

Poznań, 28 kwietnia 2019



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

WYDZIAŁ BUDOWNICTWA I INŻYNIERII ŚRODOWISKA

Instytut Inżynierii Środowiska

ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań

Prof. dr hab. inż. Janusz Wojtkowiak
tel. (61) 6652442
e-mail: janusz.wojtkowiak@put.poznan.pl

Administracja
Wydziału Inżynierii Środowiska
Wpłynęło dn. 13 0 KWI. 2019
Nr. 819 Szt.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja KNAPIKA

pt.: „Analiza zakresu termomodernizacji oraz wykorzystania energii odnawialnych dla budynku mieszkalnego w celu przekształcenia go w obiekt nisko-energetyczny”

Recenzja została sporządzona na zlecenie Rady Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej w związku z uchwałą z dnia 20 lutego 2019 roku, przekazaną w piśmie nr Ś0-520-370/19.RKP z dnia 25.02.2019.

1. Ogólna charakterystyka pracy

Oceniana praca ma formę maszynopisu datowanego na rok 2019 i afiliowanego w Instytucie Inżynierii Ciepłej i Ochrony Powietrza Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki.

Maszynopis liczy 173 strony i składa się z 15 rozdziałów poprzedzonych spisem treści i wykazem ważniejszych oznaczeń – skrótów. Rozprawę zamyka bibliografia, spis norm i rozporządzeń cytowanych w pracy oraz spis rysunków i tabel. Do pracy dołączono płytę CD zawierającą m. in. wyniki obliczeń, świadectwa energetyczne analizowanych budynków oraz plik z tabulogramem programu o nazwie „Skrypt” napisanego w środowisku MATLAB.

Bibliografia ocenianej pracy obejmuje 153 pozycje, z których Doktorant jest autorem 6 prac – w tym trzech artykułów w polskich czasopismach naukowo-technicznych (*Technical Transactions* i *Rynek Instalacyjny*), dwóch referatów na konferencjach notowanych w bazie Web of Conferences i jednego referatu opublikowanego w materiałach konferencji krajowej. Wszystkie prace autorstwa Doktoranta są powiązane z tematyką ocenianej rozprawy.

W bibliografii blisko 20% stanowią artykuły opublikowane w międzynarodowych czasopismach naukowych, takich jak: *Energy and Buildings*, *Energy*, *International Journal of Energy Production and Management*, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, *Building and Environment*, *Indoor and Build Environment*, *International Journal of Energy Research*, *Applied Thermal Engineering*, *International Journal of Refrigeration*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *Renewable Energy*, *Energy Conservation and Management*.

Praca doktorska mgr inż. Macieja Knapika ma charakter teoretyczny i mieści się w dyscyplinie „inżynieria środowiska”.

2. Ocena tematyki pracy

Rozprawa doktorska dotyczy problemu poprawy efektywności energetycznej istniejących budynków mieszkalnych, w szczególności budynków wielorodzinnych.

Szacuje się, że aktualnie w Polsce budownictwo odpowiada za zużycie blisko 40% energii pierwotnej i ponad 20% emisji gazów cieplarnianych. Znaczące zmniejszenie w/w udziałów będzie możliwe jedynie przez równoległe stosowanie standardów budownictwa energooszczędnego do nowo wznoszonych budynków i budynków już istniejących.

W rozprawie Autor podjął się opracowania metodyki wyboru najkorzystniejszego sposobu poprawy jakości energetycznej istniejących budynków mieszkalnych. Zaproponowaną metodykę zastosował do dwóch wybranych budynków wielorodzinnych. Wskazał odpowiedni pakiet działań termomodernizacyjnych oraz ocenił celowość wyposażenia budynków w instalacje wykorzystujące energię odnawialną. Celem działań modernizacyjnych było doprowadzenie analizowanych budynków do standardu nisko-energetycznego.

Biorąc pod uwagę skalę problemu wynikającą z istnienia w Polsce dużej liczby budynków mieszkalnych o niskiej jakości energetycznej należy stwierdzić, że **tematyka pracy doktorskiej mgr inż. Macieja Knapika jest ważna i aktualna.**

3. Ogólna ocena treści pracy

Głównym celem naukowym pracy było: „*opracowanie metody wyboru najbardziej korzystnego, w sensie wielokryterialnym, zakresu termomodernizacji istniejących, wielorodzinnych budynków mieszkalnych oraz zmiany sposobu ich zaopatrywania w ciepło z wykorzystaniem energii odnawialnej, w celu przekształcenia ich w obiekty nisko-energetyczne. Wybór ten przeprowadzono z wykorzystaniem kryteriów energetycznych środowiskowych i ekonomicznych, przy uwzględnieniu specyficznej lokalizacji obiektów*”.

Celem użytkowym pracy było zbudowanie narzędzia do wspomagania procesu decyzyjnego, wykorzystującego zaproponowaną metodykę.

Przytoczone cele pracy zostały określone jasno i precyzyjnie, a ich osiągnięcie stanowi właściwe zadanie dla pracy doktorskiej.

