

dr hab. inż. Wojciech Bujalski, prof. uczelni  
Politechnika Warszawska  
Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa  
Instytut Techniki Ciepłej  
ul. Nowowiejska 24  
00-665 Warszawa  
email: [wojciech.bujalski@pw.edu.pl](mailto:wojciech.bujalski@pw.edu.pl)

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mirosława Syty pod tytułem „*Optymalizacja struktury układów technologicznych do wykorzystania ciepła produkowanego przez wysokotemperaturowe reaktory jądrowe HTR na potrzeby produkcji energii elektrycznej i ciepła z wysokosprawnej kogeneracji w istniejących polskich elektrowniach i elektrociepłowniach*”**

#### WPROWADZENIE

Rozprawa doktorska mgr. inż. Mirosława Syty została przygotowana w ramach programu doktoratów wdrożeniowych. Tematem rozprawy jest *Optymalizacja struktury układów technologicznych do wykorzystania ciepła produkowanego przez wysokotemperaturowe reaktory jądrowe HTR na potrzeby produkcji energii elektrycznej i ciepła z wysokosprawnej kogeneracji w istniejących polskich elektrowniach i elektrociepłowniach*. Temat rozprawy, z punktu widzenia gospodarczego i naukowego, jest obecnie bardzo ważny oraz posiada charakter aplikacyjny, co jest istotne dla doktoratów wdrożeniowych. Znaczenie tematu wynika z tego że, nie jest jasne obecnie w jaki sposób będzie pokrywane zapotrzebowanie na ciepło w systemach ciepłowniczych (brak wypracowanej wizji), a przy tym wiadomo, że będzie to musiało być robione w sposób neutralny klimatycznie. Analizy wskazują na to, że osiągnięcie neutralności klimatycznej, w szczególności w dużych systemach ciepłowniczych, będzie bardzo trudne, zarówno technicznie, jak i ekonomicznie. Z rozwiązań, które obecnie są dostępne, pozostaje jedynie elektryfikacja ciepłownictwa (obecnie główny preferowany trend) lub energetyka jądrowa. Elektryfikacja wydaje się z jednej strony najprostszym rozwiązaniem, bo już dzisiaj są odpowiednie technologie, ale z drugiej strony niezmiernie trudnym. Trudność ta wynika z faktu, że większość działów gospodarki będzie podlegała elektryfikacji, co w efekcie będzie generowało deficyt energii elektrycznej wytwarzanej w sposób neutralny klimatycznie ze względu na zdolności przesyłowe linii energetycznych. W świetle tego energetyka jądrowa do celów ciepłowniczych wydaje się być dobrym rozwiązaniem. Szum informacyjny dotyczący tych technologii nie pozwala obecnie wierzyć w ich realność. Dlatego podjęcie tematu rzetelnej oceny przydatności technologii jądrowych do celów ciepłowniczych na przykładzie rzeczywistych obiektów uważam za bardzo wartościowe.

## ZAWARTOŚĆ PRACY

Struktura pracy jest bardzo rozbudowana. Rozdziały pierwszy i drugi to odpowiednio wstęp oraz cel i zakres pracy. W rozdziałach tych Doktorant przedstawia tło powstania tematu pracy i definiuje cel i zakres pracy. Rozdział trzeci to pogłębiona analiza struktury wytwarzania ciepła w polskich systemach ciepłowniczych, mająca na celu przedstawienie konieczności wprowadzenia nowej technologii, neutralnej klimatycznie do celów zasilania tych systemów. Przedstawiono w tym rozdziale zarówno strukturę wiekową ciepłowni i elektrociepłowni, jak również poddano analizie wielkość zapotrzebowania na ciepło. Rozdział czwarty stanowi w pewnym sensie podsumowanie analiz przedstawionych w rozdziale trzecim, ponieważ w tym rozdziale wskazano celowość stosowania małych reaktorów jądrowych do celów ciepłowniczych oraz przedstawiono uzasadnienie wyboru reaktora typu HTR do tych celów.

