

dr hab. inż. Michał Piasecki, prof. ITB
Zakład Fizyki Ciepłej, Akustyki i Środowiska
Instytut Techniki Budowlanej

Warszawa, dnia 21.VII.2025r.

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Stachery
pod tytułem: „Wielokryterialna metoda wyznaczania globalnego wskaźnika
***energochłonności budynków*”**

Recenzję opracowano w związku z Uchwałą nr 24/RDN/ILGiT/2025 Rady Dyscypliny Naukowej "Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport" Wojskowej Akademii Technicznej z dnia z 13 maja 2025 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Stachery.

1. Ogólna charakterystyka układu pracy

Recenzowana praca została opracowana w roku 2025 pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Adama Stolarskiego, jako promotora, w Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Praca doktorska mgr inż. Aleksandry Stachery została napisana w języku polskim, zawiera w 176 numerowanych stron w części głównej, w tym 8 stron streszczeń po wykazie literatury. Spis literatury zawiera 286 pozycji, ułożonych w kolejności alfabetycznej, w tej liczbie zawierają się także odwołania do norm i innych aktów prawnych, wyszczególnione osobno.

Oprócz rozdziałów merytorycznych w pracy zawarto:

- 8-stronicowe streszczenie w języku polskim i angielskim,
- 3-stronicowy spis treści,
- 19-stronicowy spis bibliografii.

W pracy nie zawarto wykazu skrótów i akronimów, spisu rysunków i spisu tabel, nie wyszczególniono słów kluczowych.

Na merytoryczną część pracy składa się 9 rozdziałów:

Rozdz. 1. Wstęp, zawierający problematykę, cel, zakres i tezę pracy (10 stron)

Rozdz. 2. Przegląd składników mających wpływ na efektywność energetyczną budynku (28 stron)

Rozdz. 3. Przegląd metod optymalizacji wielokryterialnej (9 stron)

Rozdz. 4. Przegląd kryteriów oceny (15 stron)

Rozdz. 5. Opis metody wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków (9 stron)

Rozdz. 6. Część badawcza- studium przypadku budynku modernizowanego -metoda hybrydowa (26 stron)

Rozdz. 7. Część badawcza- studium przypadku budynku nowoprojektowanego - metoda hybrydowa (26 stron)

Rozdz. 8. Część badawcza- studium przypadku budynku nowoprojektowanego - metoda bezpośrednia (18 stron)

Rozdz. 9. Zakończenie i wnioski (5 stron)

Struktura pracy jest logiczna, odpowiadająca pracom doktorskim i obejmuje: wprowadzenie, przegląd literatury, metodologię, studia przypadków oraz wnioski.

2. Ocena merytoryczna pracy

2.1. Ocena doboru tematu i tytułu pracy

Autorka podjęła tematykę wielokryterialnej optymalizacji w projektowaniu budynków energooszczędnych, koncentrując się na opracowaniu metody wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności. Temat badawczy jest aktualny i istotny dla dziedziny inżynierii lądowej, szczególnie w kontekście zrównoważonego rozwoju i efektywności energetycznej budynków, zwłaszcza w wymiarze praktycznym. Autorka słusznie wskazała na lukę dotyczącą metod oceny wielokryterialnej stosowanych przy projektowaniu czy modernizacji budynków, choć warto zauważyć, że niektóre aspekty (np. emisyjność budynków) mogłyby zostać bardziej uwypuklone w świetle najnowszych regulacji (np. nowelizacji dyrektywy EPBD). Projektowanie budynków energooszczędnych wymaga uwzględnienia wielu czynników, takich jak koszty,

komfort użytkowników, wpływ na środowisko, trwałość konstrukcji, zmiany klimatyczne i estetykę. Optymalizacja wielokryterialna ma umożliwiać zatem znalezienie kompromisów między tymi często sprzecznymi celami. Badania w tej dziedzinie obejmują m.in. rozwój zaawansowanych algorytmów optymalizacyjnych, integrację narzędzi projektowych z analizami energetycznymi oraz ocenę wpływu różnych strategii projektowych na efektywność energetyczną budynków. Temat badawczy jest więc nie tylko aktualny, ale także dynamicznie rozwijający się, co czyni go ważnym obszarem badań i wdrożeń w architekturze i inżynierii lądowej. Należy więc uznać, że podjęcie tej tematyki przez mgr inż. Aleksandrę Stacherę jest próbą wypełnienia stwierdzonej luki i rozwiązania problemu, nie tylko o znaczeniu naukowym, ale także praktycznym.

2.2. Teza pracy i cel pracy

Teza pracy brzmi: „możliwe jest wyznaczenie globalnego wskaźnika energochłonności budynku na podstawie metody optymalizacji wielokryterialnej”. Pewne obiekcje można mieć w stosunku do jednoznacznego zrozumienia postawionej tezy. Nie wynika bowiem z samej tezy, czy jest w niej mowa o określaniu energochłonności budynku zdefiniowanej jako miara ilości energii zużywanej przez budynek w określonym czasie, wyrażana w jednostkach energii na jednostkę powierzchni (np. kWh/m²/rok) lub na jednostkę objętości (np. kWh/m³/rok). Miara ta zazwyczaj to wskaźnik, który określa, jak efektywnie budynek wykorzystuje energię do ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, oświetlenia oraz innych potrzeb energetycznych. Na pierwszy rzut oka, teza może sugerować dobór optymalnych elementów budowlanych i instalacyjnych, ze względu na różne kryteria, tak aby energochłonność budynku (rozumiana tradycyjnie) była najniższa i tym razem praca tego nie dotyczy. Choć sformułowanie Tezy jest ogólne, Autorka w dalszej części pracy definiuje wskaźnik energochłonności jako wartość funkcji celu w optymalizacji i uzasadnia jego zastosowanie.

