

Prof. dr hab. inż. Robert Sekret
Politechnika Częstochowska
Wydział Infrastruktury i Środowiska
42 – 201 Częstochowa, ul. J.H. Dąbrowskiego 69
E-mail: robert.sekret@pcz.pl

Częstochowa, dn. 04.01.2023 r.

Szanowny Pan
Prof. dr hab. inż. Andrzej Rusin
Przewodniczący Rady Naukowej Dyscypliny
Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka
Politechniki Śląskiej
ul. Konarskiego 18
44-100 Gliwice

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Michała Doffka

pt. „Ogrzewanie i chłodzenie z centralnego źródła ciepła w sieci ze zdalnymi węzłami cieplnymi”

1. Wprowadzenie

Recenzja została napisana w odpowiedzi na pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 15 listopada 2022 roku nr RIE-BD.512.55.2022.

2. Charakterystyka Kandydata

Mgr inż. Michał Doffek jest absolwentem kierunku Mechanika i Budowa Maszyn Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej. Tytuł magistra uzyskał w dniu 28 października 2013 roku. Kandydat nigdy wcześniej nie ubiegał się o nadanie stopnia doktora w żadnej jednostce organizacyjnej. Dotychczasowe doświadczenie zawodowe Doktoranta to m.in. zatrudnienie jako:

- inżynier i kierownik Działu Wsparcia Operacyjnego w firmie FENICE Poland Sp. z o.o., od 01.2016,
- inżynier ds. mechanicznych w firmie Abeinsa Business Development Sp. z o.o., 10.2014 – 12.2015,
- audytor efektywności energetycznej w firmie Astrum Sp. z o.o., dział DS Energia, 05.2014 – 10.2014,

oraz doradztwo w sporządzaniu audytów efektywności energetycznej w Przedsiębiorstwie Innowacyjno – Wdrożeniowym Enesa Michalina Pytel w okresie od 06.2013 do 01.2014, praktyka studencka i praca jako audytor energetyczny w firmie Tenneco Automotive Eastern Europe Sp. z o.o. Gliwice w okresie od 01.07.2011 do 04.2013.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr. inż. Michała Doffka pt. „Ogrzewanie i chłodzenie z centralnego źródła ciepła w sieci ze zdalnymi węzłami ciepłymi” zawiera łącznie 122 strony. Rozprawa została podzielona na 6 głównych rozdziałów i uzupełniona: bibliografią, wykazem terminów, streszczeniem w języku polskim i angielskim. We wstępie do rozprawy doktorskiej (rozdział 1 pracy) Doktorant odniósł się do istniejących problemów sektora ciepłownictwa wynikających z obecnej polityki klimatycznej Unii Europejskiej oraz zużycia krajowej infrastruktury systemów ciepłowniczych. Kandydat podkreślił coraz większe zainteresowanie wdrażaniem przez PEC hybrydowych systemów ciepłowniczych oraz konieczność dostosowania węzłów ciepłych i wewnętrznych instalacji technicznych budynków do ich nowych standardów energetycznych. Doktorant zwrócił również uwagę na rolę systemów chłodniczych w zapewnieniu komfortu cieplnego użytkowników budynków. Na koniec tego rozdziału Kandydat scharakteryzował opracowane w ramach rozprawy doktorskiej trzy algorytmy obliczeniowe, których celem było określenie technicznych i ekonomicznych warunków wdrażania hybrydowych systemów ciepłowniczych. W rozdziale 2 Doktorant zaprezentował cel i zakres pracy. Kandydat jako cel pracy przyjął analizę możliwości wdrożenia hybrydowego systemu ciepłowniczego zasilającego budynki w ciepło i chłód z centralnego źródła ciepła z wykorzystaniem, tzw. w rozprawie, zdalnych węzłów ciepłych. Jako zakres pracy Doktorant przyjął opracowanie modeli obliczeniowych zróżnicowanych pod względem rozpiętości sieci ciepłowniczej oraz zastosowanych technologii ich wykonania. Rozdział trzeci rozprawy to wskazanie przez Kandydata kierunków rozwoju i innowacji w ciepłownictwie. Odnosząc się do historii i rozwoju ciepłownictwa Kandydat przedstawił rozwój technologiczny sieci ciepłowniczych w latach 1880-2050 z uwzględnieniem nowych systemów 4G i 5G. Jako innowacyjne technologie w ciepłownictwie Doktorant wskazał niskotemperaturowe sieci ciepłownicze z uwzględnieniem magazynowania ciepła oraz kogeneracyjnych źródeł ciepła. Podkreślił ponadto, że oczekiwanymi istotnym efektami wdrażania rozwiązań innowacyjnych w systemach ciepłowniczych są poprawa efektywności energetycznej i ograniczanie emisji szkodliwych substancji do środowiska. W rozdziale czwartym rozprawy doktorskiej Doktorant przedstawił opis koncepcji hybrydowego systemu ciepłowniczego oraz opis jego pracy w sezonie grzewczym i chłodniczym (letnim). W rozdziale piątym Kandydat scharakteryzował opracowane trzy modele obliczeniowe. Model I to techniczno-ekonomiczna analiza wdrożenia lokalnej sieci ciepłowniczej zasilającej odbiorców w ciepło i chłód, przy założeniu wykorzystania istniejącej sieci ciepłej. W analizie uwzględniono: technologię wykonania sieci ciepłej, trzy bazy danych klimatycznych, ceny rynkowe paliw i energii, odzysk ciepła ze sprężarek oraz mobilne dostawy ciepła do odbiorców zlokalizowanych poza zasięgiem sieci ciepłowniczej. Model II opracowano dla miejskiej sieci ciepłowniczej (60 węzłów ciepłych) z uwzględnieniem technologii wykonania rurociągów, stopnia ich wyeksploatowania a także temperatury zasilania czynnika grzewczego. Model III to studium wykonalności wdrożenia instalacji pilotażowej, której zadaniem byłoby zasilanie w ciepło i chłód wybranego budynku biurowego. Tak jak w przypadku wcześniejszych modeli, również i w modelu III Doktorant założył montaż pomp ciepła w tzw. zdalnym węźle ciepłym. Dla każdego z modeli Kandydat przedstawił: dane wejściowe, założenia, algorytmy obliczeń oraz wyniki obliczeń wraz z ich analizą. Rozdział 6 pracy to podsumowanie i wnioski.