Rozdział piąty to bardzo skrótowa analiza efektu środowiskowego ograniczonego jedynie do wpływu na wielkość emisji CO<sub>2</sub>. W rozdziale szóstym Autor przedstawił koncepcje połączenia reaktora jądrowego z klasyczną częścią istniejącej elektrociepłowni. W rozdziale tym wskazał przyczyny wyboru typu reaktora, który został poddany bardziej szczegółowej analizie. Rozdział siódmy poświęcony jest poligeneracji. Jest to kolejny bardzo krótki rozdział, w którym Autor próbuje uzasadnić celowość generacji chłodu w systemach ciepłowniczych.

W rozdziale ósmym przedstawione zostały charakterystyki rozważanych obiektów, tj. Elektrociepłowni Katowice oraz Elektrociepłowni Tychy. Rozdział dziewiąty jest syntetyczną analizą dostępnych rozwiązań małych reaktorów modułowych (SMR). Autor zebrał w tym rozdziale i przedstawił syntetycznie informacje dotyczące technologii, ich osiągnięć, stanu rozwoju i prawodawstwa. Informacje w tym rozdziale porządkują ogólną wiedzę dostępną na temat tej rozwijającej się technologii. Rozdział dziesiąty wydaje się być kontynuacją rozdziału dziewiątego ponieważ, został poświęcony reaktorom SMR wytwarzającym czynnik o parametrach jaki potrzebny jest w elektrociepłowniach Tychy i Katowice. Autor wskazuje tu na przewagę reaktorów wysokotemperaturowych, jako reaktorów mogących współpracować z istniejącymi układami siłowni ciepłych (zasilanie istniejących turbin parowych), ponieważ układy te są w stanie wytworzyć czynnik o odpowiednio wysokich parametrach.

Obliczenia symulacyjne zostały przedstawione w rozdziale jedenastym. Autor przedstawił w nich wyniki symulacji kilku stanów pracy elektrociepłowni z wybranym typem reaktora, oddzielnie dla Elektrociepłowni Tychy i Elektrociepłowni Katowice. Do analiz został wskazany reaktor HTR Gemini +. Dodatkową przyczyną wyboru tego typu reaktora był fakt posiadania przez Tauron danych do wykonania takich obliczeń symulacyjnych. Obliczenia obejmują takie stany jak:

- praca w kondensacji (w okresie letnim), pełne wykorzystanie mocy do wytwarzania energii elektrycznej;
- praca z obciążeniem ciepłowniczym (w okresie zimowym), maksymalizacja wytwarzania ciepła + energia elektryczna;
- praca z obciążeniem ciepłowniczym (w okresie zimowym), częściowe obciążenie ciepłownicze + energia elektryczna;
- praca z obciążeniem ciepłowniczym (w okresie zimowym), częściowe obciążenie ciepłownicze + wytwarzanie chłodu + energia elektryczna;
- praca w kondensacji w okresie letnim z reaktorem jądrowym jako źródłem ciepła + wytwarzanie chłodu

W rozdziale dwunastym opisano, a raczej wskazano, elementy analiz jakie zostały zidentyfikowane podczas przygotowywania rozprawy i nie zostały rozważone ze względu na zakres pracy jaki został zdefiniowany. Ostatni rozdział zawiera wnioski i rekomendacje.

## **OCENA ROZPRAWY**

W pracy poruszono istotny temat jakim jest zastosowanie energetyki jądrowej do celów zapatrzania w ciepło systemów ciepłowniczych. W przestrzeni publicznej obecnie funkcjonuje wiele informacji o technologii modułowych reaktorów jądrowych (SMR). W Polsce równolegle prowadzone są prace nad rozwojem zarówno technologii reaktorów wielkoskalowych jak i małych reaktorów modułowych. Wiele nadziei wiązanych jest z rozwojem reaktorów SMR do celów zaspokojenia krajowych potrzeb na energię elektryczną. W analizowanej pracy została rozważona możliwość zastosowania takich reaktorów głównie do celów zaspokojenia potrzeb ciepłowniczych. Tauron przygotowuje się do uruchomienia projektu opartego o zastosowanie nowoczesnych technologii jądrowych do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. W związku z tym praca ta wpisuje się w strategię firmy i wypełnia założenia doktoratu wdrożeniowego.

