

Warszawa 28 VII 2025

RECENZJA
rozprawy doktorskiej
**„Wielokryterialna metoda wyznaczania globalnego wskaźnika
energochłonności budynków”**

Pani mgr inż. Aleksandry STACHERY

1. Podstawa opracowania opinii

Podstawę formalną niniejszego opracowania stanowi pismo Pana płk. prof. dr hab. Michała Kędzierskiego Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Wojskowej Akademii Technicznej z dnia 20.05.2025 r. z prośbą o opracowanie recenzji rozprawy doktorskiej pt. **„Wielokryterialna metoda wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków”** pani mgr inż. Aleksandry Stachery, zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Wojskowej Akademii Technicznej z dnia 20.05.2025 r. Rozprawa została przesłana pocztą tradycyjną w formie wydrukowanej.

Podstawę prawną stanowi Ustawa *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668) z późniejszymi zmianami, tj. *Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej* z dnia 10 marca 2023 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*, Dz. U. 2023 poz. 742, szczególnie Dział V *Stopnie i tytuł w systemie szkolnictwa wyższego i nauki*, Rozdział 2 *Stopień doktora*, Oddział 1 *Nadawanie stopnia doktora*, Art.187.

Merytoryczną ocenę dokonałam na podstawie treści przesłanej rozprawy.

2. Charakterystyka i ocena rozprawy doktorskiej

2.1. Struktura rozprawy

Rozprawa doktorska **„Wielokryterialna metoda wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków”** pani mgr inż. Aleksandry Stachery została wykonana pod

promotorstwem prof. dr hab. inż. Adama Stolarskiego z Wojskowej Akademii Technicznej oraz dr inż. Mariusza Owczarka z Wojskowej Akademii Technicznej, jako promotora pomocniczego.

Rozprawa składa się z 9 numerowanych rozdziałów, oraz z rozdziałów nienumerowanych, które stanowią: *Wykaz literatury*, *Streszczenie rozprawy doktorskiej oraz Summary of Doctoral Dissertation* (streszczenie w języku angielskim). Rozdziały numerowane mają następujące tytuły: rozdział 1 – *Wstęp*, (10 stron); rozdział 2 – *Charakterystyka składników wpływających na efektywność energetyczną budynku*, (29 stron); rozdział 3 – *Charakterystyka metod optymalizacji wielokryterialnej*, (9 stron); rozdział 4 – *Charakterystyka kryteriów oceny energochłonności budynku*, (15 stron); rozdział 5 – *Wielokryterialna metoda wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków*, (9 stron); rozdział 6 – *Studium przypadku budynku modernizowanego z wykorzystaniem hybrydowego sposobu wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków* (26 stron); rozdział 7 – *Studium przypadku budynku nowoprojektowanego z wykorzystaniem hybrydowego sposobu wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków* (24 strony); rozdział 8 – *Studium przypadku budynku nowoprojektowanego z wykorzystaniem bezpośredniego sposobu wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków* (19 stron); rozdział 9 – *Zakończenie – Wnioski* (5 stron). *Wykaz literatury* składa się z następujących: *Monografie* - 52 pozycje literaturowe; *Artykuły w czasopismach naukowych* – 183 pozycje; *Artykuły w materiałach konferencyjnych* – 16 pozycji; *Dyrektywy, Ustawy, Rozporządzenia* – 7 pozycji; *Normy, Patenty, Raporty z Badań* - 21 stron; *Strony internetowe* – 7 pozycji; łącznie 286 pozycji literaturowych. W zestawieniu literaturowym nie ma żadnej pozycji autorstwa lub współautorstwa Kandydatki. Całość liczy 172 strony.

Praca jest starannie przygotowana. Poszczególne rozdziały są odpowiednio ilustrowane tabelami i w kilku miejscach graficzną interpretacją otrzymanych wyników. Poszczególne rozdziały są dobrze ze sobą powiązane i stanowią spójną całość. Tytuł rozprawy w odpowiedni sposób odzwierciedla analizowany problem badawczy.

2.2 Treść i ocena merytoryczna rozprawy

Rozprawa doktorska jest napisana na dobrym poziomie (poza rozdziałem przeglądowym 2) i obrazuje duży wkład pracy włożony przez Kandydatkę w przeprowadzenie badań i ich przedstawienie w rozprawie. Główna teza, cele i zakres pracy w odpowiedni sposób przedstawiają zasadność podjęcia przedmiotowych badań z zakresu energochłonności budynków przez Kandydatkę. Uzasadnienie wyboru metody rozwiązania postawionego problemu badawczego, jaką jest metoda optymalizacji wielokryterialnej, zostało szczegółowo przedstawione. Opis wykonanych analiz teoretycznych, opracowanie autorskiej metody optymalizacji wielokryterialnej wykorzystanej w programie do wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków, przeprowadzona weryfikacja metody dla wybranych studiów przypadku budynku modernizowanego

i budynków nowoprojektowanych, oraz sformułowane wnioski końcowe o charakterze podstawowym i aplikacyjnym, świadczą o zainteresowaniu Kandydatki zagadnieniami energochłonności w budownictwie i znajomości metod tworzenia i wykorzystywania analiz optymalizacyjnych.

