracy przedstawiono przykłady suszarni komercyjnych współpracujących z blokami energetycznymi oraz kilka innych rozwiązań suszarek będących w fazie testowej lub wdrożeniowej. Zidentyfikowano źródła ciepła z elektrowni na przykładzie rzeczywistego bloku ~200MW na potrzeby przyłączenia pilotowej suszarki fluidalno-fontannowej oraz zaproponowano kilka rozwiązań doprowadzenia ciepła do suszarki i integracji suszarki z blokiem.

Głównym kryterium dla wyboru i kolejno zastosowania technologii suszenia węgla brunatnego jest ilość zaoszczędzonego węgla wynikająca ze wzrostu sprawności bloku i samego kotła na skutek spalania podsuszonego węgla. Ilość zaoszczędzonego węgla bezpośrednio przekłada się na ograniczenie emisji CO<sub>2</sub>.

Na efektywność bloku z układem suszenia decydujący wpływ ma zapotrzebowanie na ciepło do suszenia oraz wzrost potrzeb własnych. Przy czym

potrzeby własne bloku przy spalaniu podsuszonego węgla z reguły maleją [1], nie uwzględniając potrzeb suszarki. Jednak sumaryczne zużycie energii elektrycznej na potrzeby własne może być utrzymane na istniejącym poziomie, zmaleć lub nieco wzrosnąć w zależności od konfiguracji i lokalizacji suszarni.

Decydującymi parametrami o opłacalności inwestycji suszarni węgla brunatnego są koszty inwestycyjne oraz cena uprawnień do emisji CO<sub>2</sub>.

## ■ Technologie komercyjne zastosowane w elektrowniach

- WTA - suszarka fluidalna opracowana przez RWE Rheinbraun wykorzystuje do fluidyzacji suszonego węgla sprężone opary oraz parę technologiczną z upustów średnio/niskopięznych 3.6 bar - max w wewnętrznych wymiennikach suszarki. Wydajność 210 t/h surowego węgla suszonego

do ok. 12% końcowej wilgoci [2] [3] - zastosowanie Niederaussem,

- DryFining - suszarka fluidalna atmosferyczna z wykorzystaniem do fluidyzacji powietrza w zakresie temperatur 50-135°C i w wymiennikach wewnętrznych wody o temperaturze identycznej z temperaturą czynnika gazowego. Zrealizowana inwestycja w Creek Power Station - wydajność - 4x125 t/h węgla surowego [4]. Redukcja emisji zanieczyszczeń gazowych do atmosfery, w wyniku zastosowania suszonego węgla do opalania kotłów stosując suszarkę DryFining w Coal Creek Station z powodu dwustopniowej jej konstrukcji zmniejsza się dla SO<sub>2</sub> o 40%, Hg o 40%, NO<sub>x</sub> o 20% oraz CO<sub>2</sub> o 4% [4]. Pozostałe suszarki redukują jedynie emisję CO<sub>2</sub> proporcjonalnie do zmniejszonego strumienia węgla brunatnego wprowadzanego do kotła.

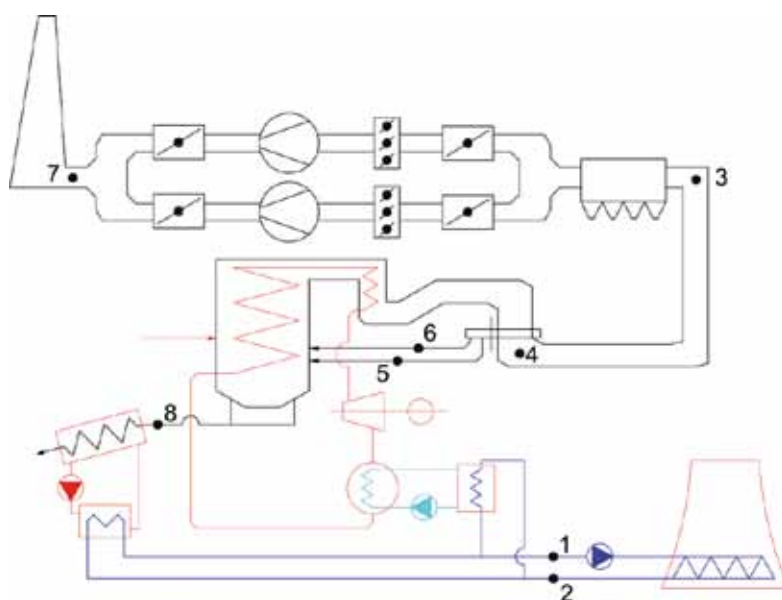
### ■ Technologie w skali pilotowo-wdrożeniowej