Doktorant w celu przebadania możliwości musiał wykonać szereg analiz. Przedstawiona praca zawiera ich kilka, tj. począwszy od analiz rynku ciepłowniczego pokazujących celowość i miejsce dla budowy technologii neutralnych klimatycznie o dużych mocach. Informacje takie zostały przedstawione w rozdziałach trzecim i czwartym. Autor wskazał potencjalne możliwości oszczędności środowiskowych w rozdziale piątym. W dalszej części dokonał krytycznej analizy stanu techniki reaktorowej pod kątem potrzeb Tauron. Zestawienie informacji przedstawione w rozdziałach dziewiątym i dziesiątym jest jednym z cenniejszych elementów tej pracy. W rozdziale jedenastym Autor przedstawił bilanse energetyczne. Wszystkie przedstawione analizy są uproszczone, ale wydaje się, że na potrzeby realizacji tej pracy wystarczające.

W celu przygotowania pracy Doktorant musiał nabyć wiedzę z wielu obszarów, takich jak modelowanie układów cieplnych, technologie reaktorów SMR czy ciepłownictwo. W związku z tym rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Celem analizy było określenie możliwości wykorzystania technologii jądrowych do celów zasilania konkretnych instalacji ciepłowniczych. Tak postawiony cel pracy wymagał analizy na wielu płaszczyznach. Przedstawiona praca posiada zbyt rozbudowaną strukturę, w wielu miejscach wskazane byłoby poszerzenie analiz oraz zawiera liczne uchybienia. Mimo tych uchybień uważam, że Autor wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Moim zdaniem praca stanowi oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej. Całość badań jakie zostały przedstawione w rozprawie są analizą możliwości zastosowania technologii jądrowych w konkretnych elektrociepłowniach należących do Tauron Polska Energia, tj. w Elektrociepłowni Tych i Elektrociepłowni Katowice.

## SZEGÓŁOWE UWAGI KRYTYCZNE I Dyskusyjne

Listę uwag krytycznych i elementów do dyskusji przedstawiam poniżej:

- Struktura pracy jest zbyt rozbudowana. Niektóre rozdziały są bardzo małe, np. rozdziały piąty czy siódmy. Wskazane jest, aby rozdziały główne były większe a cała praca składa się z kilku, tj. pięciu czy sześciu rozdziałów głównych, a nie jak w przedstawionej pracy czternastu rozdziałów. Należy jednak zaznaczyć, że układ rozdziałów jest logiczny i zachowana jest prawidłowa sekwencja opisu poszczególnych części pracy.
- W rozdziale piątym poruszono zagadnienia środowiskowe. W rozdziale tym przedstawiono zagadnienie jedynie oszczędności emisji CO<sub>2</sub>. Warto byłoby rozszerzyć analizę o pozostałe czynniki szkodliwe.
- *Tabela 1 Wykaz elektrociepłowni w Polsce* – wykaz jest niekompletny albo są to elektrociepłownie tylko koncesjonowane. W Polsce obecnie jest znacznie więcej elektrociepłowni, ponieważ liczne ciepłownie posiadają układy kogeneracyjne, często są to silniki tłokowe.
- **Stwierdzenie „Po dokonaniu wnikliwych analiz studyjnych może okazać się, że ze względu na modułowość reaktorów jądrowych nie będzie konieczna instalacja źródeł szczytowo-rezerwowych” jest mocno dyskusyjne. Autor poza tym nie wskazał więcej argumentów za tym stwierdzeniem.**
- Doktorant ocenia wiek instalacji po roku oddania do eksploatacji elektrociepłowni. Data ta może nie mieć nic wspólnego ze stanem technicznym czy zastosowanymi obecnie technologiami. Uważam taką ocenę za bezpodstawną.
- Na stronie 26 Autor przedstawia „Przyjęte założenia dla jednostki wytwórczej opalanej węglem o podkrytycznych parametrach pary:” Brak jest wskazania źródeł przyjętych założeń.
- W tabeli 3 przedstawiono zestawienie danych dotyczących przykładowych projektów SMR. Cenne byłoby podanie źródła tych informacji.
- **Autor wskazuje poligenerację jako sposób na zwiększenie efektywności rozważanego układu. Wskazuje jednoznacznie możliwości generacji chłodu na potrzeby przemysłowe wskazując lokalizację zakładu w bliskiej odległości od źródła. Zapotrzebowanie takie może być całoroczne. Píše również o możliwości generacji chłodu na potrzeby klimatyzacyjne. Nie odnosi się jednak do tego bardziej szczegółowo, jak to np. wpłynie na instalację, ani jak to miałyby być realizowane.**
- Zawartość rozdziału siódmego zatytułowanego „Poligeneracja – możliwości wdrożenia technologii” moim zdaniem jest zbyt pobierzny. Wskazano tam jedynie możliwość wprowadzenia takiej technologii bez podania żadnych szczegółów. Rozdział ten niewiele wnosi do pracy.
- **W rozdziale jedenastym są przedstawione bilanse rozważanego układu. Bilanse te są jednym z ważniejszych elementów tej pracy. Brak jest jednak informacji szczegółowych o sposobie przeprowadzenia bilansów energetycznych, nie ma informacji o przyjętych charakterystykach urządzeń lub ich brak. Byłoby istotne opisanie sposobu (środowiska) w jakim te bilanse były przeprowadzone. Jest to istotna wada tej pracy.**
- Rozdział „11.7.1 Absorpcyjny agregat chłodniczy” nie wnosi wiele do pracy. Brak jest w nim informacji wykorzystywanych w innych częściach pracy. Wskazane byłoby podanie jakichkolwiek parametrów, np. wymaganych temperatur czy wskaźników efektywności.
- **Na stronie 154 jest napisane „W przypadku EC Katowice istotne są parametry pary na wlocie do turbiny, których temperatura jest niższa o 100°C względem temperatury pary z wytwornic**