Układ treści jest przejrzysty i uporządkowany, co wynika z dobrze opracowanej struktury pracy. Poszczególne rozdziały koncentrują się na poszczególnych podstawowych zagadnieniach badawczych, zgodnie z ich tytułami i odzwierciedlają chronologię przeprowadzonych prac. Rozdziały są odpowiednio ze sobą połączone i tworzą logiczną całość.

W rozdziale 1 Wstęp Kandydatka uzasadnia podjęcie tematyki badawczej dotyczącej energochłonności i energooszczędności budynków, formułuje główną tezę badawczą, cele główne i cele szczegółowe rozprawy, oraz przedstawia zakres rozprawy. Teza rozprawy, jak i kolejne cele rozprawy, zarówno dwa główne, jak i 4 szczegółowe, służące udowodnieniu postawionej tezy zostały jasno i precyzyjnie sformułowane. Zakres rozprawy będący streszczeniem poszczególnych rozdziałów dobrze zaznaja z problematyką przeprowadzonych kolejnych prac. **Rozdział ten świadczy o dojrzałym podejściu Kandydatki do opisu naukowego postawionych zagadnień badawczych.**

Rozdział 2 pt. **Charakterystyka składników wpływających na efektywność energetyczną budynku** jest rozdziałem przeglądowym i najbardziej obszernym ze wszystkich rozdziałów pracy (liczy 29 stron). Dotyczy on bardzo szerokiego zakresu różnych czynników wpływających na energochłonność budynków, które Kandydatka nazywa składnikami. Jak Kandydatka pisze (w rozdziale 1), w rozdziale 2: „w ramach analizy uwzględniono łącznie 56 grup składników w 3 głównych rodzajach, które są najczęściej rozpatrywane w procesie projektowania i budowy obiektów budowlanych”. Jednakże, **trudno jest znaleźć jasną myśl przewodnią tego rozdziału, elementy łączące grupy składników, a czasami uzasadnienie przynależności do danego rodzaju.** Rozdział zawiera wiele różnych haseł nie połączonych ze sobą w treści pracy. Przykładowo punkt 2.1 rozdziału ma tytuł *Składniki naturalne*. W punkcie tym Kandydatka rozważa: grunty, gruntowy wymiennik ciepła, poziom wody gruntowej, geotermia. Czy są to rzeczywiście składniki naturalne? Poza tym dlaczego w tym miejscu umieszczono gruntowy wymiennik ciepła i geotermię? Takie zestawienie jako składniki naturalne jest zupełnie niezrozumiałe. W punkcie tym pojawiają się też nieprawdziwe stwierdzenia, np. co do wykorzystania geotermii w Polsce.

Punkt 2.2 pt. **Materiały i wyroby budowlane** jest względnie dobrze przygotowany, chociaż szereg informacji jest mało aktualnych, a wiele jest po prostu tylko hasłami. Ponad to Kandydatka czasem zbyt upraszcza opis i formułuje błędne stwierdzenia, np. pisze:

- (str.29) o powierzchni, która „odbija ciepło, dzięki czemu chroni ucieczką ciepła promieniowania, ...”. Co to znaczy?
- (str.31) o konstrukcjach, „które wymagają znacznie mniej energii w celu zapewnienia komfortu cieplnego w pomieszczeniach, w porównaniu do

tradycyjnej ramy drewnianej.” W jaki sposób konstrukcja wymaga energii? W jaki sposób opisana konstrukcja jest porównywana do „tradycyjnej konstrukcji ramy drewnianej”? O czym jest ten cały akapit?

- (str.32) o ścianie, „gdzie sieć rur kapilarnych została zainstalowana wewnątrz ściany, aby sterować termodynamiką ... A cóż to znaczy?
- (str.32) ostatnie zdanie „Badacze , ... przeprowadzili badania nad podłogą z wbudowanym termosyfonem”. Co to znaczy? Po co taka informacja?

Natomiast punkt 2.3 pt. Instalacje jest w większości swej treści całkowicie niezrozumiały, ze względu na niejasne opisy instalacji, dużą ilość uproszczeń, błędne nazewnictwo techniczne i błędy merytoryczne. Trudno jest zamieścić pytania do tego punktu rozdziału (2.3), bowiem prawie każdy z akapitów wymaga wyjaśnienia. Przedstawienie pytań zajęłoby więcej miejsca (stron) niż ma ten punkt sam w sobie.

Punkt 2.4 ma tytuł „Usytuowanie obiektu”. Niestety Kandydatka nie wyjaśnia w jaki sposób usytuowanie wpływa na energochłonność. W punkcie 2.4.2 pisząc o stronach świata, pisze, iż:

- o zorientowaniu budynku na południe, bowiem „pozwała to na zmniejszenie zużycia energii konwencjonalnej i wykorzystanie odnawialnych źródeł pozyskiwania energii”. Nasuwają się więc dwa oczywiste pytania: co powoduje zmniejszenie zużycia energii i o jakich odnawialnych źródłach energii Kandydatka pisze?