Autorka pod zapisaną tezą wskazuje też, że udowodnienie jej wymaga weryfikacji zaproponowanej metody na podstawie studiów przypadku. Weryfikacja metody optymalizacyjnej w rozumieniu klasycznym to proces sprawdzania, czy dana metoda spełnia założone kryteria poprawności, skuteczności i niezawodności w kontekście rozwiązania określonego problemu optymalizacyjnego.

Tytuł pracy ma również ogólny charakter i może wskazywać, że w pracy pojawiają się niesprecyzowane rozważania na temat energochłonności budynków. Tymczasem zrealizowany zakres pracy jest bardzo konkretny.

Główne cele pracy, Autorka definiuje w rozdziale 1.2 na stronie 10 i 11:

- (1) „opracowanie nowej metody wyboru optymalnej kombinacji składników określających energochłonności budynków za pomocą proponowanego, globalnego wskaźnika energochłonności budynków”
- (2) Weryfikacja zaproponowanej metody na podstawie studiów przypadków, obejmujących budynek modernizowany, jak i nowoprojektowany.

Cele pracy są jasno określone i zostały zrealizowane poprzez analizę studiów przypadków. Cała ma charakter teoretyczny z elementami analitycznymi, a Autorka wykazuje się znajomością tematu i umiejętnością prowadzenia badań naukowych.

2.3. Ocena wartości naukowej pracy i ogólne uwagi merytoryczne

We wstępie, dotyczącym uzasadnienia problematyki badawczej, Autorka po przedstawieniu literatury dot. energooszczędności w budownictwie (podrozdział 1.1) na bazie przedstawionej literatury (warto zaznaczyć, że z okresu 2002-2015) bardzo krótko wyjaśniła powody podjęcia tematu. Stwierdza konieczność doboru odpowiednich materiałów, technologii i instalacji spełniających zasady budownictwa energooszczędnego pozwalającego na ograniczenie zużycia energii, ze względu na to, że istnieje taki trend w budownictwie. W podrozdziale 1.2. dotyczącym tezy i celów rozprawy, Autorka kontynuuje przegląd literatury, który moim zdaniem powinien być bardziej jednoznacznie oddzielony od Tezy (jako osobny podrozdział). W podrozdziale (1.2), włącza zagadnienia dotyczące optymalizacji wielokryterialnej i konkluduje, że mimo rozwoju dziedziny w dostępnej literaturze podmiotu brakuje publikacji, które bezpośrednio odnosiłyby się do oceny wpływu zbioru wielu składników na energochłonność budynku. W kontekście tradycyjnie definiowanej energochłonności takich publikacji jest dużo a w kontekście analiz optymalizacji wielokryterialnej, recenzentowi znane są takie publikacje. W tym kontekście uważam, że pomimo istnienia potrzeby prowadzenia prac badawczych w podjętym zakresie, umocowanie prowadzonej działalności naukowej Autorki w kontekście rozwoju istniejącej wiedzy naukowej oceniam tylko dostatecznie. Autorka w ostatnim zdaniu podrozdziału

konkluduje, że praca jest odpowiedzią na otwierającą się przestrzeń badawczą. W mojej ocenie przestrzeń ta jest od dawna otwarta a zakres prac badawczych w tej przestrzeni powinien być lepiej określony m.in. mając na uwadze sposób w jaki nowa wiedza wynikająca z prowadzonej pracy naukowej wzbogaca istniejącą wiedzę. Pomimo zacytowania w pracy aż 251 opracowań naukowych i publikacji nie odnosi się w tym przypadku wrażenia, że praca badawcza Autorki jest z tą bogatą literaturą i osiągnięciami innych naukowców powiązana w znaczący sposób. Należy też zaznaczyć, że ostatnią aktualną publikacją cytowaną we wstępie jest praca z 2021, co może wskazywać na brak przeglądu badań ostatnich lat. W przeglądzie literatury nie zostało też wyróżnione przejście z paradygmatu energooszczędności na zmniejszenie emisyjności budynków (nowelizacja EPBD), gdzie wszystkie budynki nowo powstające (od 2030) mają być zero emisyjne w całym cyklu życia a nie tylko energooszczędne i rola wag dotyczących ograniczenia emisji mogła by być w konsekwencji znacznie większa.

Rozdział 2, strony 15-42, zawiera przegląd i ogólną charakterystykę potencjalnych składników wpływających na efektywność energetyczną budynku. W ramach tego przeglądu uwzględniono łącznie pięćdziesiąt sześć grup składników w 3 głównych rodzajach, które są rozpatrywane w procesie projektowania i budowy obiektów budowlanych. Przedstawiona charakterystyka wg. Autorki umożliwia zrozumienie, w jaki sposób poszczególne składniki przyczyniają się do całościowej efektywności energetycznej budynku. Przegląd tych elementów, choć bogaty i wykazujący ogólną wiedzę Autorki w swojej dyscyplinie, nie jest jednak bezpośrednio wykorzystany w dalszej części analitycznej pracy (lub tylko w ograniczonym zakresie) i w tym kontekście mógłby nie stanowić w mojej ocenie oryginalnego elementu pracy niezbędnego do włączenia do pracy, zwłaszcza że stanowi aż 27 stron.