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską nie wnoszę uwag krytycznych do jej układu. Zwróciłbym jednak uwagę na brak konieczności wprowadzenia do rozprawy wykazu terminów na stronie 5. Obejmuje on bowiem pojęcia znane, co do definicji

których nie ma wątpliwości. Poza tym struktura pracy jest czytelna, logicznie ułożona. Uważam, że Doktorat nabył umiejętność poprawnej organizacji rozprawy doktorskiej.

Przedstawiony w ocenianej rozprawie doktorskiej stan wiedzy w zakresie podjętego problemu naukowego jest głównie ukierunkowany na historię i kierunki rozwoju ciepłownictwa. Doktorant wykonał przegląd literaturowy w oparciu o 34 pozycje bibliograficzne, z czego ponad 90% to publikacje z ostatnich 10 lat. Wykorzystane źródła literaturowe odnoszą się do tematu pracy. W przedstawionym przeglądzie literatury Doktorant wskazał argumenty za koniecznością podjęcia się badań w zakresie możliwości wykorzystania niskotemperaturowych sieci ciepłowniczych z węzłami cieplnymi wyposażonymi w pompy ciepła. Kandydat pominął jednak obecny stan wiedzy dotyczący dotychczasowych wyników badań tego zagadnienia. Powstaje więc pytanie. Czy takich wyników badań nie ma? Biorąc pod uwagę, że praca ma charakter koncepcyjny i dotyczy zupełnie nowych zagadnień, zwłaszcza z punktu widzenia aplikacyjnego uważam, że przedstawiony stan wiedzy zawiera wystarczające informacje uzasadniające wybór tematu rozprawy doktorskiej.