W punkcie 2.5 dotyczącym kształtu i funkcji budynku, niewiele zostało napisane na ten temat. W punkcie 2.5.1 zawarte są pewne informacje dotyczące bryły budynku. Natomiast zapis, że:

- kubatura ma być duża, „co przyczyni się do wolniejszego wychłodzenia powietrza” jest całkowicie niezrozumiały, a wręcz błędny.

Kandydatka pisze też:

- że „dach budynku ma być płaski, albo o niewielkim nachyleniu połaci dachowych”, co jest również stwierdzeniem błędnym.

W punkcie 2.5.2 Kandydatka pisze o rozmieszczeniu pomieszczeń i tu również pojawia się błędne zalecenie, a mianowicie:

- ogród zimowy, powinien znajdować się od strony północnej. Ciekawe dlaczego?

Kolejny punkt 2.5.3 dotyczy wielkości i rozmieszczenia okien i drzwi. Tutaj również pojawiają się błędne informacje, a mianowicie iż:

- okna mają porównywalny wpływ na bilans cieplny budynku jak ściany. Ciekawe, z którego roku pochodzi ta informacja, ale na pewno nie dotyczy to nowych budynków. Z kolei pisząc o konstrukcji *nowoczesnych* okien Kandydatka powołuje się na publikację z 2014 r., czyli co najmniej sprzed 10 lat.

W rozdziale 2 brak jest analizy własnej Kandydatki opisywanych czynników i odniesienia do tego, co jest obecnie istotne w analizach energochłonności budynku. Wiele

z wymienionych przez Kandydatkę czynników ma wyraźny wpływ na energochłonność budynku, jednakże wiele z wymienionych charakteryzuje się pomijalnie małym wpływem, a części czynników dość istotnych przy wyznaczaniu energochłonności budynków Kandydatka nie przedstawiła. Problematyka energooszczędności w budownictwie jest obecnie szeroko ujęta w literaturze naukowej. W związku z dużą ważkością tej problematyki dla ograniczania zużycia energii w gospodarce zarówno badania naukowe o charakterze podstawowym, jak i aplikacyjnym rozwijają się bardzo dynamicznie. Rozwiązania koncepcyjne i technologiczne, w tym budowlane, materiałowe, instalacyjne i środowiskowe zmieniają się bardzo szybko. Okres ostatnich lat przyniósł szereg istotnych zmian w podejściu do realizacji zasad budownictwa energooszczędnego. **Niestety większość cytowanych przez Kandydatkę publikacji pochodzi sprzed 10, czy nawet 20 lat. Najnowsza publikacja jest z 2018 r. Rozdział ten nie obrazuje więc aktualnego stanu wiedzy z zakresu z efektywności energetycznej budownictwa i nowoczesnych trendów w jego realizacji.** Co więcej, **wiele cytowanych artykułów nie ma charakteru naukowego, a raczej poradników branżowych i materiałów edukacyjnych dla „zwykłych” użytkowników budynków.** W konsekwencji w rozdziale tym **występuje zbyt dużo uproszczeń i błędów merytorycznych.** Ze względu na zbyt dużo wspomnianych błędów, przekłamań i niefortunnnych skrótów myślowych należy stwierdzić, że rozdział 2 w obecnej postaci nie powinien znaleźć się w rozprawie doktorskiej będącej opracowaniem naukowym. Rozdział 2 można podsumować jednym pytaniem:

1. Czy Kandydatka zastanawiała się jaki sens naukowy mają zamieszczone w tym rozdziale informacje i czemu mają służyć?

Rozdział 3 pt. Charakterystyka metod optymalizacji wielokryterialnej w sposób usystematyzowany wprowadza w problematykę metod optymalizacji wielokryterialnej koncentrując się na przeglądzie metod optymalizacji ze szczególnym uwzględnieniem rysu historycznego. Autorka odwołuje się do starszych metod optymalizacji i częściowo do nowszych, co jest odzwierciedlone w cytowanej literaturze. Rozważa również metody doboru wag podkreślając, jak istotny jest właściwy dobór wag w procesie podejmowania decyzji. Nasuwa się pytanie, odpowiedź na które mogłaby by być podsumowaniem tego rozdziału:

2. Które spośród przedstawionych metod optymalizacji powinny być szczególnie zalecane do stosowania do przeprowadzania analiz optymalizacyjnych energooszczędności w budownictwie w rozważaniach globalnych i czy jest, i jaka minimalna liczba kryteriów, które powinno się stosować w optymalizacji energooszczędności?

Rozdział 4 pt. Charakterystyka kryteriów oceny energochłonności budynku zawiera opis rozważanych w pracy kryteriów, do których należą: energia końcowa, koszt, trwałość, czas zwrotu nakładu inwestycyjnego lub liczba cykli zrównoważenia nakładu inwestycyjnego i emisja dwutlenku węgla. Kryteria te poddawane są analizie optymalizacyjnej. Przytoczona definicja energii końcowej (str. 52) jest niepełna.

