

Kraków, 07.03.2023 r.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Nowak

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica

Wydział Energetyki i Paliw

Al. A. Mickiewicza 30

30-059 Kraków

[wnowak@agh.edu.pl](mailto:wnowak@agh.edu.pl)

Tel: [REDACTED]

## **Recenzja**

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Mirosława Syty**

**„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”**

### **Wstęp**

Recenzję rozprawy doktorskiej opracowano na podstawie decyzji Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej, pismo RIE-BD.512.6.2023 z 14 lutego 2023 r.

### **Zasadność tematyki**

HTR (ang. High Temperature Reactor) to reaktor jądrowy wysokotemperaturowy, który wykorzystuje całkowicie ceramiczny rdzeń, grafitową strukturę rdzenia, powlekane ceramicznie cząstki, grafitową strukturę rdzenia, pokryte ceramiką cząstki paliwa oraz kompletne ceramiczne elementy paliwowe. Zastosowanie ogniotrwałych materiałów rdzenia w połączeniu z jednofazowym obojętnym chłodziwem helowym pozwala na uzyskanie wysokich temperatur i daje szereg istotnych korzyści, w tym wysoką sprawność cieplną.

Szereg zalet HTR, a zwłaszcza w zakresie bezpieczeństwa, wynikają z niskiej gęstości mocy i dużej pojemności cieplnej rdzenia i braku przemian fazowych chłodziwa.

Cechy te ograniczają istotnie ograniczenia związane z lokalizacją reaktora, zmniejszając zarówno zapotrzebowanie na wodę chłodzącą, jak i konsekwencje przewidywanych zmian temperatury wody chłodzącej oraz skutków awarii. Chociaż elementy paliwowe w dostępnych projektach HTR różnią się znacząco, to podstawowa jednostka zawierająca paliwo jest zasadniczo taka sama. Stale obserwuje się rozwój paliwa w postaci powlekanych cząsteczek w ramach międzynarodowych działań, zupełnie niezależnie od różnic w konstrukcji reaktora i jego wykorzystania.

Modułowa konstrukcja reaktora ma zastąpić chłodzone wodą reaktory do wytwarzania energii elektrycznej oraz do dostarczania przyjaznego dla środowiska ciepła i energii elektrycznej w kogeneracji oraz innych zastosowaniach, takich jak odzyskiwanie ciężkiego oleju, zgazowanie i upłynnianie węgla, czy wytwarzanie wodoru. System ten charakteryzuje się tym, że kilka znormalizowanych jądrowych bloków ciepłowniczych o mocy cieplnej 200 MW<sub>th</sub> można połączyć w jedną elektrownię, albo zastąpić istniejącą węglową jednostkę wytwórczą. Ograniczenie mocy reaktora do 200 MW<sub>th</sub> ma w szczególności następujące zalety: w przypadku awarii głównego radiatora w HTR, odprowadzanie ciepła odbywa się poprzez pasywne przewodzenie ciepła, promieniowanie cieplne i konwekcję naturalną do chłodnic powierzchniowych umieszczonych na zewnątrz reaktora. Rozwój HTR jest nadal w toku w różnych krajach i dobrze, że również nasza energetyka rozważa możliwość wykorzystania reaktora jądrowego do produkcji ciepła, chłodu i energii elektrycznej w kogeneracji i trigeneracji.

Doktorant w swojej rozprawie doktorskiej zajmuje się właśnie tą tematyką w ramach doktoratu wdrożeniowego proponując m.in. wykorzystanie wysokotemperaturowego reaktora HTGR w istniejących strukturach technologicznych dwóch elektrociepłowni Tychy i Katowice.