Przyjętym celem ocenianej rozprawy doktorskiej było uzyskanie wiedzy o możliwości wdrożenia hybrydowego systemu ciepłowniczego wykorzystującego w węzłach cieplnych pompy ciepła na potrzeby dostawy ciepła i chłodu do budynków, przy uwzględnieniu możliwości wykorzystania lokalnych odnawialnych źródeł energii i ciepła odpadowego, jako dodatkowych źródeł ciepła w systemie ciepłowniczym. Uważam, że niezależnie od wymagań dla krajów członkowskich UE zawartych w pakiecie pod wspólną nazwą Fit for 55, systemy ciepłownicze w Polsce wymagają rozpoczęcia kolejnego etapu transformacji technologicznej. Istotnym elementem tych prac jest uzyskanie efektu synergii pozwalającego na wykorzystanie efektów termomodernizacyjnych nie tylko w ramach danego sektora systemu ciepłowniczego (wytworzenie ciepła, przesył i dystrybucja ciepła, odbiorcy ciepła – budynki) ale również pomiędzy tymi sektorami. Taki kierunek prac pozwoli na dalszy wzrost efektywności całego systemu. Istotnym działaniem dla osiągnięcia tego celu jest wdrażanie systemów ciepłowniczych czwartej i piątej generacji, w tym rozwoju niskotemperaturowych i ultra-niskotemperaturowych sieci ciepłowniczych. Umiejscowienie podjętego problemu badawczego ocenianej rozprawy doktorskiej w ramach takiego obszaru stanowi o jej innowacyjności. Obniżanie temperatury projektowej nośnika ciepła w sieci ciepłowniczej przyczyni się do wzrostu energetycznego wykorzystania lokalnie dostępnych odnawialnych źródeł energii i ciepła odpadowego. Z jednej strony wychodzi to naprzeciw oczekiwaniom redukcji wykorzystania paliw kopalnych w ciepłownictwie a z drugiej strony zwiększenia stabilności dostaw ciepła i ograniczania tempa wzrostu cen ciepła. Dodatkową zaletą takiego kierunku rozwoju technologicznego systemów ciepłowniczych jest zwiększenie bezpieczeństwa dostawy ciepła do odbiorców w ogóle. Z tego powodu hybrydowe ciepłownictwo komunalne jest postrzegane jako wschodząca innowacyjna technologia systemowa o dużym potencjale zastąpienia obecnie stosowanych technologii. Dlatego też uważam, że wybór przez Doktoranta problemu naukowego w postaci hybrydowych systemów ciepłowniczych świadczy o trafności tematyki naukowo-badawczej zarówno z punktu widzenia celu naukowego, jak i celu użytecznego. Przedstawiony cel i zakres pracy informują o kierunku pracy. Uważam, że Doktorant wykazał się umiejętnością poprawnego formułowania celu rozprawy doktorskiej.

Doktorant precyzyjnie przedstawił opracowaną koncepcję rozwiązania zdefiniowanego problemu naukowego. Zwięźle i czytelnie opisał przyjęte schematy ideowe systemów hybrydowych zarówno dla sezonu grzewczego oraz sezonu letniego. Przyjęte struktury systemów ciepłowniczych dla trzech wariantów obliczeń są interesujące z naukowego punktu widzenia. Niemniej jednak daleki byłbym od nazwania ich modelami obliczeniowymi. Tak jak Doktorant wskazał w spisie treści oraz w tekście rozprawy są to raczej analizy techniczno-ekonomiczne przedsięwzięć termomodernizacyjnych. Nie umniejsza to ich roli czy wagi w przyjętej metodzie badań, ale tytuły rozdziału 5 i jego podrozdziałów są mylące. Dane wejściowe i założenia do obliczeń zostały przedstawione przez Doktoranta w sposób szczegółowy, adekwatny do przyjętej metodyki. Należy podkreślić, że oparcie analiz na strukturach istniejących obiektów ciepłowniczych jest rozwiązaniem pozwalającym na urealnienie uzyskanych wyników czy oceny możliwości aplikacyjnych wyników badań. Pomimo trafności przyjętej metodyki badawczej, szerszego komentarza wymaga wybór tych konkretnych systemów z punktu widzenia ich reprezentatywności, zwłaszcza z punktu widzenia szerszego grona czytelników rozprawy doktorskiej. Zbyt duży skrót myślowy w tej części pracy może utrudnić wykorzystanie uzyskanych wyników badań w innych systemach ciepłowniczych. Niezależnie od tego, pozytywnie oceniam umiejętności Doktoranta w zakresie poprawnego wyboru metodyki i realizacji badań dla przyjętego celu naukowego.