Rozdział 3 poświęcony jest charakterystyce metod optymalizacji wielokryterialnej. W rozdziale tym przedstawiono zarys historyczny rozwoju optymalizacji wielokryterialnej oraz dokonano przeglądu metod optymalizacji, klasyfikując je w trzech głównych grupach. W rozdziale przedstawiono również charakterystykę metod doboru wag kryteriów umożliwiających dokonanie preferencyjnego wyboru w ramach analizy wielokryterialnej. W mojej ocenie w przeprowadzonym przeglądzie brakuje oryginalnej opinii i oceny na temat możliwości wykorzystania, lub dopasowania tych

metod do własnych celów badawczych. W zasadzie takie uzasadnienie zawiera tylko jedno zdanie na stronie 51.

Rozdział 4 zawiera szczegółowy opis kryteriów oceny energochłonności budynku. Podstawowym punktem odniesienia w analizie energochłonności jest budynek referencyjny w przypadku rozwiązań modernizacyjnych lub budynek bazowy w przypadku rozwiązań projektowych. Przedstawiono systematykę i specyfikację parametrów opisujących te budynki. W ramach przeprowadzonej optymalizacji przyjęto pięć kluczowych kryteriów względne roczne zapotrzebowanie na energię końcową, koszt, trwałość, czas zwrotu nakładu inwestycyjnego dla budynku referencyjnego lub liczby cykli zrównoważenia nakładu inwestycyjnego dla budynku bazowego oraz emisję dwutlenku węgla (ograniczoną tylko do emisji w fazie użytkowania budynku). Zdefiniowane kryteria stanowią podstawę analizy efektywności energetycznej budynku, umożliwiając dobrze zdefiniowaną ocenę jego wpływu na środowisko oraz ekonomiczne aspekty użytkowania. Praca miałaby w mojej ocenie większy walor naukowy, gdyby omówiła sposób wyznaczania wag kryteriów w oparciu o literaturę i analizę możliwości. Przykładowo, gdy kryteria metody optymalizacyjnej są silnie skorelowane (np. jak ma to miejsce dla energii i emisji) należałoby pewnie wyznaczać wagi z uwzględnieniem korelacji tych kryteriów, w konsekwencji zmniejszając ich wagę.

Rozdział 5 poświęcony jest przedstawieniu metody wielokryterialnej wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynku. Ten rozdział w mojej ocenie zawiera kluczowe elementy oryginalne pracy. Zaproponowano dwa sposoby wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności: sposób hybrydowy i sposób bezpośredni. Sposób hybrydowy jest ogólnym sposobem połączonej optymalizacji zarówno poszczególnych składników rozwiązań modernizacyjnych lub projektowych jak i wariantów rozwiązań jako zbioru tych składników. Natomiast sposób bezpośredni jest uproszczonym sposobem optymalizacji wyłącznie wariantów rozwiązań modernizacyjnych lub projektowych jako ustalonych zbiorów poszczególnych składników. Wartość wskaźnika energochłonności jest sumą iloczynów wag kryteriów oraz ich znormalizowanych wskaźników. Dla każdego sposobu przedstawiono szczegółowe formuły obliczania wartości poszczególnych kryteriów oraz sformułowanie funkcji celu optymalizacji umożliwiającej wyznaczanie globalnego wskaźnika energochłonności budynku. W rozdziale przedstawiono również propozycję

określenia i kwalifikacji klas energochłonności wariantów rozwiązań modernizacyjnych lub projektowych, przy czym nie wytłumaczono, czy przyjęta skala jest obiektywizowana. Jak się okazuje później na podstawie wyników, „doskonałą klasę” mogą mieć wartości globalnego współczynnika wyższe zaledwie o ok. 10 procent od „wartości niezalecanych” - klasa najgorsza. Rozdział 5 zawiera bardzo czytelne schematy blokowe algorytmów obliczeniowych sposobem hybrydowym oraz sposobem bezpośrednim. Schematy określają kolejne etapy analizy wraz z odwołaniem do formuł obliczeniowych. Przedstawione algorytmy są podstawą opracowania autorskiej procedury obliczeniowej wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynku. I właśnie w nich dostrzegam samodzielne osiągnięcie. Przy czym sam sposób utworzenia funkcji celu oraz określenia wag poprzez normalizację wartości wskaźników jest dość standardowym postępowaniem w metodach optymalizacyjnych. Rozwiązaniem oryginalnym jest natomiast w mojej ocenie opis procesu, algorytm oraz wykorzystanie specyficzne do rozwiązania problemu. Sam dobór wybranych kryteriów nie jest moim zdaniem wysrtarczająco uzasadniony, aczkolwiek można przyjąć, że odpowiada założeniom celu i realizacji dowodu w stopniu wystarczającym.

Rozdział 6 prezentuje analizę studium przypadku budynku modernizowanego, w której wykorzystano hybrydowy sposób wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynku. W celu określenia globalnego wskaźnika energochłonności przyjęto budynek referencyjny jako dom jednorodzinny przeznaczony do modernizacji. Analizę obliczeniową przeprowadzono w trzech sytuacjach obliczeniowych. W pierwszej sytuacji obliczeniowej przyjęto założenie jednakowych wag dla wszystkich kryteriów. W drugiej sytuacji uwzględniono wpływ redystrybucji wag kryteriów na wskaźniki energochłonności. W trzeciej sytuacji obliczenia przeprowadzono na podstawie ustalonych kombinacji wag kryterialnych. Analiza wyników uzyskanych na podstawie tych sytuacji obliczeniowych, pozwoliła na ocenę wpływu zmian wag na wskaźniki energochłonności budynku. W wyniku analizy Autorka rekomenduje wyznaczenie globalnego wskaźnika energochłonności dla parametru redystrybucji wag kryterialnych, dla którego wagi kryterialne są jednakowe.