- DDWT - suszarka ciśnieniowa fluidalna, opracowana we współpracy BTU Cottbus i Vatenfall, realizowana wydajność - 25 t/h i opracowana koncepcja techniczna wciąż bez wdrożenia na ok. 100 t/h. [5]
- Suszarki obrotowe rurowo-bębnowe - grzane przeponowo parą lub bezpośrednio zwykle spaliniami - o wydajnościach od 20 t/h (Niemcy) do 100 t/h z możliwością zwiększenia wydajności kosztem większych gabarytów suszarki. Przykładowym wykonawcą jest firma PaulWurth - wyd. 20 t/h suszonego węgla, czynniki grzewcze: para 170°C / 4 bary o ilości 38 t/h. Technologia suszarek obrotowych jest to relatywnie prosta i tania konstrukcja.
- Technologie mechaniczno-termiczne - stosowane z dobrym rezultatem do produkcji brykietów - mechaniczne, albo mecha-

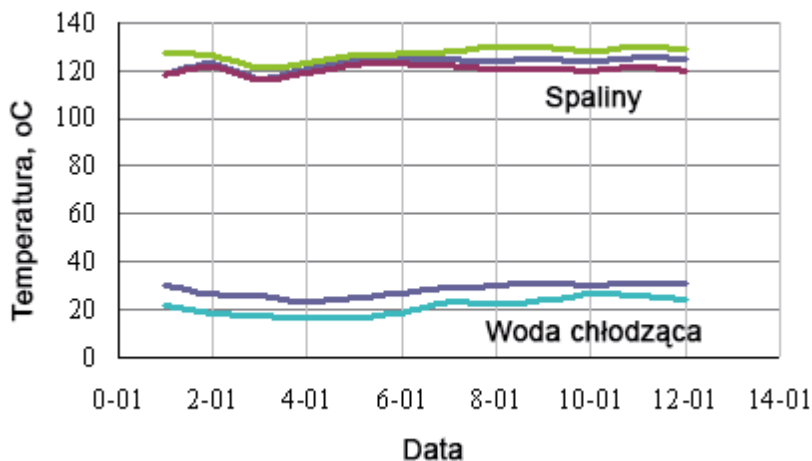
niczno-termiczne, które istnieją w skali pilotowej lub koncepcji technicznej opracowanej przez ALSTOM w zastosowaniu do węgla brunatnego dla elektrowni Hazelwood.

### ■ Możliwości pozyskania źródeł ciepła dla technologii suszenia

Ciepło do procesu suszenia w zależności od stosowanej technologii mu-



Rys. 1. Schemat bloku z naniesionymi punktami ciepła odpadowego do ewentualnego wykorzystania  
1, 2 - woda chłodząca z kondensatora i chłodnic popiołu do chłodni kominowej  
3, 4, 7 - spaliny wylotowe za kotłem  
5, 6 - powietrza nadmiarowe z za obrotowego podgrzewacza powietrza (LUVO)  
8 - popiół denny



Rys. 2. Przykładowe temperatury spalin i wody chłodzącej możliwe do wykorzystania jako źródło ciepła do instalacji suszącej

si charakteryzować się odpowiednimi parametrami. Przykładowo źródłem energii dla procesu suszenia w wybranych technologiach jest :

#### WTA

- a) para technologiczna ( $t = 141^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 3,6 \text{ bar}$ ),
- b) energia elektryczna (3x400 V).

#### DRY FINING

- a) para technologiczna ( $t = < 140^{\circ}\text{C}$ ),
- b) gorąca woda ( $t = 70\div 150^{\circ}\text{C}$ ),
- c) ciepło odpadowe o temperaturze wyższej niż  $70^{\circ}\text{C}$  (spaliny, powietrze, woda z obiegów chłodniczych, itp.),
- d) energia elektryczna (3x400 V).

Potencjalne miejsca poboru źródeł energii z obiegu siłowni parowej można podzielić na źródła wewnętrzne związane z pracą danego bloku lub zewnętrzne związane z gospodarką energetyczną całej elektrowni. Można również wyróżnić całkowicie zewnętrzne źródła ciepła bazujące na niezależnych dedykowanych źródłach energii.

