



Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Andrzeja Kochaniewicza :

Wykorzystanie ciepła odpadowego ze spalin kotłów bloków węglowych w celu zwiększenia sprawności wytwarzania energii elektrycznej.

1. Przedmiot i zakres rozprawy

Recenzowana rozprawa zawiera wyniki badań różnych opcji wykorzystania niskotemperaturowego ciepła spalin dla poprawy efektywności bloku kondensacyjnego. Ponadto dla kilku wybranych struktur technologicznych przedstawiono analizę ekonomiczną. Poszukiwania sposobów(technologii) poprawy sprawności konwersji energii w bloku kondensacyjnym mają istotne znaczenie ekonomiczne i ekologiczne. Wzrost sprawności ma także ważne znaczenie biorąc pod uwagę dekarbonizację technologii energetycznych. Z tego powodu podjęcie badań w rozpatrywanym zakresie jest ważne, zarówno z metodologicznego jak i aplikacyjnego punktu widzenia. Tematyka pracy i stosowane przez Autora metody obejmują analizy termodynamiczne i ekonomiczne i przynależą do dyscypliny *energetyka*. Praca ma znaczenie aplikacyjne, bowiem uzyskane wyniki wskazują na potencjał technologiczny różnych analizowanych w pracy opcji technologicznych służących poprawie sprawności bloku.

Przedstawione w pracy wyniki uzyskano w badaniach ujętych w Zadaniu 1 programu strategicznego *Zaawansowane Technologie Pozyskiwania Energii*. Sformułowanie zadań badawczych przyjętych w rozprawie poprzedzono dyskusją problematyki istniejących koncepcji wykorzystania ciepła odpadowego z uwzględnieniem zakresu ich zastosowań w pracujących blokach. Ta część pracy łącznie z rozdziałem 2 dotyczącym źródeł ciepła niskotemperaturowego stanowi także rozeznanie literaturowe w zakresie rozpatrywanych w pracy zagadnień. W pozostałych rozdziałach pracy przedyskutowano i oceniono następujące sposoby wykorzystania niskotemperaturowego ciepła odpadowego ze spalin kotłów opalanych węglem kamiennym i brunatnym:

- Efektywność wykorzystania ciepła spalin do podgrzania kondensatu(regeneracja niskoprężna i wysokoprężna - rozpatrywano różne opcje wspomaganie wymienników regeneracyjnych);



Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Andrzeja Kochaniewicza :
*Wykorzystanie ciepła odpadowego ze spalin kotłów bloków węglowych w celu zwiększenia
sprawności wytwarzania energii elektrycznej.*

1. Przedmiot i zakres rozprawy

Recenzowana rozprawa zawiera wyniki badań różnych opcji wykorzystania niskotemperaturowego ciepła spalin dla poprawy efektywności bloku kondensacyjnego. Ponadto dla kilku wybranych struktur technologicznych przedstawiono analizę ekonomiczną. Poszukiwania sposobów(technologii) poprawy sprawności konwersji energii w bloku kondensacyjnym mają istotne znaczenie ekonomiczne i ekologiczne. Wzrost sprawności ma także ważne znaczenie biorąc pod uwagę dekarbonizację technologii energetycznych. Z tego powodu podjęcie badań w rozpatrywanym zakresie jest ważne, zarówno z metodologicznego jak i aplikacyjnego punktu widzenia. Tematyka pracy i stosowane przez Autora metody obejmują analizy termodynamiczne i ekonomiczne i przynależą do dyscypliny *energetyka*. Praca ma znaczenie aplikacyjne, bowiem uzyskane wyniki wskazują na potencjał technologiczny różnych analizowanych w pracy opcji technologicznych służących poprawie sprawności bloku.