Biorąc pod uwagę, że zużycie energii przez budynek powinno mieć dominującą wagę, oraz to, że emisja CO₂ jest silnie skorelowana z tym zużyciem energii, dość dyskusyjne wydają się uzyskane wnioski dotyczące rekomendowania takich samych

wag. Ciekawe są jednak analizy za pomocą redystrybucji wag oraz specyficznego zwiększania wag kryteriów. Przy czym autorka moim zdaniem nie wykorzystała w pełni możliwości wyciągnięcia szerszych wniosków, koncertując się na swoich wynikach (wartościach liczbowych a nie na tym co z nich wynika), które to mają potwierdzić wniosek, że wagi jednakowe są najbardziej rekomendowane. Moim zdaniem jest to tylko wniosek poboczny, nadmiernie uwypuklony.

W następnych dwóch rozdziałach przedstawiono analizę studium przypadku budynku nowoprojektowanego, w których wykorzystano dwa sposoby wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynku: sposób hybrydowy - Rozdział 7 oraz sposób bezpośredni - Rozdział 8. W celu określenia globalnego wskaźnika energochłonności projektowanego budynku przyjęto podstawowe parametry budynku bazowego identyczne pod względem lokalizacji, wymiarów, powierzchni oraz programu funkcjonalnego jak w budynek referencyjny rozważany w Rozdziale 6. Jednak w zależności od wymagań procedury obliczeniowej realizowanej sposobem hybrydowym czy bezpośrednim, w różny sposób traktowane jest uzupełnienie tych parametrów przez uwzględnienie parametrów wariantów projektowych rozwiązań konstrukcyjnych, materiałowych i instalacyjnych. Ponadto, w analizie wielokryterialnej stosowane jest kryterium liczby cykli zrównoważenia nakładu inwestycyjnego, zamiast kryterium czasu zwrotu nakładu inwestycyjnego jak dla modernizowanego budynku referencyjnego.

I tak, w Rozdziale 7, biorąc pod uwagę fakt, że w przypadku procedury projektowania wybór budynku bazowego zerowej iteracji projektowej jest dowolny, przyjęto, że budynek bazowy stanowi jeden z wariantów rozwiązań projektowych. Analizę obliczeniową przeprowadzono w trzech sytuacjach obliczeniowych dotyczących uwzględnienia stopnia zróżnicowania wag kryterialnych, podobnie jak w Rozdziale 7. W wyniku analizy Autorka również tutaj rekomenduje stosowanie jednakowych wartości wag kryterialnych. Wykazano, że przyjęcie innego budynku bazowego, jakkolwiek będzie skutkować 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.

Natomiast w Rozdziale 8 przyjęto, że każdy z wariantów rozwiązań projektowych będzie traktowany jak budynek bazowy, a więc będzie podlegał bezpośredniej ocenie

wielokryterialnej. Analizę obliczeniową przeprowadzono w trzech sytuacjach obliczeniowych dotyczących uwzględnienia stopnia zróżnicowania wag kryterialnych, podobnie jak w Rozdziale 8. W wyniku analizy ponownie Autorka rekomenduje stosowanie jednakowych wartości wag kryterialnych i wygląda to na podstawowy wniosek płynący z wszystkich analiz. W Rozdziale 8 wykazano, że w wyniku analizy sposobem bezpośrednim uzyskano identyczne kolejności wariantów rozwiązań nowoprojektowanych, a zatem wskazano ten sam wariant rozwiązania nowoprojektowanego, który osiągnął globalny wskaźnik energochłonności budynku, jak w przypadku analizy sposobem hybrydowym, co jest istotne wg. Autorki dla wniosków z pracy.

W Rozdziale 9 przedstawiono podsumowanie wyników pracy oraz wnioski wynikające z jej realizacji. W podsumowaniu przeprowadzonych badań wskazano istotne cechy proponowanej metody wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków. Sformułowano wnioski wynikające z przeprowadzonych analiz porównawczych dwóch sposobów: hybrydowego i bezpośredniego, wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności, w kontekście ich stosowania w budynkach modernizowanych i nowoprojektowanych. Wskazano kierunki dalszych badań, uwzględniające możliwość doskonalenia proponowanej metody oraz jej zastosowanie w praktyce.

Faktyczna dyskusja wyników badań jest zawarta w podrozdziałach 6.3.3, 7.3.4 i 8.5. Autorka omawia tam uzyskane wyniki (studium przypadków) w kontekście uzyskanych wartości wyników optymalizacji. W podsumowaniu brakuje natomiast dyskusji znaczenia uzyskanych wyników w odniesieniu do istniejących metod i aktualnej wiedzy. Przydałby się taki rozdział. Co więcej od strony 67 do końca opracowania autorka już nie odwołuje się do wyników i badań innych autorów, co za tym idzie wartość osiągnięcia nie jest zestawiona (skonfrontowana) z aktualną wiedzą.

We wszystkich przykładach w pracy zmiana wartości wag kryteriów (czy to przez współczynnik redystrybucji czy nadanie ręczne wyższych wag kryteriom) prowadzi do wyboru różnych wyników tzw. optymalnych rozwiązań technologicznych. Z tej sytuacji Autorka wyszczególnia wyniki, które dają zgodne wyniki wytypowanych rozwiązań. Wydaje się, że cenniejsze byłoby omówienie tego do czego prowadzi przyjęcie wyższej wagi kryterium na wynik końcowy niż rekomendowanie jednego

sposobu „ważenia”, który w istocie rzeczy jest sposobem najprostszym, nie obiektywizującym wpływu parametru na wynik optymalizacji.