W obszarze typowej elektrowni na węgiel brunatny można wyróżnić następujące źródła ciepła dla rozpatrywanych technologii suszenia:

- a) para technologiczna
  - upust z turbiny SP para może wymagać redukcji ciśnienia i schłodzenia, do pożądanych parametrów,
  - upust z turbiny NP;
- b) gorąca woda
  - uzyskana pośrednio w wymiennikach schładzających spaliny, gorące powietrze, itp. przy temperaturze czynnika ogrzewanego na poziomie  $120\text{-}140^{\circ}\text{C}$ ;
- c) ciepło odpadowe
  - spaliny z za obrotowego podgrzewacza powietrza (LUVO),
  - gorące powietrze z za obrotowego podgrzewacza powietrza (LUVO),
  - z obiegów chłodzących urządzenia i maszyny bloku;
- d) energia elektryczna - główna rozdzielnia zasilająca urządzenia bloku. Potencjalne miejsca poboru energii z poza obiegu bloku to:

- a) para technologiczna
  - z szyny międzyblokowej przykładowe parametry ( $t = 280,0^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 12,0 \text{ bar}$ ),
  - z upustów ciepłowniczych wykonanych na wybranych blokach. Dostępność ciepła z tego źródła jest zmienna i zależy od pory roku i temperatury zewnętrznej;
- b) gorąca woda
  - uzyskana pośrednio w wymiennikach ciepłowniczych. Dostępność ciepła z tego źródła zmienia się w zależności od pory roku i temperatury zewnętrznej,
  - uzyskana pośrednio w wymiennikach woda/para z pary technologicznej pochodzącej z szyny międzyblokowej.

Oprócz ww. źródeł możliwe jest pozyskanie ciepła z innych mniej oczywistych źródeł ciepła. Z analizy dostępnych źródeł ciepła w przykładowej elektrowni wynika, że istnieje możliwość pozyskania następujących strumieni ciepła odpadowego:

- instalacja chłodząca (chłodnia) 175.0MW,  $28,4^{\circ}\text{C}/21,5^{\circ}\text{C}$
- gazy odlotowe 7.0 MW,  $120^{\circ}\text{C}/55^{\circ}\text{C}$
- woda odpadowa 2.6 MW,  $90^{\circ}\text{C}/55^{\circ}\text{C}$
- popioły lotne za elektrofiltrem 0.52 MW,  $80^{\circ}\text{C}/55^{\circ}\text{C}$
- popioły denne 0.70 MW,  $550^{\circ}\text{C}/55^{\circ}\text{C}$
- popioły denne 0.21 MW,  $200^{\circ}\text{C}/55^{\circ}\text{C}$

Biorąc pod uwagę wielkość właściwości ww. źródeł ciepła, pod względem technicznych możliwości praktycznego ich wykorzystania w procesie suszenia węgla brunatnego, w pierwszej kolejności wskazuje się wykorzystanie ciepła z instalacji chłodzącej (chłodni kominowej).

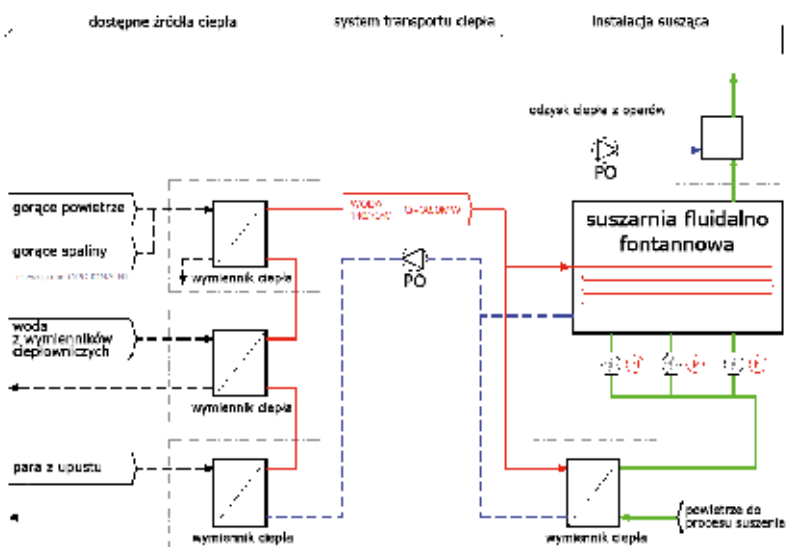
### ■ Integracja suszarki fluidalno-fontannowej z obiegiem siłowni parowej

