

Dr hab. inż. Artur Andruszkiewicz, prof. uczelni  
Politechnika Wrocławska  
Katedra Techniki Ciepłej  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

Wrocław 15.07.2021 r.

## **Recenzja**

### **Rozprawy doktorskiej mgr inż. Jarosława Tokarczyka**

#### **Modelowanie akumulatora ciepła z dynamicznym rozładowaniem jako źródła energii w elektryczno-wodnym układzie ogrzewania budynku**

Recenzja została opracowana na zlecenie Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Krakowskiej z dnia 19.05.2021 roku.

#### **1. Celowość podjęcia tematu.**

Przedłożona do recenzji praca dotyczy modelowania akumulatora ciepła z dynamicznym rozładowaniem oraz możliwości jego wykorzystania do ogrzewania budynku. Autor opracował analityczny i numeryczny model matematyczny akumulatora, który umożliwił wyznaczenie czasu jego ochładzania od temperatury początkowej do końcowej, a także dobranie masy wypełnienia koniecznej do prawidłowego ogrzewania budynku w ciągu doby. Doktorant zaproponował również nową korelację do obliczania średniego współczynnika wnika ciepła w zależności od prędkości przepływu powietrza. Następnie, wyniki obliczeń teoretycznych porównał z wynikami pomiarów. W tym celu zbudował oryginalne, hybrydowe stanowisko badawcze z wykorzystaniem ceramicznego akumulatora ciepła o uporządkowanym wypełnieniu nagrzewanym energią elektryczną, którego zadaniem jest ogrzewanie budynku. Tak zbudowany hybrydowy układ jest nowoczesny, pozwala on uniknięcia ogrzewania budynków kotłami opalonymi węglem, gazem biomasą czy olejem. Zmniejsza się zatem emisja szkodliwych substancji do atmosfery, a także gazów cieplarnianych. Taki układ ogrzewania budynków, oparty o akumulator ciepła, doskonale wpisuje się w plany Unii Europejskiej przewidujące wycofanie klasycznego ogrzewania z budynków mieszkalnych, z docelowym wykorzystaniem do ich ogrzewania energii elektrycznej. Uważam zatem wybór tematu pracy doktorskiej za celowy i interesujący, i doskonale wpisujący się w nowoczesne trendy nauki.



## **2. Ogólna charakterystyka pracy .**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Jarosława Tokarczyka pt.

”Modelowanie akumulatora ciepła z dynamicznym rozładowaniem jako źródła energii w elektryczno-wodnym układzie ogrzewania budynku” liczy 70 stron w tym spis treści, 10 rozdziałów, bibliografię zawierającą 76 pozycji literaturowych. Na końcu pracy znajduje się jej streszczenie w języku polskim i angielskim.

Rozdział 1 zawiera cel i zakres pracy. Autor sformułował cel ogólny i szczegółowy rozprawy, którym jest opracowanie analitycznego i numerycznego modelu matematycznego akumulatora ciepła umożliwiającego analizę wpływu parametrów na proces nagrzewania i ochładzania akumulatora oraz na układ ogrzewania pomieszczeń. W rozdziale tym Autor dokonał również przeglądu literatury dotyczącej akumulacji ciepła.

Rozdział 2 to przedstawienie polityki klimatyczno-energetycznej Unii Europejskiej.

Rozdział 3 dotyczy szczegółowego opisu stanowiska do badania elektryczno-wodnego układu ogrzewania budynku. Autor przedstawił układ obiegu wody, obiegu powietrza, aparaturę zasilająco-sterującą oraz układ gromadzenia danych pomiarowych.

W rozdziale 4 Doktorant przedstawił zbudowany akumulator ciepła z dynamicznym rozładowaniem. Wyzначył również ciepło właściwe walcowych elementów ceramicznych. Rozdziały 5-7 zawierają model matematyczny akumulatora, modelowanie jego pracy za pomocą metod analitycznych ścisłych oraz metodami numerycznymi.

Rozdział 8 dotyczy wyznaczania współczynnika wnikania ciepła w wypełnieniach akumulatora usypanych przypadkowo i o uporządkowanej strukturze.

Rozdział 9 to porównanie wyników obliczeń z wynikami badań eksperymentalnych. Autor wyznaczył w nim współczynniki wnikania ciepła od strony powietrza dla zaproponowanej korelacji na ten współczynnik.