*Stąd tematyka rozprawy doktorskiej wiąże się bezpośrednio z nowymi trendami w energetyce i ciepłownictwie, a mianowicie poszukiwaniem i implementacją rozwiązań procesowych. Ponieważ reaktor wysokotemperaturowy nadaje się szczególnie do zastosowań na rynkach ciepła technologicznego, jego wprowadzenie przyczyni się w znacznym stopniu do redukcji emisji dwutlenku węgla również w tym obszarze. Problem*

*naukowy został postawiony poprawnie. Cel jak i zakres pracy adekwatnie wynikają z przeprowadzonej analizy literatury przedmiotu oraz postawionego problemu przez Autora.*

### **Układ pracy**

Praca podzielona jest na 14 rozdziałów i liczy 167 stron. Bibliografia zawiera 46 pozycji. Niestety nie znalazłem publikacji Doktoranta. Praca zaczyna się od wstępu (Rozdział 1). Następnie w Rozdziale 2 Doktorant przedstawił cele pracy. Rozdział 3 poświęcony jest identyfikacji potrzeb wymiany istniejących w Polsce źródeł ciepła na nowe jednostki wytwórcze. W Rozdziale 4 Doktorant uzasadnia potrzebę wdrożenia reaktorów jądrowych w energetyce. Rozdziały 5-7 poświęcone są zagadnieniom środowiskowym, układom hybrydowym kocioł węglowy – HTR oraz poligeneracji.

Następnie w Rozdziale 8 opisano układy kogeneracyjne na przykładzie elektrociepłowni Tychy i Katowice. Rozdział 9 dotyczy modułowych reaktorów jądrowych z podaniem ich definicji, przykładowych projektów oraz zamieszczono opisy reaktora HTR-PM i wysokotemperaturowego reaktora HTGR. Podano również podstawowe parametry konstrukcyjne elementu paliwowego reaktora HTGR. W rozdziale 10 opisano projekty reaktorów SMR wytwarzających czynnik roboczy o parametrach wymaganych przez analizowane elektrociepłownie.

W rozdziale 6 przedstawiono model obliczeniowy oraz wyniki wyboru najbardziej obiecujących układów kogeneracyjnych z obliczeniami bilansowymi dla różnych okresów pracy i obciążeń bloków kogeneracyjnych Tychy i Katowice. Dodatkowe zagadnienia ujawnione w trakcie realizacji pracy przedstawiono w Rozdziale 12. Wyniki analiz zostały omówione i podsumowane w rozdziale 13. Wykazana analiza wykazała potencjalne możliwości adaptacji reaktora HTGR dla wybranych elektrociepłowni. Po wprowadzeniu reaktora wysokotemperaturowego, instalacja staje się bezemisyjna o wysokiej sprawności energetycznej.

### **Elementy nowości naukowej rozprawy doktorskiej**

*Najważniejsze osiągnięcia naukowe i praktyczne recenzowanej pracy doktorskiej to:*

1. Stworzenie modelu obliczeniowego pozwalającego na przeprowadzenie bilansów energii i masy analizowanych układów.

2. Przeprowadzenie analizy możliwości włączenia w układy technologiczne rozpatrywanych elektrociepłowni układu reaktora wysokotemperaturowego oraz przeprowadzenie obliczeń termodynamicznych dla różnych wariantów procesowych.
3. Pokazanie możliwości poprawy efektywności analizowanych układów w wyniku zastosowania absorpcyjnych agregatów chłodniczych.
4. Kompleksowa analiza układów kogeneracyjnych na bazie wysokotemperaturowego reaktora jądrowego.
5. Aby zoptymalizować sprawność systemu kogeneracyjnego, ważne jest staranne zaprojektowanie i zintegrowanie wszystkich komponentów systemu, w tym reaktora HTR, turbiny, wymienników ciepła i systemów sterowania. Konkretna konfiguracja układu kogeneracyjnego zależy od takich czynników jak pożądana moc, zapotrzebowanie na ciepło, dostępna woda chłodząca. Doktorant zaproponował interesujące rozwiązania technologiczne modyfikujące istniejący układ w wybranych elektrociepłowniach na potrzeby maksymalizacji układu.

Na wyróżnienie zasługuje czytelny sposób opisanie kryteriów w modelach bilansowych, którymi Doktorant kierował się przy wyborze nowoczesnego reaktora jądrowego HTGR, jak i konfiguracji układów poligeneracyjnych.

W pracy zwrócono też uwagę na ważny aspekt praktyczny stanowiący wzmocnienie inicjatyw inwestycyjnych i decyzyjnych dla Zarządu TAURON Polska Energia S.A.

### **Poziom warsztatowy**

Przedstawiona rozprawa jest wynikiem szczegółowych analiz termodynamicznych poszczególnych układów technologicznych. W celu porównania obliczeń bilansowych z danymi rzeczywistymi wykorzystano pomiary gwarancyjne analizowanych elektrociepłowni.