Zdaniem autorów implementacja technologii suszenia dla potrzeb spalania w istniejących blokach siłowni parowych powinna bazować raczej na wykorzystaniu wewnętrznych źródeł ciepła danego bloku z możliwością dodatkowego wykorzystania tzw. źródeł odpadowych lub odnawialnych. Pozwala to zachować integralność funkcjonalną i technologiczną danego bloku. Jest to jednak możliwe, gdy wielkość spalane-go strumienia podsuszonego węgla nie będzie wpływać na zmiany konstrukcyjne kotłów oraz pozostałych urządzeń pomocniczych danego bloku. Gdy zdefiniuje się maksymalny dopuszczalny udział podsuszonego węgla w procesie spalania przy zachowaniu niezmiennych powierzchni grzewczej kotłów, możliwa jest eksploatacja danego kotła zarówno bez, jak i ze współspalaniem. Pozwala to ograniczyć ryzyko związane z odstawianiem bloku w przypadku braku zachowania ciągłości dostawy suszonego węgla.

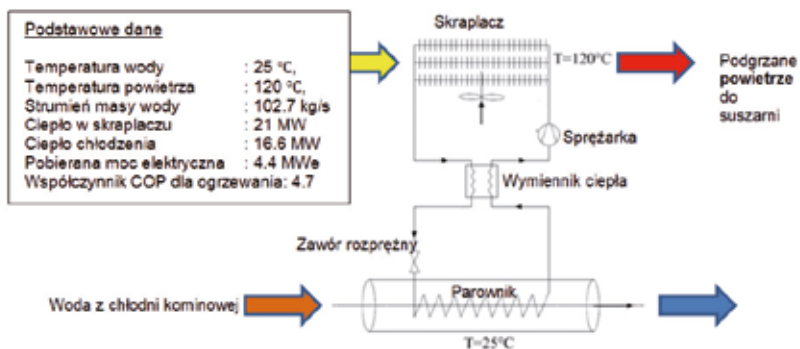
Na rys. 3-8 przedstawiono własne przykłady integracji suszarek w układach bloku energetycznego z wykorzystaniem ciepła odpadowego.

Technicznym rozwiązaniem wykorzystującym ciepło odpadowe obiegu chłodni kominowej jest zastosowanie klasycznej pompy sprężarkowej. Istotę rozwiązania dla przykładowych parametrów pokazano na rys. 4.

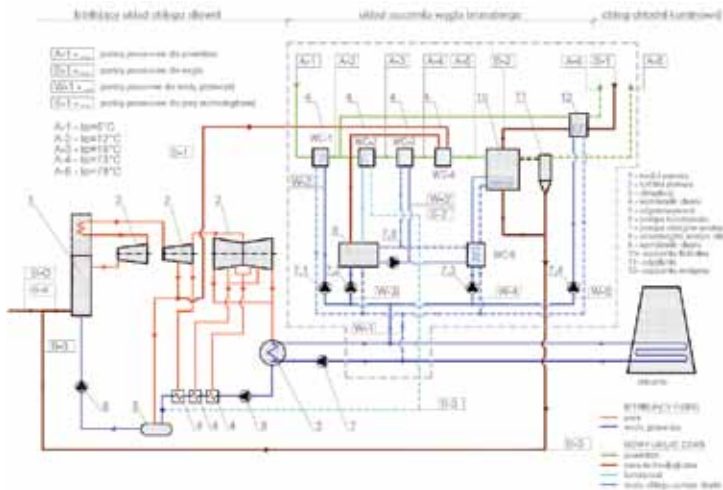
W innym układzie do podniesienia temperatury czynnika pośredniego w celu wykorzystania ciepła wody chłodzącej można zastosować pompę absorpcyjną. Źródłem energii niezbędnym dla pracy pompy absorpcyjnej jest para technologiczna nasycona o temperaturze około  $180^{\circ}\text{C}$ . W takim układzie występuje bardzo małe zapotrzebowanie na energię elektryczną. Przykład, opracowanej przez autorów pracy, integracji suszarki węgla brunatnego z obiegiem siłowni parowej z wykorzystaniem absorpcyjnej pompy ciepła przedstawiono na rys. 5. Prezentowana konfiguracja zakłada wielostopniowy podgrzew powietrza i wody grzewczej do procesu suszenia zapewniając temperatu-



Rys. 3. Schemat zaopatrzenia suszarki w ciepło - wariant z odzyskiem ciepła z oparów



Rys. 4. Ideowy schemat wykorzystania ciepła odpadowego obiegu chłodni dla bloku o mocy 260 MWe



Rys. 5. Integracja układu suszenia z blokiem siłowni parowej i wykorzystaniem ciepła odpadowego obiegu chłodni - absorpcyjna pompa ciepła

rę do procesu suszenia na poziomie 90-120°C.