Na podstawie całego tekstu pracy w kontekście oceny naukowości i wartości merytorycznej pracy oraz sformułowanych na koniec wniosków chciałbym przestawić moje wnioski i uwagi. Praca ma charakter teoretyczny, przykłady optymalizacji zostały przyjęte na potrzeby pracy. Autorka bardzo biegle realizuje proces analityczny, ustala warunki brzegowe, sposób prowadzenia analizy, dokonując sprawnie analiz. Bardzo dobrze też są zaprezentowane wyniki m.in. w formie czytelnych tabel ale już nieco gorzej ich omówione. Sam opis zaproponowanej metody jest uporządkowany i estetyczny, co jest mocnym atutem pracy. Wyszczególniona literatura jest bogata, zwłaszcza dotycząca materiałów i wyrobów budowlanych oraz szeroko pojętej efektywności energetycznej. W kontekście literatury dotyczącej metod optymalizacyjnych oraz ich wykorzystania do podobnych prac optymalizacyjnych w moim odczuciu istnieje pewien niedosyt, nie zbudowano wyraźnego pomostu pomiędzy istniejącą wiedzą a dociekaniem Autorki. Samo przyjęcie kryteriów oraz wybór metody nie wynikają bezpośrednio z istniejącej wiedzy a zagadnienie optymalizacyjne nie wyczerpuje ilości decyzji jakie trzeba podjąć przy modernizacji czy projektowaniu budynku energooszczędnego.

Niemniej biorąc pod uwagę całość, Autorka wykazuje się znajomością i umiejętnością samodzielnego prowadzenia prac badawczych, wykorzystania metod analitycznych, projektowania metod obliczeniowych i właściwego przedstawienia wyników. Przedstawiona rozprawa doktorska prezentuje opanowaną ogólną wiedzę teoretyczną i stanowi własne rozwiązanie problemu naukowego w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Sama metoda jak pisze Autorka jest „rozwojowa” może włączać inne kryteria, w kierunku wykorzystania praktycznego i to również należy podkreślić, że tak jest.

Podsumowując praca wnosi oryginalne rozwiązanie w postaci metody hybrydowej i bezpośredniej wyznaczania wskaźnika energochłonności. Algorytmy przedstawione w rozdziale 5 stanowią w mojej ocenie wkład w rozwój metod optymalizacji w budownictwie.

3. Uwagi szczegółowe

3.1. Uwagi merytoryczne

Oprócz uwag zawartych w ogólnym opisie pracy, przy jej czytaniu nasuwają się następujące szczegółowe uwagi merytoryczne, z których wybrana część powinna zostać zaadresowana w czasie obrony doktorskiej:

1. W tytule pracy i tezie pojawia się określenie „współczynnik energochłonności”. Dopiero po analizie treści pracy uzyskuje się wiedzę, że chodzi o tzw. współczynnik energochłonności (definiowany przez autorkę indywidualnie na potrzeby pracy), który jest miarą procesu optymalizacji wielokryterialnej. W tym kontekście definicja autorska koliduje z potocznie rozumianą definicją współczynnika energochłonności.
2. W uzasadnieniu pracy i przeglądzie literatury mocno zarysowana jest potrzeba działania na rzecz zmniejszenia energochłonności budynków. Aktualnie zmienia się ten paradygmat (np. jak podaje nowelizacja dyrektywy EPBD) i znacznie mocniej zarysowany jest problem zmniejszenia emisji z budynków. Czy powinno to mieć jakieś odzwierciedlenie w przyjmowanych wagach opracowanej metody?
3. We wszystkich aktualnych metodach oceny środowiskowej budynków mówi się, że w ocenie budynku powinno się brać nie tylko pod uwagę emisję związaną z emisją związaną z użytkowaniem budynku, ale też emisją tzw., wbudowaną związaną z wytworzeniem instalacji i wyrobów. Czy uwzględnienie tej emisji wbudowanej może mieć wpływ na uzyskiwane wyniki (gdyby ją uwzględnić?)
4. Na stronie 6 wskazano, że „...obecnie dąży się” ...razem z cytowaniem z roku 2008. Czy jest to wciąż aktualne?
5. W dość krótkim podrozdziale 1.2 (Problematyka...) monografia autorstwa Klemm P. (2007) cytowana jest 4 razy. Czy w jakiś szczególny sposób praca ta inspirowała Autorkę?
6. Problematyka i jej uzasadnienie (w podrozdziale 1.1) podpierana jest literaturą, w której najnowsza cytowana praca jest z roku 2015. Czy wskazana problematyka jest wciąż aktualna 10 lat później?