3. Proszę więc o podanie właściwej definicji energii końcowej

W rozdziale 4 Kandydatka przyjmuje budynek referencyjny i jego charakterystyczne parametry w sposób ogólny. Jednakże, nie jest do końca jasne co oznacza wg Kandydatki budynek referencyjny, zwykle budynki referencyjne to budynki odniesienia spełniające określone wymagania normowe dla danego okresu ich wzniesienia. Nasuwa się pytanie:

4. Jak Kandydatka definiuje budynek referencyjny?

W części 4.2 rozdziału 4 Kandydatka przedstawia równania służące do wyznaczenia energii końcowej budynku. Równania w punkcie 4.2 odpowiadają modelowi opisanemu w rozporządzeniu „Metodologia wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku”, o czym Kandydatka nie wspomina. W równaniach tych czasem występuje dzielenie przez liczby 1000 lub 3600. Należy podkreślić, że jeżeli nie podaje się symboli wraz z jednostkami to równanie jest niejasne, nawet jeśli pochodzi z „Metodologii”. Dotyczy to np. równania (4.7), (4.11), (4.21). Z kolei w części 4.3 zamieszczone są równania dotyczące kosztów poniesionych w cyklu życia budynku, i tu nasuwa się podobny wniosek jak w punkcie 4.2, a mianowicie że równania te odpowiadają modelowi zamieszczonemu w rozporządzeniu w sprawie kalkulacji kosztów cyklu życia budynków, o czym bezpośrednio Kandydatka nie wspomniała. W kolejnej części 4.5 również brakuje jednostek symboli występujących w równaniach. Reasumując należy odpowiedzieć na pytanie:

5. Czy zamieszczone równania w rozdziale 4 są zaczerpnięte z rozporządzeń, czy z innych źródeł? Jeżeli tak, to dlaczego Kandydatka o tym wyrażnie nie napisała?

W punkcie 4.6 Kandydatka napisała, że CO₂ „jest gazem odpowiedzialnym za efekt cieplarniany”. Nasuwa się pytanie:

6. Co to jest efekt cieplarniany i jaki gaz jest głównym gazem odpowiedzialnym za efekt cieplarniany?

Rozdział 5 pt. **Wielokryterialna metoda wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków** jest istotny do oceny osiągnięcia naukowego Kandydatki. W rozdziale tym Kandydatka przedstawia przedmiotową metodę optymalizacyjną wybraną do wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności. Zaproponowała stosowanie dwóch metod wyznaczania wskaźnika, jedną z nich nazwała hybrydową, drugą uproszczoną metodą bezpośrednią. W metodzie hybrydowej stosuje optymalizację zarówno samych składników rozwiązań budowlano – instalacyjnych, które są związane z procesem projektowym lub modernizacyjnym budynku, jak i wariantów rozwiązań. Natomiast w drugiej metodzie stosuje optymalizację wariantów dla ustalonych składników. Kandydatka przedstawiła też dla obu metod sposób przygotowania zbioru danych wejściowych, formuły wyznaczania wartości poszczególnych kryteriów oraz sformułowanie funkcji celu optymalizacji, której minimum pozwala na wyznaczanie przedmiotowego globalnego wskaźnika energochłonności. Kandydatka zaproponowała też stosowanie klasyfikacji budynków adekwatnie do wyznaczanego globalnego wskaźnika energochłonności. Rozdział 5 zawiera dwa schematy

blokowe dwóch autorskich algorytmów wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności przy zastosowaniu metody hybrydowej i bezpośredniej, w których wykorzystuje się opisane w rozdziale 4 modele obliczeniowe. **Rozdział ten dokumentuje duże rozeznanie Kandydatki w zagadnieniach związanych z optymalizacją wielokryterialną, a opracowana autorska procedura obliczeniowa wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynku jest istotnym osiągnięciem naukowym Kandydatki.**

Rozdział 6 pt. **Studium przypadku budynku modernizowanego z wykorzystaniem hybrydowego sposobu wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków** jest pierwszym z trzech kolejnych rozdziałów, które stanowią swoistą walidację opracowanych autorskich algorytmów obliczeniowych służących wyznaczaniu globalnego wskaźnika. W tym rozdziale Kandydatka opisuje budynek referencyjny jako „dom jednorodzinny przeznaczony do modernizacji”. Należy wyjaśnić:

7. Dlaczego opisany w punkcie 6.1 budynek ma być budynkiem referencyjnym? Czy jest to projekt Kandydatki czy projekt został zaczerpnięty z literatury (powołanie na literaturę jest wtedy wymagane w tekście pracy)?

W punkcie 6.2 na początku Kandydatka opisuje przygotowanie zbioru danych wejściowych. Jednakże, wybór danych dotyczących składników przyjętych rozwiązań i ich parametry nie został wyjaśniony. Nasuwa się tutaj kilka pytań. Otóż:

8. Dlaczego przyjęto takie, a nie inne składniki, np. dlaczego pięć składników z grupy wyrobów budowlanych ma określone z góry grubości, tutaj 8 cm? Czy podane wartości grubości podlegały optymalizacji?
9. Dlaczego przyjęto takie, a nie inne składniki z grupy instalacje – źródło ciepła? Dlaczego zastosowano takie, a nie inne parametry ich pracy, tutaj moc 6 kW oraz wymiary, tutaj zasobnik o pojemności 180 dm³?
10. Co oznacza stwierdzenie, że w przypadku pompy ciepła woda-woda „dolnym źródłem ciepła jest zbiornik wodny”?