Na rys. 7 i rys. 8 zaprezentowano przykłady lokalizacji suszarki na terenie elektrowni. Na przykładzie pierwszym suszarka umiejscowiona jest w pobliżu instalacji nawęglania, w drugiej wersji suszarka umiejscowiona jest nad elektrofiltrami. Takie rozwiązania ograniczają koszty inwestycyjne związane z dodatkowymi dedykowanymi instalacjami transportu węgla na terenie elektrowni. Więcej przykładów zabudowy suszarki w obrębie elektrowni zamieszczono w raporcie [6].

### ■ Bilans energetyczny spalania suszonego węgla i odzysku ciepła kondensacji pary wodnej ze spalin

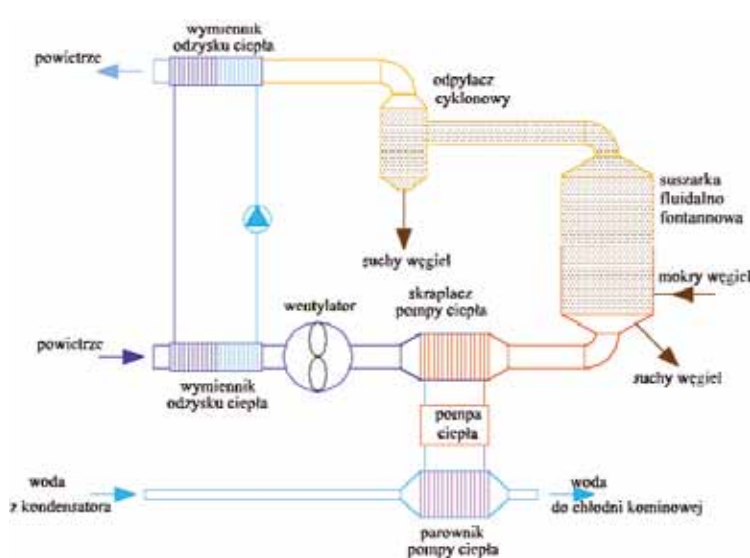
Analizę energetyczną dla określenia netto odzysku ciepła z kondensacji pary wodnej ze spalin biorąc pod uwagę straty ciepła na odparowanie wilgoci z węgla w komorze paleniskowej kotła, przeprowadzono dla różnych wilgotności węgla doprowadzanego do kotła.

Przykładowy bilans energetyczny spalania węgla brunatnego o różnych wilgotnościach i odzysku ciepła ze skraplania pary ze spalin przeprowadzono dla wybranego węgla o kaloryczności 7470 kJ/kg, początkowej zawartości wilgoci  $W = 54\%$  i zawartości popiołu 21,6% (węgiel brunatny bełchatów) i mocy cieplnej kotła 300 MWth.

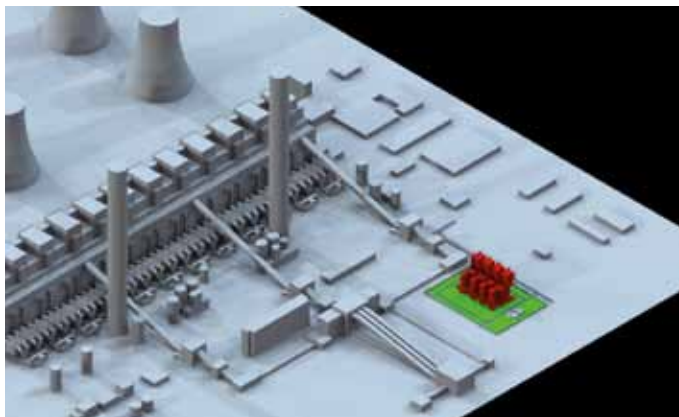
Obliczono odzysk ciepła netto  $\Delta Q$  jako różnicę między ilością ciepła potrzebnego do odparowania wilgoci z węgla w palenisku ( $Q_-$ ) a odzyskiem ciepła ( $Q_+$ ) z kondensacji pary ze spalin wylotowych z kotła. Ideowy schemat przyjęty do bilansu pokazano na rys. 9