Rozdział 10 zawiera wnioski z przeprowadzonych badań.

## **3. Ocena pracy.**

Autor pracy prawidłowo sformułował cel pracy, szczególnie cel szczegółowy dotyczący opracowania analitycznego i numerycznego modelu pracy akumulatora. Zakres pracy został zrealizowany. Za bardzo ważny element pracy uważam oryginalne hybrydowe stanowisko badawcze, które Doktorant samodzielnie zbudował. Można na nim przeprowadzić szereg badań optymalizujących docelowo sposób ogrzewania budynków. Również opracowany model matematyczny pozwala na prawidłowe dobranie masy wypełnienia akumulatora, może



on zostać wykorzystany do obliczeń zmian temperatury powietrza na wylocie z akumulatora w ciągu pełnego jego okresu rozładowania czy zastosowany w układzie automatycznej regulacji temperatury ogrzewanego pomieszczenia.

Podsumowując: Autor przy realizacji pracy, wykazał się umiejętnością modelowania matematycznego, przeprowadzania eksperymentów naukowych i ich planowania. Wykazał się również umiejętnościami konstruktorskimi przy budowie stanowiska badawczego, a także prawidłowym doбором aparatury kontrolno-pomiarowej wraz z całym systemem gromadzenia danych pomiarowych. W poniższym punkcie zawieram uwagi dyskusyjne i krytyczne, które nasunęły mi się po głębszej analizie pracy i chciałbym aby Doktorant się do nich ustosunkował.

#### **4. Uwagi dyskusyjne i krytyczne.**

##### **4.1. Uwagi formalne.**

1. Na początku pracy brak jest spisu oznaczeń. Ułatwiłoby to lepsze czytanie pracy.
2. Wydaje się że na rysunkach 3.1 i 3.2 powinien zostać zaznaczony kierunek przepływu powietrza, a na rysunku 3.2 cyframi oznaczone poszczególne jego elementy.
3. Rysunek 3.3 wydaje się zbędny. Nie zostały na nim zaznaczone, oprócz wymiarów, żadne elementy i wg mnie nic on nie wnosi do pracy.
4. W rozdziale 3.2.4 powinno pisać się strumień objętości wody, a nie objętościowy strumień przepływu wody.
5. W rozdziale 3.2.5. część począwszy od zadania „*Powietrze, którego obieg wymuszany jest dzięki zastosowanemu wentylatorowi promieniowemu*”, do końca tego rozdziału powtarza się praktycznie z wcześniejszymi opisami układu wody czy układu obiegu powietrza.
6. Uwaga do zapisu jednostek. Jednostek wielkości fizycznych nie powinno podawać się w nawisach [ ]. Dotyczy to rozdziału 4.2, w którym Autor wyznaczał ciepła właściwe próbki. Na wykresach, przedstawionych na rysunkach 7.2, 7.3 i 9.1 opisy osi wykonane są prawidłowo. Wymagana jest zatem jednoznaczność.

Zgodnie z równaniem zapisu wielkości wg książki „*Podstawy miernictwa*” autorstwa Janusza Piotrowskiego wielkość Q zapisuje się następująco:

$Q=Q^*[Q]$  gdzie:  $Q^*$  - wartość liczbowa wielkości Q, [Q]- jednostka miary tej wielkości.

Zatem jeżeli np.  $c_{pr} = 513,6 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$  to  $[c_{pr}] = \text{J/kg}\cdot\text{K}$ . W nawiasie [ ] powinna być napisana wielkość mierzona a nie jej jednostka.

7. W rozdziale 10 pierwszy wniosek jest wg mnie oczywisty i nie powinien zostać zamieszczony.
8. Na stronie 45 Autor pisze: „Na rysunku 7.2 przedstawiono przebiegi temperatury powietrza i wypełnienia na wylocie z akumulatora przy skokowej zmianie temperatury powietrza na wlocie do akumulatora od temperatury  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $520 \text{ }^\circ\text{C}$ ” Chyba do  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  – tak to wynika z rysunku 7.2?
9. Wydaje się, że na rysunkach 7.2 i 7.3 na przebiegach zmian temperatur powinny zostać zamieszczone strzałki pokazujące kierunek tych zmian.