W Tabeli 6.5 przedstawiono wyznaczone wartości 5 rozważanych kryteriów, natomiast Tabela 6.6 zawiera znormalizowane wartości kryteriów optymalizacji i wskaźniki energochłonności wybranych składników. Należy wyjaśnić:

11. Co oznacza sformułowanie „znormalizowane wartości kryteriów optymalizacji”?
12. Dlaczego wskaźniki energochłonności w odniesieniu do takich składników, jak pompa ciepła gruntowa i pompa ciepła wodna różnią się?

Wielkość tych wskaźników determinują wartości wskaźników dla wariantów modernizacyjnych przedstawione w Tabeli 6.8 i wielkość globalnego wskaźnika energochłonności budynku, co jest kluczowym efektem przeprowadzonej optymalizacji. Właściwe sformułowanie przez Kandydatkę modelu optymalizacyjnego i jego algorytmów obliczeniowych potwierdzają uzyskane wyniki i ich dyskusja w tym punkcie rozdziału. Zgodnie z przedstawionymi wcześniej składnikami i wyznaczonymi dla nich wskaźnikami

energochłonności, można było oczekiwać, że takie wyniki energochłonności globalnej zostaną otrzymane. Uzyskane wyniki wskazują wyraźnie, że dla przeprowadzonej analizy istotne są dane wejściowe, odpowiednie sformułowanie poszczególnych składowych i opis ich głównych parametrów. Zróżnicowanie na wstępie wskaźników energochłonności cząstkowej determinuje ostateczny wynik. Dotyczy to m. in. rozwiązań instalacyjnych. Zgodnie z przyjętymi wskaźnikami rozwiązań instalacyjnych, okazuje się, że bardziej optymalnym rozwiązaniem jest stosowanie pompy ciepła wodnej niż gruntowej. Jest to jednak wskazanie na rozwiązanie, które silnie zależy od wprowadzonych danych. W rzeczywistości sytuacja zwykle jest odwrotna, bowiem pompa ciepła gruntowa daje większe oszczędności energii końcowej niż wodna (w przypadku korzystania z wód powierzchniowych), w konsekwencji mniejszą emisję CO₂, a pozostałe wskaźniki zależą od warunków, w których pompa ciepła funkcjonuje.

W dalszej części rozdziału 6 Kandydatka przeprowadziła analizę wpływu wag kryterialnych na ostateczną wartość globalnego wskaźnika energochłonności przeprowadzając rozważania w odniesieniu do budynku modernizowanego. Przeprowadzała obliczenia przy założeniu jednakowych wag dla wszystkich kryteriów, następnie uwzględniała wpływ redystrybucji wag kryteriów, ostatecznie wykonała obliczenia korzystając z ustalonych wag kryteriów. Zaproponowała sposób określania minimalnej wartości parametru redystrybucji pozwalający na określenie minimalnego globalnego współczynnika energochłonności. Analiza wyników obliczeń dla trzech różnych sposobów stosowania wag kryteriów pozwoliła na ocenę wpływu zmian wag na wskaźniki energochłonności budynku. Przeprowadzone rozważania pozwoliły na stwierdzenie, że wyznaczanie globalnego wskaźnika energochłonności powinno odbywać się dla danego parametru redystrybucji wag, dla którego wagi dla wszystkich rozważanych kryteriów są jednakowe. **Dzięki przeprowadzonym rozważaniom wyznaczone zostało najbardziej optymalne rozwiązanie modernizacyjne pod względem zmniejszenia energochłonności budynku** (dla przyjętych danych wejściowych, składowych optymalizacji i ich parametrów). Można więc stwierdzić, że jeden z głównych celów pracy został osiągnięty.

Rozdział 7 pt. **Studium przypadku budynku nowoprojektowanego z wykorzystaniem hybrydowego sposobu wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków** jest analogicznie sformułowany jak rozdział 6, kolejne etapy analizy optymalizacyjnej są opisane w podobny sposób i w tej samej kolejności, co jest korzystne i umożliwia łatwiejsze odnoszenie się uzyskanych wyników dla budynku nowoprojektowanego w zestawieniu z budynkiem referencyjnym. W celu przeprowadzenia analizy optymalizacyjnej przyjęto, iż budynek bazowy projektowany ma podstawowe parametry, związane z jego lokalizacją, wymiarami, powierzchnią i układem oraz funkcją jego poszczególnych pomieszczeń, analogiczne jak w przypadku budynku referencyjnego z rozdziału 6, co oczywiście jest jak najbardziej właściwym podejściem do rozważań. Jednakże, Kandydatka nie wyjaśniła dlaczego dokonała takiego wyboru kolejnych 9 składników (zarówno w odniesieniu do przegród, jak i źródeł ciepła), które skrótowo przedstawiła na stronach 102 -103. Należy to wyjaśnić, jak i inne uwagi wyrażone w kolejnych pytaniach.