Z analizy wyników obliczeń wynika, że odzysk ciepła netto zwiększa się wraz ze zmniejszającą się ilością wilgoci w spalonym węglu brunatnym. Uzyskany z obliczeń dla przyjętych założeń odzysk netto energii cieplnej uzyskanej w wyniku kondensacji pary wodnej zawartej w spalinach wylotowych pokazano na rys. 10.

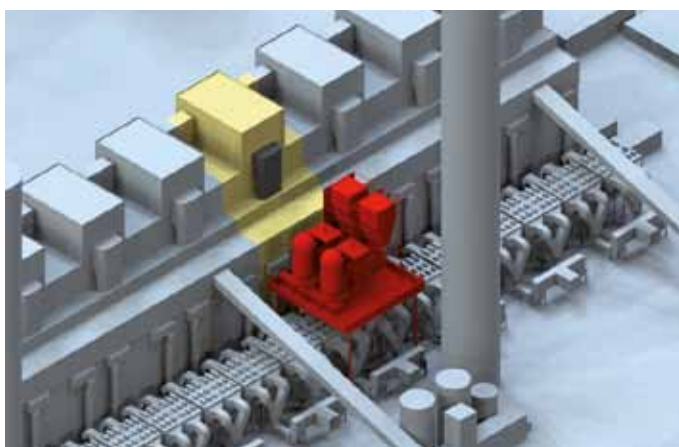




Rys. 6. Koncept wykorzystania ciepła wody chłodzącej



Rys. 7. Przykład zabudowy suszarki na terenie elektrowni [6]



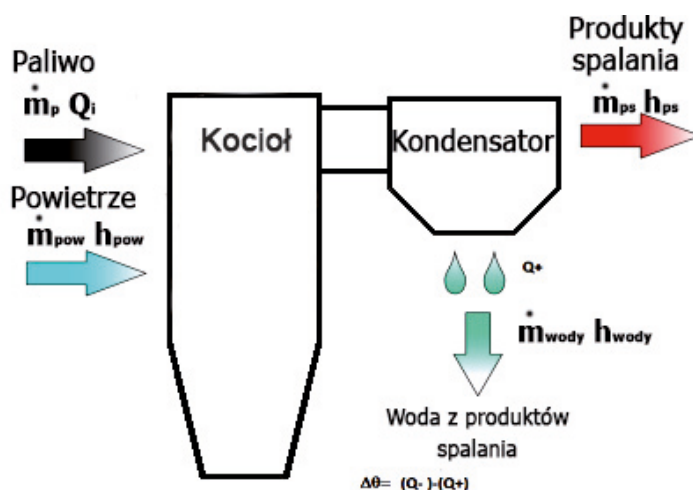
Rys. 8. Przykład zabudowy suszarki nad instalacją elektrofiltrów [6]

Spalanie suszonego węgla brunatnego powoduje rosnący netto efekt odzysku ciepła z kondensacji pary zawartej w spalinach oraz zmniejszenie zużycia paliwa, straty kominowej stąd zwiększenie sprawności kotła, jak i bloku. Wielkość tego efektu dla założonej mocy bloku 372 MW<sub>th</sub>, tj. 100 MWe pokazano odpowiednio w pracy [7].