#### 4.2. Uwagi merytoryczne.

1. Autor nie przedstawił tezy pracy. Jak więc jest teza Pana pracy doktorskiej? Bardzo proszę na obronie o przedstawienie tezy.
2. W rozdziale 1.3 Doktorant pisze; „Celem pracy jest ocena efektywności działań akumulator ciepła...”. Co jest miarą oceny tej efektywności? Nie znalazłem tego w pracy. Bardzo proszę o odpowiedź na to pytanie.
3. Dlaczego do pomiaru strumienia przepływu powietrza w zbudowanej przez Pana instalacji został wybrany przepływomierz termiczny? Czy mierzy on strumień objętości czy strumień masy powietrza?
4. W rozdziale 3.2.4 Autor pisze: „W układzie pomiarowym znajduje się kilkadziesiąt czujników do pomiaru temperatury powietrza, wody oraz wypełnienia akumulator” Jakże to były czujniki?
5. W rozdziale 4.1 Autor pisze: „Walcowy kształt obudowy stanowi o oryginalności rozwiązań oraz daje zalety niewystępujące w tradycyjnych ogrzewaczach akumulacyjnych”. Proszę wymienić te zalety?
6. Dlaczego przy wyznaczaniu ciepła właściwego próbki były takie duże rozbieżności? Dlaczego do dalszych obliczeń przyjęto  $c_{pr} = 790,1 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$  ? Autor mógłby pokusić się

również o bardziej szczegółowy opis stanowiska do wyznaczenia ciepła właściwego, a nie tylko przedstawić jego nazwę.

7. Dlaczego w równaniu 5.9 gęstość powietrza zależy tylko od temperatury?
8. W rozdziale 6.1 w rozwiązaniu analitycznym przedstawił Pan rozwiązanie w przypadku obniżenia temperatury powietrza na wlocie do akumulatora o  $\Delta T_g$ . Proszę o wyjaśnienie kiedy w układzie rzeczywistym mamy do czynienia z taką sytuacją?
9. Dlaczego w zaproponowanej przez Pana korelacji na współczynnik wnikania ciepła ( równanie 8.43) jego wartość odniesiona jest do prędkości, a nie strumienia masy powietrza, która mierzona jest przepływomierzem termicznym?
10. Skąd wiadomo, że przepływ powietrza przez szczeliny między walcowymi elementami jest laminarny (rozdział 4.1)?
11. Uwagę mam również do literatury. W rozdziale tym nie ma żadnych prac Autora– czyżby ich nie było? Proszę o przedstawienia Pana publikacji na obronie pracy.

#### **Wniosek końcowy.**

We wniosku końcowym pragnę stwierdzić, że praca doktorska Pana mgr inż. Jarosława Tokarczyka pt. „*Modelowanie akumulatora ciepła z dynamicznym rozładowaniem jako źródła energii w elektryczno-wodnym układzie ogrzewania budynku*” zasługuje na jej dopuszczenie do publicznej obrony. Przemawia za tym wkład pracy Autora w budowę oryginalnego i innowacyjnego stanowiska badawczego, praktyczne znaczenie wyników pomiarowych jak również wyników uzyskanych z modelowania matematycznego akumulatora ciepła. Podczas realizacji pracy Autor wykazał się znajomością technik numerycznych, miernictwa cieplnego i techniki eksperymentu, a także pokazał, że umie porównać wyniki badań teoretycznych z eksperymentalnymi. Jestem przekonany, że umiejętności Doktoranta, pozwolą Jemu na prowadzenie interesujących i trudnych badań naukowych w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Na przedstawione uwagi krytyczne i dyskusyjne Doktorant będzie mógł się odnieść i ustosunkować w czasie obrony pracy.



Praca doktorska Pana mgr inż. Jarosława Tokarczyka pt. „*Modelowanie akumulatora ciepła z dynamicznym rozładowaniem jako źródła energii w elektryczno-wodnym układzie ogrzewania budynku*” spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określonym ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule z zakresu sztuki Dz. U. z 2003 r Nr 65, poz. 595 ze zmianami z dnia 18.03.2011 r. art. 2. i stawiam wniosek o przyjęcie, i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

- 000001614 -  
**POLITECHNIKA WROCLAWSKA**  
Wydział Mechaniczno-Energetyczny  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław  
tel. 71 320 23 25, 71 320 35 08, 71 320 45 23, fax 71 320 42 28  
www.wme.pwr.edu.pl e-mail: wme@pwr.edu.pl  
NIP 8960005851 (6)