7. W podrozdziale 1.2. dotyczącym tezy i celów rozprawy, Autorka kontynuuje przegląd literatury, który być może powinien być bardziej jednoznacznie oddzielony od Tezy (jako osobny podrozdział)...
8. Pod tezą Autorka wskazuje, że osiągnięcie celów wymaga opracowania bazy danych obejmującej wymagane parametry elementów wpływających na energochłonność budynków. W dalszej części pracy określenie „baza danych” już się nie pojawia. Czym dokładnie jest ta wskazana baza danych?
9. Nie do końca jest jasne w jakim celu, na stronach 15-42 pracy podano ogólny przegląd różnych składników (elementów) materiałowych i instalacyjnych, który (w znaczącej części) nie jest później wykorzystywany w analizach. Być może jest od nadmiarowy w opracowaniu?
10. W całej pracy stosuje się określenie „materiały” w stosunku do wyrobów budowlanych. Poprawne określenie to wyroby budowlane.
11. Na stronie 25 przywołana jest norma NF EN 15101-1. Sugeruję, że powinno się przywoływać normy EN jako krajowe PN-EN a nie publikowane w innych krajach.
12. Na stronie 36 w podrozdziale 2.3.1.6 znajduje się stwierdzenie, że spalanie biomasy uważane jest za proces ekologiczny, ponieważ w czasie spalania emisja dwutlenku węgla równa jest ilości jaka pochłaniana jest w procesie fotosyntezy. W istocie większości metod obliczeniowych dotyczących obliczania emisji z biomasy na potrzeby ocen budynków, ślad węglowy z biomasy jest zazwyczaj zerowy. W dalszej części pracy i analiz ślad węglowy spalania biomasy (pellet) jest dodatni. Zachodzi więc pytanie czy przyjęcie zerowego śladu nie premiowałoby rozwiązań wykorzystujących biomasę przy wyborze optymalnego rozwiązania oraz czy przyjęcie przez Autorkę emisji dodatniej nie penalizuje kotłów na biomasę? I kolejne pytanie, czy emisja z paliw nie powinna być obliczona dokładnie tak jak się to robi na potrzeby charakterystyki energetycznej budynków?
13. Na stronie 42 wskazane jest, że obecnie współczynniki przenikania ciepła okien określone są w Rozporządzeniu (2002). Moim zdaniem dobrze jednak wskazać tutaj i w innych (licznych) miejscach pracy do jakiej nowelizacji Rozporządzenia w sprawie Warunków Technicznych Autorka się odnosi, zwłaszcza że obok Autorka cytuje Mańko (z roku 2014) który pisał „o

nowoczesnych oknach” na tamten czas a WT zmieniły się wielokrotnie od tamtego czasu.

14. W rozdziale 3 podano przegląd metod optymalizacyjnych, niemniej nie odnajduję w treści wyjaśnienia, lub analizy w jaki sposób ten przegląd metod wpłynął na wybór i opracowanie metody optymalizacyjnej wykazanej jako samodzielne osiągnięcie.
15. W podsumowaniu podrozdziału 3.3. stwierdzono, że biorąc pod uwagę konieczność zobiektywizowania wag kryteriów w rozprawie zaproponowano sposób doboru wag za pomocą współczynnika wpływu wartości wskaźnika kryterium na wartość wagi. Z pewnością jest to jedna z istniejących metod obiektywizacji, ale czy wystarczająca? Zwłaszcza, kiedy czynniki brane pod uwagę są silnie skorelowane ze sobą, co Autorka wykazuje na stronie 52...Wydaje się, że jeśli wybór wag jest kluczowy w optymalizacji to obiektywizacja wag jest sprawą najważniejszą. Przykładowo mógłbym wskazać adekwatną publikację na ten temat: Development of Weighting Scheme for Indoor Air Quality Model Using a Multi-Attribute Decision Making Method, Energies, 2022.
16. We wstępie do Rozdziału 5 wykazano 5 wybranych kryteriów optymalizacji. Nie wynika jednak jasno z pracy w jaki sposób określono, że są one kluczowe do tzw. oceny energochłonności. Czym dokładnie podyktowany jest taki wybór?
17. W Tabeli 4.2. podano emisję ze spalania biomasy o wartości 0.403 kg/kWh, czy wartość ta powinna być rekomendowana do stosowania w przyjętej metodzie optymalizacyjnej? Być może biomasa powinna być promowana wskaźnikiem zerowej emisji z biomasy...?
18. Od strony 67 przestają się pojawiać do samego końca odniesienia literaturowe. Czy uzyskane wyniki dałoby się porównać z wynikami innych autorów, czy rzeczywiście obszar badawczy podjętej pracy nie był eksplorowany przez innych badaczy?
19. Interesujące mogłoby być wyjaśnienie na podstawie jakich przesłanek przyjęto klasy energochłonności (5.11), „niezalecana klasa” obejmuje 45% możliwych wyników energochłonności, reszta klas jest ustanowiona w interwale co 5%...Skąd takie rozwiązanie?