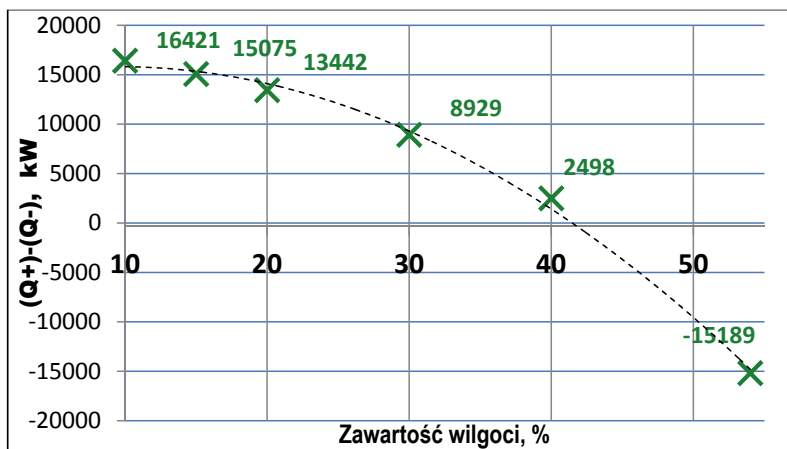
### Wnioski

Układy suszenia takie jak WTA, czy DryFining bazujące na suszeniu wysokotemperaturowym, gdzie ciepło do suszarni w znacznym stopniu pozyskiwane jest z upustów SP, czy NP niesie ze sobą duże koszty eksploatacyjne i w bilansie energetycznym pogarsza w efekcie sprawność obiegu całej elektrowni. Alternatywą dla tych układów może być układ do wstępnego suszenia węgla brunatnego, gdzie końcowa osiągnięta wilgotność węgla będzie na poziomie 20-25%, bazujący na czynniku suszącym o temperaturze ok. 70-90°C, dla którego główne strumienie ciepła mogą pochodzić ze źródeł ciepła odpadowego elektrowni. Ciepło pozyskane z upustów może stanowić jedynie uzupełnienie i zabezpieczenie doprowadzenia ciepła do suszarni. Jednakże opłacalność i ekonomiczność suszenia węgla brunatnego w głównej mierze zależy będzie od ceny emisji CO<sub>2</sub>. Głównymi zaletami spalania podsuszonego węgla brunatnego jest fakt braku konieczności dużej modernizacji kotła oraz zmniejszenie emisji proporcjonalnie do zmniejszenia strumienia paliwa. Z przeprowadzonych analiz wynika że im suchszy węgiel jest spalany tym odzysk ciepła ze skroplin jest większy, co daje dodatkowy pozytywny efekt w bilansie ekonomicznym. Należy podkreślić, że dla bloków z kotłami na parametry nadkrytyczne konieczne jest zastosowanie wstępnie suszonego węgla brunatnego.

□



Rys. 9. Schemat bilansowy do obliczeń odzysku ciepła ze skroplin.  $m$  - strumień masowy powietrza i wody z kondensacji pary,  $h_{pow}$  - entalpia powietrza,  $m_{wb}$  - strumień masowy węgla brunatnego,  $m_{cp}$ ,  $h_{cp}$  - strumień masowy i entalpia spalin



Rys. 10. Odzysk ciepła netto dla spalania węgla brunatnego o różnej początkowej zawartości wilgoci [7]

### Bibliografia

[1] „Techno-economics of modern pre-drying technologies for lignite-fired power plants,” IEA CLEAN COAL CENTRE, August 2014.

[2] H. Klutz, C. Moser i D. Block, „Development status of WTA fluidized-bed drying for lignite at RWE Power AG”.

[3] Materiały firmy RWE POWER, „WTA TECHNOLOGY A modern process for treating and drying lignite”.

[4] Materiały firmy Great River Energy, „DryFining facet sheet, “DryFining Fuel Enhancement Process”, www.greatriverenergy.com”.

[5] T. W. Asegehegn, S. Lechner, M. Merzsch, M. Schreiber, R. Silbermann, H. J. Krautz i O. Höhne, „Das DDWT-Verfahren als Schlüsseltechnologie zukünftiger Braunkohlekraftwerke: Druckaufgeladene Dampfwirbelschicht-Trocknung von der Versuchsanlage zum Kraftwerk = The PSFBD process: a key technology for future lignite-fired power plants - Pressurised Stea”.

[6] H. Łukowicz, T. Chmielniak, A. Kochaniewicz i M. Mroncz, „Opracowanie koncepcji i możliwości współspalania surowego i podsuszonego węgla brunatnego w wybranych elektrowniach GK PGE S.A.,” Gliwice, 2014.

[7] H. Pawlak Kruczek, „Spalanie węgla surowego i wstępnie wysuszonego w kotłach pyłowych,” w Suszenie węgla niskogatunkowego, Wrocław, nowa Energia, 2014, pp. 175-180.

Przedstawione w artykule wyniki zostały uzyskane w ramach prowadzenia badań w projekcie:  
**WSTĘPNE SUSZENIE WĘGLA BRUNATNEGO DLA CELÓW ENERGETYCZNYCH**

Nr Projektu: POIG.01.03.01-00-040/08

Projekt jest współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego i budżetu Państwa.