Nie wnoszę uwag do uzyskanych przez Doktoranta wyników badań. Dla przyjętych założeń oraz algorytmów obliczeniowych przedstawiona w rozprawie ich interpretacja jest akceptowalna. Należy podkreślić dobre opracowanie tabelaryczne uzyskanych wyników badań oraz wystarczające ich przedstawienie graficzne. Przedstawione przez Doktoranta podsumowanie i wnioski końcowe odnoszą się do przyjętych celu i zakresu pracy oraz wynikają z przedstawionego materiału w rozprawie. Niemniej jednak brakuje w tym miejscu pewnej konsekwencji u Doktoranta. We wcześniejszych rozdziałach rozprawy Kandydat przyjął skondensowaną formę treści rozprawy doktorskiej, natomiast w rozdziale 6 (podsumowanie i wnioski) znacznie rozproszył się w podsumowaniu i formułowaniu wniosków końcowych. Dla czytelnika nie związanego bezpośrednio z tą problematyką taka forma podsumowania i wniosków końcowych może utrudniać formułowanie własnej oceny aplikacyjności uzyskanych wyników badań. Myślę, że jednoznaczne wskazanie możliwych do uzyskania efektów (tak jak to występuje w przedsięwzięciach termomodernizacyjnych) i potencjalnych ograniczeń, czy ewentualnych wad proponowanych rozwiązań na podstawie uzyskanych wyników badań byłoby dużym ułatwieniem w ocenie możliwości aplikacji wskazanych w rozdziale 5 rozwiązań na potrzeby innych systemów ciepłowniczych. Oceniając tą część pracy doktorskiej uważam, że Doktorant wykazał się umiejętnością prezentacji uzyskanych wyników badań, ich analizy oraz formułowania wniosków.

Po zapoznaniu się rozprawą doktorską uważam, że uzyskane wyniki badań stanowią wartościowy stan wiedzy na potrzeby prac koncepcyjnych procesów transformacji technologicznej istniejących systemów ciepłowniczych w kraju.

Uwagi dyskusyjne

1. Jak należy rozumieć pojęcie „zdalny węzeł cieplny”? Pojęcie to wykorzystywane jest w treści pracy, jak również w tytule rozprawy. Nie ujęto go natomiast w wykazie terminów.