20. W podrozdziale 6.2. jednym z elementów budynku modernizowanego jest pompa ciepła gruntowa lub wodna o poborze mocy 6 kW oraz kocioł kondensacyjny gazowy 25 kW. Zgodnie z moją wiedzą pompa ciepła o poborze 6 kW odpowiada kotłowi gazowemu mniej więcej o mocy 15 kW. Zachodzi więc pytanie czy przyjęte pompy do analizy są wystarczające, aby zastąpić kocioł gazowy w budynku referencyjnym...
21. Czy w tabeli 6.5 koszt elementów budynku referencyjnego przed modernizacją nie powinien być już amortyzowany, czyli wartość elementów wbudowanych nie powinna wynosić zero?
22. W tabeli 6.5 podano wartości tzw. „trwałości” m.in. różnych wyrobów izolacyjnych np. wełny 50 lat, EPS 50 lat a pianki PU 25 lat. Są to kluczowe wartości mające wpływ na późniejsze wyniki optymalizacji. Czy jest jakieś źródło, czy uzasadnienie przyjęcia takich wartości? Przyjęcie takich wartości już na pierwszy rzut oka będzie premiowało te o najdłuższym czasie eksploatacji. Znane mi źródła badawcze podają deklarowaną trwałość pianki poliuretanowej (PUR/PIR) jako izolacji termicznej budynku zwykle 30–50 lat, ale w praktyce może służyć nawet dłużej, jeśli jest prawidłowo zamontowana i chroniona przed degradacją. Czy podane wartości mają charakter teoretyczny?
23. Czas zwrotu nakładów inwestycyjnych podano do 4 miejsc po przecinku, gdzie jednostką jest rok. Wydaje się, że przy niepewności rozszerzonej obliczania tego nakładu na poziomie kilkunastu procent, wartość ta powinna być podawana z dokładnością co najwyżej w częściach dziesiątych roku. Natomiast sama trwałość jest podawana w pracy z dokładnością tylko 1 roku...
24. Emisje z kotła gazowego podane w tabeli 6.5 są prawie identyczne z emisjami z pomp ciepła. W tym kontekście parametr funkcji celu związany z emisją ma w takim przypadku marginalny wpływ na wynik optymalizacji...
25. W Tabeli 6.8 podano wartości wskaźników energochłonności dla wariantów rozwiązań modernizacyjnych z dokładnością do 4 miejsc po przecinku. Czy Autorka mogłaby się pokusić o określenie w przybliżeniu niepewności rozszerzonej określania tego współczynnika? Zgodnie z moimi przypuszczeniami niepewność rozszerzona może wynosić nawet kilkanaście procent, wtedy w zasadzie należałoby podać wartość tego współczynnika z

jednym miejscem po przecinku. Tylko w takim przypadku wszystkie rozwiązania modernizacji miałyby wartość wskaźnika energochłonności 0.6 czyli nie dałoby się wybrać z nich najlepszego/optimalnego...Prośba o komentarz, czy niepewność metody może mieć wpływ na wyniki i ich interpretację.

26. W tabeli 6.9 przyporządkowano wyniki energochłonności wybranych rozwiązań do zaproponowanych klas energochłonności. Wyniki o rozpiętości między max i min wynoszącej 9% wpisano 7 w zaproponowanych klas. Czy to ma sens? Zwłaszcza, że wyniki uzyskane są metodą mającą co najmniej kilka, lub kilkanaście procent niepewności wyznaczania współczynnika...
27. Czy koszty modernizacyjne różnych izolacji uwzględniają koszt ich instalacji oraz tynkowania? Powinny uwzględniać?
28. W podrozdziale 6.3.3 – dyskusja wyników – stwierdza się, że zakres parametru redystrybucji 0.26 – 0.5 jest najbardziej miarodajnym zakresem umożliwiającym wyznaczenie jednorodnej kolejności szeregu wartości wskaźnika energochłonności poszczególnych rozwiązań. Jak należy rozumieć określenie „miarodajne” w tak postawionym wniosku?
29. Ciekawy wniosek znajduje się w 2 punkcie podrozdziału 6.3.3 gdzie stwierdza się: rozwiązania dla kombinacji D i C w największym stopniu potwierdzają zgodność jednorodnej kolejności szeregu rozwiązań wartości wskaźnika energochłonności rozwiązań modernizacyjnych z rozwiązaniami uzyskanymi metodą zmiennych wag dla zakresy parametru redystrybucji 0,26 do 0.5. Rozwiązania te zostały nazwane „istotnymi” dla określania wskaźnika energochłonności. W praktyce zgodność ta została uzyskana dla rozwiązań w szeregu od najtańszego do najdroższego. Pytanie, dlaczego właśnie tak wyszło, że rozwiązania najtańsze są preferowane, a jeśli tak wychodzi to jest to „istotne”...Wydaje się, wtedy współczynnik energochłonności mógłby się nazywać współczynnikiem „kosztuchłonności”. W kolejnym zdaniu punktu 2 Autorka nazywa, rozwiązania wynikające z przypisania wyższych wag E, P i M, które dają inne wyniki optymalizacji niż metodą redystrybucji, „nieistotnymi” dla określania globalnego wskaźnika. Zachodzi pytanie czy zgodność wyników różnymi metodami przypisania wag powinna wskazywać na ich tzw. istotność i nieistotność?

30. Z czego dokładnie wynika wnioskowana rekomendacja wyznaczania wskaźnika energochłonności z wykorzystaniem parametru redystrybucji na poziomie 0.5, czyli równych wag? W moim odczuciu nie jest to dobrze wyjaśnione...
31. Strona 103, przyjęto kocioł na pellet o mocy 12 kW, skąd wybór takiej mocy urządzenia?
32. Strona 104, budynek wyposażony zostanie w wentylację grawitacyjną... Czy takie rozwiązanie zapewni spełnienie aktualnych przepisów WT?
33. Wyniki wskaźników energochłonności w Tabeli 7.6 mają średnią wartość wskaźnika wynoszącą 0,58, najlepsze rozwiązanie jest zaledwie o 0,02 lepsze od średniej wartości, a zakres różnicy o wartości 0,02 obejmuje aż 6 rozwiązań. Przyjmując istniejącą niepewność wyznaczania wartości współczynnika energochłonności np., 10% uzyskamy, że wszystkie rozwiązania mieszczą się w tym samym przedziale niepewności. Czy na podstawie tak niewielkich różnic we wskaźniku rzeczywiście można rekomendować jakieś rozwiązanie jako lepsze od innych, lub klasyfikować rozwiązania – Tabela 7.7?
34. Na stronie 111 podano wartość trwałości stolarki okiennieo-drzwiowej na 10 lat? Jakie jest źródło przyjętej wartości?
35. W tabeli 7.20 wartości wskaźników energochłonności dla wariantów E i M (energia i emisja) są silnie skorelowane a w zasadzie mają takie same wartości. Emisja jednoznacznie zależy od ilości zużytej energii. Mając to na uwadze można stwierdzić, że ich udział sumaryczny wag wynosi 0.7 w obu wariantach, czyli determinują wynik (wyniki rozwiązań E i M są takie same). Oznacza to, że można by w takim przypadku wyeliminować jedno z kryteriów (np. emisję) z funkcji celu, ponieważ taki układ determinuje zbyt mocno wynik m.in. też, kiedy wagi wszystkich kryteriów są takie same.
36. Nie jest jasne (7.3.4) dlaczego rozwiązanie (tutaj D) które daje taką samą kolejność rozwiązań zgodą z kolejnością uzyskaną z parametrem redystrybucji 0.46-0,5 należy uznać za „istotne” a inne E, C, N i M jako „nieistotne” (Zwłaszcza, że opcja E związana jest z rzeczywistą energochłonnością). W mojej ocenie różne wagi dają różne optymalne rozwiązania i ich istotność moim zdaniem wynika z wag jakie zostały nadane.