*pary. Zaproponowane rozwiązanie dodatkowej wytwornicy pary korygującej WPK zapewnia schłodzenie czynnika roboczego do wartości wymaganej na wlocie do turbiny parowej.”. Brak jest analiz czy stwierdzenia na podstawie dokumentacji, czy wyższa temperatura może być podana na turbinę, czy musi być korygowana. Warto byłoby taką możliwość sprawdzić, ponieważ podniesienie temperatury powoduje podniesienie sprawności układu.*

- Rozdział 13 Wnioski i rekomendacje jest bardzo skrótowy. Praca doktorska wymaga pogłębionych wniosków. Częściowym uzasadnieniem tak ubogich wniosków jest fakt, że w wybranych rozdziałach umieszczone są wnioski dotyczące wybranych części pracy. Jednak dla lepszego zrozumienia pracy cenne byłoby zamieszczenie na końcu pracy spójnych i kompletnych wniosków
- Brak numerowania wzorów w pracy uważam za ważny błąd edytorski obniżający czytelność pracy
- Praca ma charakter przemysłowy i w dużej mierze przeglądowy. W pracy przytoczono zaledwie 46 źródeł zewnętrznych, w tym źródła danych i strony internetowe. Jak na tego typu pracę uważam, że przegląd wiedzy powinien być szerszy, a w szczególności dotyczący metod modelowania i stosowanych rozwiązań.
- Inne drobne uwagi warte wskazania:
  - Nie ma takich jednostek jak MWt i MWe
  - Grafiki niskiej jakości – np. nie czytelne wartości na schemacie na rysunku 49
  - Na rysunku 23 bilans energii się nie domyka, w celu domknięcia bilansu musi być oznaczona moc, którą generuje turbina.

W niniejszej recenzji przedstawiono ważniejsze uwagi krytyczne oraz elementy do dyskusji.

## PODSUMOWANIE

Przedstawiona do oceny praca zawiera rozwiązanie postawionego problemu. Postawiony problem ma charakter aplikacyjny i dotyczy możliwości zastosowania technologii jądrowych do zasilania w ciepło dwóch rzeczywistych elektrociepłowni tj. Elektrociepłownia Tychy i Elektrociepłownia Katowice. Aplikacyjny charakter pracy podnosi jej wartość. Niestety praca zawiera liczne niedociągnięcia, które znacznie obniżają wartość tej pracy. Niedociągnięcia mają różny charakter, od takich, że część analiz powinna być wykonana w sposób bardziej pogłębiony po drobne niedociągnięcia edytorskie.

**Podsumowując uważam, że przedstawiona rozprawa spełnia w stopniu minimalnym wszystkie ustawowe warunki stawiane pracom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Mirosława Sytę do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

*Wojciech Bytański*