13. Czym Kandydatka kierowała się przy wyborze 9 wymienionych składników i przypisaniu im konkretnych parametrów? Dane wejściowe zawsze są kluczowe do wyznaczenia danych wyjściowych, w tym przypadku globalnego wskaźnika energochłonności, od przyjęcia konkretnych danych wejściowych zależy wynik rozważań optymalizacyjnych.
14. Dlaczego początkowa (zerowa) iteracja projektowa zawiera rozwiązania budowlane przedstawione w Tabeli 7.2 i 7.3?
15. Dlaczego składnik rozwiązania źródła ciepła (numer 7 i 8, Tabela 7.4) różni się tak bardzo, że wynik końcowy analizy energochłonności w odniesieniu do ich wykorzystania jest w miarę prosty do przewidzenia bez analizy optymalizacyjnej?

Analiza optymalizacyjna w rozdziale 7 została przeprowadzona przy wykorzystaniu metody hybrydowej w odniesieniu do trzech przypadków uwzględniających zróżnicowanie wag. Uzyskane wyniki potwierdziły wnioski uzyskane dla budynku referencyjnego przedstawione w rozdziale 6, a mianowicie zalecenie co do stosowania jednakowych wartości wag kryterialnych. Jednakże, stwierdzenie Kandydatki iż: „przyjęcie innego budynku bazowego, jakkolwiek skutkować będzie zmianą wartości kryteriów dla poszczególnych składników i złożonych z nich wariantów rozwiązań, *to nie wpływa na końcową ocenę wariantów rozwiązań projektowych pod względem kolejności uszeregowanych wartości wskaźnika energochłonności budynku, jest niejasne* (druga część zdania zaznaczona kursywą).

16. Proszę wyjaśnić co oznacza druga część zacytowanego zdania.

Rozdział 7 kończy się dyskusją odnośnie do uzyskanych wyników obliczeń optymalizacyjnych, z których kilka jest istotnych dla oceny jakości pracy i osiągnięcia naukowego Kandydatki. Należy zauważyć, iż uzyskane wyniki i sformułowane wnioski mogą być istotne dla innych osób prowadzących wielowariantowe analizy optymalizacyjne w odniesieniu do różnych przedmiotów rozważań, a w szczególności do analiz energochłonności budynków.

Kandydatka wskazuje konkretne wartości zakresu parametru redystrybucji jako najbardziej miarodajne do wyznaczenia kolejności wartości wskaźnika energochłonności w przypadku nowoprojektowanego budynku. Określa też najbardziej wskazane rozwiązanie spośród zaproponowanych (co prawda można je było przewidzieć przed analizą optymalizacyjną), dla którego wartości globalnego wskaźnika energochłonności są najmniejsze. Kandydatka trafnie zauważa, iż uogólnienie metody zmiennych wag kryterialnych w przypadku innych budynków powinno podlegać weryfikacji.

Rozdział 8 pt. **Studium przypadku budynku nowoprojektowanego z wykorzystaniem bezpośredniego sposobu wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków** jest kolejnym trzecim rozdziałem (podobnie jak rozdział 6 i 7) podobnie opracowanym pod kątem przedstawienia kolejnych etapów analizy optymalizacyjnej, jej głównych elementów oraz uzyskanych wyników i wniosków. Analizę optymalizacyjną przeprowadzono, tak jak w rozdziale 7, uwzględniając stopień zróżnicowania wag kryterialnych. Różnica polega na tym,

że w tej części wykorzystano metodą bezpośrednią wskaźnika globalnego dla budynku nowoprojektowanego. Każdy z wariantów projektowanych rozwiązań jest traktowany jako budynek bazowy i podlega w sposób bezpośredni ocenie optymalizacyjnej. W wyniku przeprowadzonej analizy podobnie jak poprzednio sformułowano zalecenie co do stosowania jednakowych wartości tych wag. Uzyskano również identyczną (jak w rozdziale 7) kolejność zalecanych wariantów rozwiązań dla nowo projektowanych budynków, dla których globalny wskaźnik energochłonności osiągnął odpowiednio niskie wartości, w tym ten sam wariant rozwiązań budowlano – instalacyjnych okazał się najlepszy (otrzymał najmniejszą wartość globalnego wskaźnika energochłonności).

Rozdział 9 pt. **Zakończenie – Wnioski** stanowi podsumowanie pracy. Kandydatka skrótkowo przedstawia istotne cechy opracowanej przez siebie metody wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków. W tym miejscu nasuwają się kolejne pytania. Otóż:

17. Opracowana metoda może być stosowana dla dowolnego typu budynków, jak pisze Kandydatka, a więc nasuwa się pytanie odnośnie do możliwości stosowania tej metody także dla budynków przemysłowych, hal sportowych, basenów, itp.? Bowiem w przypadku takich budynków mogą występować nowe składowe bilansu cieplnego budynku, które standardowa metoda wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku (zgodna z rozporządzeniem „Metodologia wyznaczania charakterystyki ...”) nie uwzględnia. A to na tej standardowej metodzie opiera się model obliczeniowy Kandydatki przy wyznaczaniu energii końcowej.
18. Czy istnieje możliwość adaptacji opracowanego algorytmu do zagadnień energooszczędności w odniesieniu do całych kompleksów budowlanych, np. ośrodków rekreacyjnych, sportowych, przemysłowych, a następnie osiedli miejskich i poza miejskich, składających się z budynków o różnym przeznaczeniu (funkcji), czy każdy z budynków należy rozpatrywać oddzielnie?