37. W Rozdziale 9 oceniono opracowaną metodę jako efektywną i wysoce skuteczną. Z czego wynika taka ocena?
38. Wnioski zawierają stwierdzenie, że analiza trwałości składników jest zależna od wyników badań zachowania właściwości użytkowych w długim okresie eksploatacji. W pracy w mojej ocenie przyjmowane były „proste” wartości określające tzw. „trwałość” 20, 25 i 50 lat. Czy metoda nie powinna głębiej zaadresować wyników badań nad trwałością wyrobów?
39. We wnioskach stwierdza się wielokrotnie, że rekomenduje się jednakowe wagi kryteriów, moim zdaniem nie wynika to bezpośrednio z przeprowadzonych analiz, bo uzyskiwane wyniki dla różnych wag często dawały zupełnie inne wyniki rozwiązań. W praktyce inwestorów prawie zawsze kryterium ceny jest najważniejsze...
40. Strona 148, zawiera stwierdzenie, że przedstawiona metoda może mieć zastosowanie w praktyce inżynierskiej. Czy oprócz wymienionego waloru praktycznego- inżynierskiego -metoda kontrybuuje do istniejącej wiedzy w dyscyplinie, co powinno zostać jakoś zaadresowane?
41. W przeglądzie literatury stwierdza się brak cytowania prac własnych Autorki. Z czego to wynika?
42. Zastanawiają pozycje literaturowe 80 i 81 i czy Autorka rzeczywiście z nich korzystała?

3.2 Niektóre z usterek stylistycznych i redakcyjnych:

Szata graficzna pracy i sposób zredagowania robią bardzo dobre wrażenie. Przy czytaniu tekstu pojawiają się tylko nieliczne usterki stylistyczne, które wymagałyby korekty:

1. Na stronie 13, powinno być „dwóch” zamiast „dwu”
2. Na stronie 9 przywołane są publikacje Carla Mangera i Leona Walrasa, ale nie znajdują się one w spisie literatury
3. Liczba przyjętych kryteriów opisywana jest czasem w pracy jako *j* a czasem jako *J*, powinno być konsekwentnie.
4. Strona 102, powinno być „przeznaczony do zaprojektowania”
5. Strona 149, zdanie „Ma to kluczowe znaczenie...” wymagałoby przeredagowania.

6. W pozycji 131 podana jest data publikacji -1932 rok, wydaje się, że jest błędna

3.3 Strona graficzna pracy:

Bardzo obszerna praca jest zrealizowana z dużą starannością jeśli chodzi o ogólny graficzny układ, estetykę, mnogość tabel z wynikami badań i dobrze przygotowany znaczący spis literatury.

4. Wnioski końcowe

Powyżej przedstawiono ogólną analizę pracy wraz z sugestiami, uwagami krytycznymi i pytaniami. Pomimo ich znaczącej liczby (wynikającej w mojej ocenie głównie z liczby przyjętych założeń) w podsumowaniu recenzji należy jednak stwierdzić, że opiniowana praca mgr inż. Aleksandry Stachery pt. *„Wielokryterialna metoda wyznaczania globalnego wskaźnika energochłonności budynków”* jako całość stanowi oryginalną próbę rozwiązania praktycznego problemu badawczego. Doktorantka przedstawiła obszerne studia literatury, wykazała się znajomością i umiejętnością wykorzystania dostępnej wiedzy, samodzielnego prowadzenia prac, wykorzystania różnych technik analitycznych, stworzenia własnej metody (w wielu wariantach) i właściwego przedstawienia wyników. Przedstawiona rozprawa doktorska prezentuje opanowaną ogólną wiedzę teoretyczną, wykazuje umiejętność prowadzenia pracy naukowej i stanowi własne rozwiązanie zdefiniowanego problemu naukowego w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej opinię, uważam, że przedłożona przez mgr inż. Aleksandrę Stacherę rozprawa doktorska spełnia w stopniu wystarczającym wymogi stawiane pracom doktorskim, określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 (wraz z późniejszymi zmianami) roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach naukowych i tytule naukowym w zakresie sztuki (Dz. U. RP z 2017 r., poz. 1789).

W związku z tym stawiam wniosek kierowany Rady Dyscypliny Naukowej "Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport" Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Podpis jest prawidłowy

Dokument podpisany przez
Michał Piaszczyński
Data: 2025.07.12 13:51:29 CEST