2. Jakie jest uzasadnienie ujęcia w rozdziale 3.3 opisu kierunku rozwoju ciepłownictwa prowadzącego do wzrostu udziału kogeneracji oraz instalacji EWHR (ekologicznego odzysku ciepła w kotłach) w kontekście tematu rozprawy doktorskiej, tj. zdalnych węzłów ciepłowniczych?
3. Jakie jest uzasadnienie wyboru zaprezentowanych w rozprawie systemów ciepłowniczych jako obiektów badawczych z punktu widzenia ich reprezentatywności?
4. W rozdziale 4 Doktorant przedstawił koncepcje hybrydowego systemu ciepłowniczego wskazując jako jego zaletę brak konieczności wprowadzania dużych zmian po stronie m.in. sieci ciepłowniczej. Czy wzięto pod uwagę, że przy tak niskich temperaturach pracy (systemy ultra-niskotemperaturowe), tj. 50°C na zasilaniu sieci ciepłowniczej, niewielkie wahania temperatury rzędu nawet kilku stopni mogą istotnie oddziaływać na COP pomp ciepła. W systemach 5G, przy tak niskich temperaturach pracy sieci ciepłowniczej, proponuje się nowe konstrukcje przewodów ciepłowniczych celem dalszego ograniczania strat ciepła do otoczenia. W związku z tym powstaje kolejne pytanie. Czy obecne przewody sieci ciepłowniczych oraz struktura systemów ciepłowniczych w kraju będą mogły być faktycznie wykorzystane w proponowanej koncepcji systemu ciepłowniczego?
5. Jakie jest uzasadnienie obniżenia temperatury wody sieciowej ze 100°C do 50°C (rysunek 9), aby następnie przy dodatkowym nakładzie energetycznym i koszcie termo ekologicznym, tj. wykorzystaniem pompy ciepła, podnieść temperaturę nośnika ciepła do poziomu 80°C? Czy klasyczny węzeł ciepłowniczy z transformacją parametrów ze 100 °C na 80°C, bez wykorzystania pompy ciepła, nie pozwoliłby na uzyskanie tego samego komfortu cieplnego u odbiorcy końcowego?
6. Dlaczego na rysunku 10 przyjęto temperaturę na zasilaniu w sieci ciepłowniczej w okresie letnim na poziomie 100°C? W typowej komunalnej sieci ciepłowniczej wartość ta wynosi maksymalnie 70-75°C.
7. Z jakiego okresu przyjęto wieloletnie dane klimatyczne? Są to bardzo istotne dane wejściowe. Obecne badania oraz praktyka ciepłownicza wskazują, że miarodajnym okresem jest ostatnie 15 lat. Niestety wytyczne do sporządzania bilansów na potrzeby procesów termomodernizacji odwołują do danych nawet z lat od 60-80 do 90 ubiegłego wieku.
8. Czy w obliczeniach przyjęto niezmienną wartość COP pomp ciepła, czy też uwzględniono zmianę wydajności energetycznej pomp ciepła w funkcji temperatury dolnego i górnego źródła ciepła?
9. Czy wykorzystanie w obliczeniach uznanych baz danych, tj. KOBiZE, czy też metod szacowania strat ciepła według wytycznych Programów Operacyjnych Infrastruktura i Środowisko 2014-2020 nie jest zbyt dużym uproszczeniem? Czy w prezentowanej pracy naukowej jest do tego uzasadnienie?
10. Czy na podstawie uzyskanych wyników badań Doktorant rekomendowałby zastosowanie chłodu sieciowego w krajowym ciepłownictwie?
11. W rozdziale 5.3 przyjęto jako obiekt badawczy (referencyjny) budynek administracyjno-biurowy o zapotrzebowaniu na energię wynoszącym 234,3 kWh/(m² rok). Jest to budynek o bardzo wysokim zapotrzebowaniu na energię w porównaniu do budynków niskoenergetycznych o zapotrzebowaniu na energię poniżej 45 kWh/(m² rok), czy tym bardziej budynków pasywnych o zapotrzebowaniu na energię na cele grzewcze poniżej 15 kWh/(m² rok). Jakie jest więc uzasadnienie modernizacji istniejącej sieci ciepłowniczej do standardu

ultra-niskotemperaturowej 50/30°C i następnie budowa węzła ciepłego z pompami ciepła celem uzyskania na zasilaniu w instalacji wewnętrznej 80°C? Czy w dłuższej perspektywie czasu, zarówno z punktu widzenia energetycznego, środowiskowego i ekonomicznego, tzw. głęboka termomodernizacja budynku i zasilanie go z tradycyjnego węzła ciepłego nośnikiem ciepła sieciowego o maksymalnej temperaturze 55°C nie będzie rozwiązaniem korzystniejszym?

12. Proszę o uzasadnienie stosowania mobilnej dostawy ciepła do odbiorców nie przyłączonych do sieci ciepłej? Czy w takim przypadku zastosowanie indywidualnego źródła ciepła, np. w postaci klasycznej powietrznej pompy ciepła nie jest korzystniejsze?

13. Proszę o wskazanie mocnych i słabych stron proponowanych koncepcji hybrydowych systemów ciepłowniczych w kontekście specyfiki krajowych systemów ciepłowniczych?

Uwagi szczegółowe

- W wielu wzorach przedstawiono jednostkę kWh^t, powinno być kWh_t (np. 14, 15, 18, 19, 21, 22, itd.).
- Str. 57 – Tabela 18 i? (ostatni wiersz na stronie).

3. Wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr. inż. Michała Doffka pt. „Ogrzewanie i chłodzenie z centralnego źródła ciepła w sieci ze zdalnymi węzłami ciepłymi” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego z obszaru efektywności energetycznej systemów ciepłowniczych i wnosi nowy stan wiedzy do dyscypliny naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Jako element nowości należy uznać koncepcję hybrydowego systemu ciepłowniczego wraz ze wskazaniem potencjalnych efektów energetycznych i ekonomicznych w przypadku ich wdrożenia w warunkach krajowego ciepłownictwa. Uważam, że rozprawa doktorska potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz umiejętności do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Jej poziom merytoryczny spełnia wymagania obecnych przepisów w tym zakresie.

Wobec powyższego wnioskuję o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