Kandydatka sformułowała też wnioski odnośnie do stosowanych metod analizy optymalizacyjnej bezpośredniej i hybrydowej. Wskazała, w jakiej sytuacji należy stosować bardziej szczegółową metodę hybrydową (np. dla tzw. budynków zero- energetycznych), a kiedy metodę bezpośrednią (standardowe budynki). Zaproponowała też kierunki dalszych badań. Kandydatka stwierdziła, że zostały osiągnięte sformułowane w pierwszym rozdziale cele szczegółowe. Jednym z nich było utworzenie baz danych obejmujących specyfikację parametrów budynku. Jednakże, trudno jest ocenić realizację tego celu bez dostępu do tych baz, a co więcej niektóre rozwiązania, szczególnie instalacyjne i ich parametry budzą szereg wątpliwości. I tutaj pojawia się kolejne pytanie:

19. Skoro baza danych jest otwarta, jak pisze Kandydatka, to czy jest jakiś wzór, szablon, który zawiera sposób opisu wprowadzanych danych, w tym jego zakres, liczbę wprowadzanych parametrów, ich szczegółowość, itp.?

Kandydatka stwierdziła, że przyjęcie jednakowych wag kryterialnych daje miarodajną ocenę

energochłonności, ale mogą być też przyjmowane różne wagi w zależności od wymagań użytkownika lub specyfikacji projektu. Rzeczywiście zróżnicowanie wag może być związane z typem użytkownika (budynek mieszkalny, usługowy, przemysłowy, itp.) i jego wymaganiami, które często mogą się bardzo różnić. Jednakże efekt energochłonności budynku z jednej strony wynika bezpośrednio z jego projektu architektoniczno – budowlanego i zastosowanych rozwiązań instalacyjnych, z drugiej jest silnie zależny od sposobu eksploatacji budynku, co powinno być również brane pod uwagę w analizach optymalizacyjnych i co może stanowić też jeden z tematów przyszłych badań. **Kandydatka zaproponowała wprowadzenie nowego parametru efektywności ekonomicznej, tj. liczby cykli zrównoważenia nakładów inwestycyjnych w przypadku nowoprojektowanych budynków. Pomysł na wprowadzenie takiego parametru jest rzeczywiście bardzo celowy, bowiem pozwoli on oszacować efektywność ekonomiczną rozwiązań budowlanych i instalacyjnych w planowanych nowych inwestycjach.**

2.3. Uwagi pozostałe

W niniejszym punkcie zostały sformułowane pozostałe uwagi w odniesieniu do całej rozprawy, które nie są uwagami co do jakości merytorycznej rozprawy.

W pracy występują pewne błędy edytorskie np. w niektórych równaniach, co utrudnia ich zrozumienie. Pojawiają się też drobne błędy językowe i redakcyjne.

W rozprawie brakuje zestawienia głównych oznaczeń i symboli wraz z jednostkami na początku pracy.

W celu uzyskania większej przejrzystości pracy, a w szczególności uzyskanych wyników wskazane byłoby przedstawienie globalnych wskaźników energochłonności i wskaźników częściowych dla rozważanych budynków w formie graficznej (np. wykresy słupkowe).

W zestawieniu piśmiennictwa w części pt. *Artykuły w czasopismach naukowych* wiele publikacji nie ma charakteru naukowego i powinny się znaleźć w odrębnej części np. *Inne publikacje*.

2.4. Podsumowanie

Reasumując, przeprowadzone obliczenia i analizy wg autorskiej metody Kandydatki pozwoliły na udowodnienie tezy rozprawy, że możliwe jest wyznaczenie optymalnej kombinacji składników opisujących energochłonność budynku poprzez wykorzystanie zaproponowanej autorskiej metody (algorytmu) wyznaczenia globalnego wskaźnika energochłonności. Autorska metoda optymalizacji wielokryterialnej uwzględniająca pięć istotnych kryteriów, jakimi są: zapotrzebowanie na energię końcową, koszt, trwałość, liczba cykli zrównoważenia nakładów inwestycyjnych dla nowoprojektowanych budynków lub czas zwrotu nakładów inwestycyjnych dla budynków modernizowanych, oraz emisja dwutlenku węgla stanowi wyraźny wkład w rozwój badań optymalizacyjnych w odniesieniu do wyznaczania energochłonności budynków. Została ona zweryfikowana dla trzech studiów

przypadku (rozdział 6, 7, 8) dla budynku modernizowanego i budynku nowoprojektowanego dokumentując **możliwość jej wykorzystania jako narzędzia wspierającego analizy energochłonności pod kątem zwiększenia efektywności energetycznej, ekonomicznej i efektu środowiskowego.**