Przedstawione w pracy wyniki uzyskano w badaniach ujętych w Zadaniu 1 programu strategicznego *Zaawansowane Technologie Pozyskiwania Energii*. Sformułowanie zadań badawczych przyjętych w rozprawie poprzedzono dyskusją problematyki istniejących koncepcji wykorzystania ciepła odpadowego z uwzględnieniem zakresu ich zastosowań w pracujących blokach. Ta część pracy łącznie z rozdziałem 2 dotyczącym źródeł ciepła niskotemperaturowego stanowi także rozeznanie literaturowe w zakresie rozpatrywanych w pracy zagadnień. W pozostałych rozdziałach pracy przedyskutowano i oceniono następujące sposoby wykorzystania niskotemperaturowego ciepła odpadowego ze spalin kotłów opalanych węglem kamiennym i brunatnym:

- Efektywność wykorzystania ciepła spalin do podgrzania kondensatu(regeneracja niskoprężna i wysokoprężna - rozpatrywano różne opcje wspomagania wymienników regeneracyjnych);

- Wykorzystanie niskotemperaturowego ciepła spalin jako górnego źródła dla obiegów z czynnikami niskowrzącymi(w analizie wzięto pod uwagę 10 czynników roboczych);
- Możliwość wykorzystania ciepła odpadowego do podsuszania węgla brunatnego;
- Różne opcje wykorzystania ciepła z chłodzenia sprężarek dwutlenku węgla(w instalacjach z jego separacją ze spalin)

Ważnym założeniem metodologicznym było przeprowadzenie wszystkich obliczeń i porównań dla bloku referencyjnego o ustalonej strukturze technologicznej schematu cieplnego i założonych głównych parametrach czynnika obiegowego. Analizę ekonomiczną przeprowadzono dla trzech struktur technologicznych:

- Bloku referencyjnego
- Bloku referencyjnego wyposażonego w instalacje CCS
- Bloku referencyjnego z CCS i instalacją ORC.

Spis literatury obejmuje 42 pozycje, w tym trzy opracowane przy udziale doktoranta.

2. Ocena rozprawy

Badania podjęte w rozprawie są aktualne i mieszczą się w nurcie badań światowych, podejmowanych w analizowanym obszarze. Nie ulega wątpliwości, że zarówno, biorąc pod uwagę ich oryginalność jak i przyjętą w pracy metodologię badawczą, mogą one stanowić przedmiot pracy doktorskiej. Sformułowane w pracy zadania mają ważne znaczenie aplikacyjne dla optymalizacji struktury technologicznej bloku kondensacyjnego, zarówno bloku bez separacji dwutlenku węgla, jak i dla rozwiązań uwzględniających wychwyty CO_2 . Jej główne znaczenie polega na szczegółowej i systematycznej analizie wielu opcji wykorzystania niskotemperaturowego ciepła odpadowego dla poprawy sprawności siłowni kondensacyjnej. W zakresie wspomaganie układu regeneracyjnego analizowano układy z wykorzystaniem spalin o temperaturze za kotłem i opcje poboru spalin przed obrotowego podgrzewacza powietrza. Łącznie przeanalizowana dla węgla kamiennego i brunatnego 10 wariantów. Wprawdzie dyskusja wykorzystania ciepła odpadowego dla wspomaganie regeneracji nisko i wysokoprężnej może być dziś uważana za klasyczną, tym niemniej liczba rozważanych opcji, jak również ich rodzaj porządkują i istotnie poszerzają informację dotyczącą potencjału efektywnościowego tych sposobów zwiększenia sprawności bloku. Należy przy tym pamiętać, że odzysk ciepła prowadzi to zmniejszenia sprawności obiegu siłowni, wskutek obniżenia średniej temperatury doprowadzenia ciepła do obiegu. Efekt

wzrostu efektywności termodynamicznej bloku jest następstwem podniesienia sprawności kotła. Obliczenia wskazały wzajemną relację tych dwóch efektów dla poszczególnych rozpatrywanych wariantów. Ten rezultat uważam za ważny z poznawczego punktu widzenia.