Doktorant wykazał dobre przygotowanie w formułowaniu modelu obliczeniowego. W szczególności podkreślić należy na swobodę z jaką Doktorant posługuje się stosowanymi pojęciami oraz zależnościami. Zarówno dobór tematyki jak i analizowanych źródeł uznać należy za prawidłowy. Praca posiada przejrzysty układ treści, konsekwentnie stosowane nazewnictwo oraz symbolikę.

## Uwagi krytyczne

W trakcie czytania pracy nasunęły mi się pewne pytania i uwagi, na które chciałbym uzyskać odpowiedzi.

1. Jakie są najważniejsze cechy technologiczne reaktora HTR i jak wpływają na projektowanie układów wykorzystania ciepła?
2. Jakie rodzaje układów wykorzystania ciepła mogą być stosowane w reaktorach HTR i jakie są ich wady i zalety?
3. Jakie są główne problemy techniczne związane z wykorzystaniem ciepła z reaktorów HTR i jakie są sposoby ich rozwiązania?
4. Jakie są największe wyzwania związane z włączeniem reaktora wysokotemperaturowego do istniejącej infrastruktury elektrociepłowni?
5. Jakie są wymagania dotyczące bezpieczeństwa i ochrony środowiska związane z wykorzystaniem ciepła z reaktorów HTR i jakie są sposoby ich spełnienia?
6. Jakie są perspektywy wykorzystania ciepła z reaktorów HTR w przemyśle, energetyce i innych dziedzinach gospodarki?
7. Jakie są koszty eksploatacji i inwestycyjne związane z wykorzystaniem ciepła z reaktorów HTR i jakie czynniki wpływają na ich wysokość?
8. Reaktory HTR są jednymi z najnowocześniejszych i najbardziej obiecujących typów reaktorów jądrowych. Są one projektowane w taki sposób, aby osiągać wyższą efektywność i bezpieczeństwo w porównaniu z tradycyjnymi reaktorami jądrowymi. Pomimo tego, że HTR-y wydają się być obiecującą technologią, wielu ludzi czuje niedosyt, gdy omawia się je w kontekście energetyki jądrowej. Oczekiwałem, że Doktorant więcej miejsca poświęci aspektom tej technologii. HTR-y wymagają skomplikowanej infrastruktury, która jest kosztowna i trudna w budowie. Wymagają również precyzyjnego procesu sterowania, co dodatkowo podnosi koszty i wymaga wysokiej kwalifikacji personelu obsługującego te reaktory. W związku z tym, wiele osób może nie być w stanie zrozumieć wszystkich aspektów technicznych HTR-ów i ich funkcjonowania.
9. Brakuje analizy korzyści powiązania reaktorów HTR z istniejącymi układami elektrociepłowni dla ekonomiki przedsięwzięcia.

## Wnioski końcowe

Reasumując można stwierdzić, iż tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Mirosława Syty „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” wiąże się bezpośrednio z koniecznością wprowadzenia nowego podejścia i technologii w kierunku dekarbonizacji polskiego ciepłownictwa przy użyciu bezemisyjnych źródeł wytwórczych.

Praca mieści się w dyscyplinie *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*.

Do najważniejszych walorów recenzowanej rozprawy zaliczam:

- poprawnie postawiony problem naukowy oraz rozwinięty za pośrednictwem sformułowanych tez rozprawy. Cel jak i zakres pracy adekwatnie wynikają z przeprowadzonej analizy literatury przedmiotu oraz postawionego problemu przez Doktoranta,
- rozprawa doktorska zawiera rozwiązanie ważnego zadania naukowego jakim jest stworzony model obliczeniowy pozwalający na wykorzystanie wysokotemperaturowego reaktora jądrowego,
- umiejętność wdrożenia wyników analiz w sektorze energetycznym,
- poprawnie wybrano przedmiot analiz i metodykę, uzyskano ważne kompleksowe wyniki.

Reasumując, stwierdzam, że oceniona rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytułach naukowych. Wobec powyższego wnioskuję, by Wysoka Rada Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej dopuściła mgr inż. Mirosława Sytę do dalszego etapu postępowania doktorskiego.