Jak słusznie Kandydatka zauważyła, brakuje publikacji (jest ich rzeczywiście niewiele), w których autorzy analizują i stosują różne **metody optymalizacji wielokryterialnej do oceny zbioru wielu składników wpływających na energochłonność budynków.** W tym zakresie badania Kandydatki stanowią **rzeczywistą wartość dodaną do prowadzonych analiz wyznaczania kompleksowej energochłonności budynku.** Jednakże, istotną sprawą jest **dobór właściwych składników i ich odpowiedni ujednolicony opis fizyczny i atematyczny, co powinno być tematem dalszych badań Kandydatki, bowiem można mieć sporo pytań do tej części pracy, która odnosi się do właściwego doboru składników i przypisania im odpowiednich parametrów, w szczególności dotyczy to rozwiązań instalacyjnych, ale nie tylko.** Można uznać, że praca Kandydatki **jest przyczynkiem do prowadzenia bardziej zaawansowanych analiz optymalizacyjnych co do energochłonności istniejącego współczesnego budownictwa, jak i jego przyszłych jego rozwiązań.** Opracowanie procedury obliczeniowej wymagało dużej wiedzy podstawowej z zakresu optymalizacji wielokryterialnej i znajomości rozwiązań technologii budowlanych oraz umiejętności połączenia ich w efektywny spójny sposób w celu stworzenia narzędzia do oceny energochłonności budynków.

Można więc stwierdzić, iż **Kandydatka zajęła się istotną problematyką badawczą, która daje mierzalne efekty aplikacyjne.** Rozdział 5 formułujący samą wielokryterialną metodę optymalizacyjną zastosowaną do oceny energochłonności budynków oraz algorytm wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności, a następnie rozdziały 6, 7 i 8 przeprowadzające weryfikację opracowanego algorytmu dla budynku modernizowanego i budynku nowoprojektowanego, w których wykorzystano metodę bezpośrednią i hybrydową do wyznaczenia globalnego wskaźnika energochłonności, są **istotne w odniesieniu do pokazania złożoności procesu badawczego, jego rozwiązania i możliwości aplikacyjnych, a tym samym do zobrazowania osiągnięcia naukowego Kandydatki.** Przeprowadzenie szerokiego zakresu badań podstawowych i symulacyjnych, w tym weryfikacja opracowanego algorytmu optymalizacyjnego, obrazują odpowiednią jakość naukową uzyskanych wyników i sformułowanych wniosków.

Rozprawa dotyczy bardzo istotnego zagadnienia zarówno badawczo – naukowego, jak i wdrożeniowego. Problem ograniczenia energochłonności budownictwa jest i będzie bardzo istotnym zagadnieniem związanym z dążeniem do urzeczywistnienia zasad zrównoważonego rozwoju, a jego realizacja jest możliwa dzięki wykorzystaniu metod badawczo – naukowych, czego przykładem jest recenzowana praca. Dlatego też **podjęcie przez Kandydatkę problematyki rozprawy uważam za celowe i świadczące o dobrym rozeznaniu przez Kandydatkę współczesnych zagadnień budownictwa i problematyki energooszczędności**

(pomimo opracowania i zamieszczenia w pracy rozdziału 2, praktycznie nie nadającego się w obecnej postaci do publikacji).

3. Wniosek Końcowy

Rozprawa doktorska pani mgr inż. Aleksandry Stachery wnosi widoczny wkład w rozwój nauk technicznych, w szczególności badań z zakresu optymalizacji wielokryterialnej i budownictwa, w tym energochłonności budynków. Kandydatka wykazała w pracy, w jaki sposób w celu realizacji postawionych zadań badawczo – aplikacyjnych można wykorzystywać metody optymalizacyjne w analizach energochłonności budownictwa. Kandydatka w sposób konsekwentny i przejrzysty opisała podstawy i praktyczne zastosowanie metod optymalizacji wielokryterialnej w analizach energochłonności budownictwa. Opracowanie przez Kandydatkę autorskiej metody analizy energochłonności budynków modernizowanych i nowoprojektowanych obejmująca stworzenie algorytmów do wyznaczania globalnego wskaźnika ich energochłonności przy wykorzystaniu optymalizacji wielokryterialnej i sposobu jej realizacji w sposób hybrydowy i bezpośredni, a następnie weryfikacja zaproponowanej metody poprzez przeprowadzenie studium przypadku dla rozważanych budynków modernizowanych i nowoprojektowanych stanowią ważne osiągnięcie naukowo – badawcze Kandydatki.

Przeprowadzone przez Kandydatkę prace stanowią widoczny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport. W szczególności wnoszą one wartość dodaną w odniesieniu do badań dotyczących zmniejszenia energochłonności budownictwa dając narzędzie do prowadzenia skutecznych wielokryterialnych analiz optymalizacyjnych w tym zakresie.

Wartość merytoryczna rozprawy i oryginalne osiągnięcia Kandydatki spełniają wymagania wymienione w przepisach Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018r. (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668) z późniejszymi zmianami, tj. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 10 marca 2023 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz. U. 2023 poz. 742, szczególnie Dział V Stopnie i tytuł w systemie szkolnictwa wyższego i nauki, Rozdział 2 Stopień doktora, Oddział 1 Nadawanie stopnia doktora, Art.187, i wobec powyższego wnoszę do Wysokiej Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie o przyjęcie rozprawy doktorskiej „Wielokryterialna metoda wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków” pani mgr inż. Aleksandry Stachery, do dalszego etapu w postępowaniu o nadanie stopnia doktora nauk technicznych.