Druga część rozprawy dotyczy badania wykorzystania niskotemperaturowego ciepła spalin jako górnego źródła dla obiegów z czynnikami niskowrzącymi (obiegi ORC). Dyskusję integracji tych obiegów z instalacją bloku kondensacyjnego poprzedza ich teoretyczna analiza oraz opis własności czynników roboczych możliwych do zastosowania w obiegach tej klasy. Ten moduł pracy ma znaczenie wykraczające poza samo zagadnienie wykorzystania ciepła niskotemperaturowego. W analizie integracji rozpatrzono obiegi wzięto pod uwagę 10 czynników roboczych. Do walorów tej części pracy zaliczam przygotowanie modeli obliczeniowych oraz wyniki obliczeń, które poszerzają bazę danych o różnych klasach obiegów z czynnikami organicznymi niskowrzącymi. Uzyskane wyniki obok znaczenia poznawczego mają walory aplikacyjne.

Dużymi walorami oryginalności odznacza się badanie możliwości wykorzystania ciepła niskotemperaturowego spalin do podsuszania węgla. Zaproponowana w pracy koncepcja tego procesu nie jest do tej pory stosowana w rozwiązaniach przemysłowych. Ze wszystkich opcji rozpatrywanych w pracy to rozwiązanie charakteryzuje się największymi efektami.

Osobną grupą zagadnień rozpatrywana w pracy dotyczy wykorzystania ciepła z chłodzenia sprężarek dwutlenku węgla (w instalacjach z jego separacją ze spalin).

Rozpatrzono trzy opcje:

- Wykorzystanie w ORC,
- Do wspomagania regeneracji,
- Do podgrzania sorbentu w procesie wychwytu CO_2 .

Obliczenia wykonano zarówno dla węgla kamiennego jak i brunatnego. We wszystkich przypadkach uzyskano interesujące wyniki.

Rozprawę kończy rozległa analiza ekonomiczna trzech instalacji: Bloku referencyjnego, bloku z modułem wychwytu dwutlenku węgla, bloku z modułem wychwytu i instalacją ORC. Autor nie wyjaśnia dlaczego akurat te rozwiązania wydały mu się ciekawe do przeprowadzenia analizy ekonomicznej. Nie zmniejsza to jednak wartości przedstawionych badań. Należy podkreślić, że obliczenia zostały wykonane i przedstawione starannie. Przyjęte do analizy założenia wydają się uzasadnione. Merytoryczne znaczenie tej części rozprawy obok wyników porównawczych wynika głównie z dyskusji wpływu wybranych parametrów na graniczną cenę sprzedaży energii elektrycznej. Analizowano wpływ ceny zakupu

uprawnień do emisji dwutlenku węgla, zmian cen węgla oraz względnych jednostkowych nakładów inwestycyjnych.

Strona edytorska rozprawy nie budzi na ogół większych uwag, aczkolwiek niektóre rys. rozdziału 5 mogły by być bardziej czytelne. Dotyczy to głównie schematów obiegów czynników niskowrzących przedstawianych na wykresie T-s. W tekście nie zauważono poważniejszych usterek językowych.

3. Wnioski końcowe

Mgr inż. Andrzej Kochaniewicz przeprowadził uporządkowaną, rozległą analizę potencjału termodynamicznego różnych koncepcji wykorzystania niskotemperaturowego ciepła spalin. Podjął także dyskusję interesujących koncepcji integracji obiegu cieplnego z modułami wychwytu CO₂, jego sprężania i transportu oraz przeprowadził dla wybranych technologii ocenę ekonomiczną. Zrealizował w całości zakres planowanych badań i osiągnął założone w recenzowanej rozprawie cele. Wykazał się przy tym szeroką wiedzą i umiejętnościami w zakresie modelowania złożonych instalacji energetycznych i rozwiązania równań modeli. Uzyskał wiele oryginalnych rozwiązań zarówno w zakresie metodologicznym, poznawczym i aplikacyjnym.

Biorąc powyższe pod uwagę z pełnym przekonaniem stwierdzam, że przedstawiona praca spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w Ustawie o Stopniach i Tytułach Naukowych i wnioskuję do Rady Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