W ramach realizacji wyżej wymienionych celów Doktorant zaproponował zestaw 31 pakietów termomodernizacyjnych. Każdy pakiet był kombinacją od jednego do pięciu niżej wymienionych przedsięwzięć ($\sum_{i=1}^5 \frac{5!}{i!(5-i)!} = 31$):

1. izolacja ścian zewnętrznych,
2. izolacja dachu,
3. wymiana okien,
4. wymiana drzwi,
5. zastosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła.

Ocena efektów zastosowania poszczególnych pakietów termomodernizacyjnych polegała na porównaniu charakterystyki energetycznej budynku przed i po termomodernizacji. Charakterystykę energetyczną budynków Kandydat sporządzał za pomocą edukacyjnej wersji komercyjnego programu Audytor OZC Pro Edu polskiej firmy SANKOM. Obliczenia prowadził w ujęciu rocznym z krokiem godzinowym z wykorzystaniem danych meteorologicznych z miejsc lokalizacji analizowanych budynków. Z pośród 31 kombinacji jako najlepszy wskazywał ten pakiet, który dawał najkrótszy prosty czas zwrotu (SPBT) całkowitych nakładów poniesionych na termomodernizację i zapewniał wymagany standard budynku o niskim zapotrzebowaniu na nieodnawialną energię pierwotną na cele grzewcze i wentylację ($EP < 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$).

Z kolei, za pomocą skryptu obliczeniowego napisanego w środowisku MATLAB, Doktorant dokonywał wyboru wariantu instalacji wykorzystującej odnawialne źródła energii (OZE), dającej wartość jednostkowego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną na cele grzewcze i przygotowania ciepłej wody użytkowej budynku (EP_{H+W}) niższą od $85 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$. Zadaniem instalacji OZE, składającej się z turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu i ogniw fotowoltaicznych (PV), było zasilanie energią elektryczną sprężarkowych pompy ciepła typu powietrze-woda współpracujących z układami centralnego ogrzewania (c.o.) i przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) budynku. Dane techniczno-ekonomiczne, tzn. parametry znamionowe, charakterystyki energetyczne oraz ceny, wszystkich elementów i urządzeń wykorzystanych w procesie termomodernizacji (materiałów

izolacyjnych, okien, drzwi, pomp ciepła, turbin wiatrowych, ogniw PV itd.), były aktualnymi wartościami rynkowymi.

Doktorant przedstawił działanie zaproponowanej przez siebie metody na przykładzie dwóch budynków wielorodzinnych. Pierwszy, oznaczony jako nr 1, był budynkiem starszego typu, zamieszkałym przez 30 osób i zlokalizowanym w Warszawie. Drugi (nr 2) – nowszy, zlokalizowany w Krakowie, zamieszkiwało 130 osób. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń Doktorant proponował: dla budynku nr 1 pełen zakres termomodernizacji obejmujący wszystkie pięć wcześniej wymienionych działań termomodernizacyjnych, zastosowanie 2 pomp ciepła o mocy nominalnej 11 kW każda oraz montaż 12 ogniw PV o nominalnej mocy pojedynczego ogniwa wynoszącej 0,5 kW. Powyższe rozwiązanie wyeliminowało dotychczas stosowane źródło ciepła jakim był kocioł gazowy. Dla budynku nr 2, wystarczającym do spełnienia przyjętych wymagań, okazał się pakiet obejmujący termomodernizację stropodachu połączoną z zastosowaniem wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, przy zachowaniu dotychczasowego źródła ciepła w postaci węzła zasilanego ciepłem sieciowym. Wyniki obliczeń dotyczące możliwości zastosowania instalacji OZE w budynku nr 2 pokazały niecelowość takiego rozwiązania, głównie z powodu nierealnie dużych liczb ogniw PV i turbin wiatrowych.

W kolejnej części pracy Doktorant wykonał obliczenia mające na celu zbadanie wpływu na opłacalność planowanych przedsięwzięć termomodernizacyjnych takich czynników jak: cena paliwa gazowego, wysokość dotacji do odnawialnych źródeł energii, usytuowania ogniw PV względem stron świata oraz powierzchni dostępnej do ich montażu. Wynikiem przeprowadzonej analizy wrażliwości było stwierdzenie, że czynnikiem najsilniej wpływającym na zakres działań termomodernizacyjnych oraz celowość stosowania instalacji OZE, jest wysokość dofinansowania do odnawialnych źródeł energii.

Na zakończenie Kandydat porównał wyniki uzyskane za pomocą własnej metodyki z wynikami otrzymanymi za pomocą programu PHPP, pobranymi ze strony internetowej europejskiego projektu *EuroPhit*. Porównanie dotyczyło dwóch budynków jednorodzinnych zlokalizowanych w Szwecji i Francji. Uzyskane wyniki, mimo pewnych rozbieżności, uznał za wystarczająco zgodne.

Metodyka zaproponowana w pracy doktorskiej może stanowić użyteczne narzędzie do porównywania różnych wariantów działań mających na celu zmniejszenie zapotrzebowania na energię przez istniejące budynki mieszkalne, a w szczególności narzędzie umożliwiające wskazywanie przedsięwzięć modernizacyjnych doprowadzających budynek do standardu nisko-energochłonnego w sposób ekonomicznie uzasadniony.

Biorąc powyższe pod uwagę należy stwierdzić, że cele rozprawy doktorskiej zostały osiągnięte, a otrzymane wyniki mogą być uznane za rozwiązanie ważnego problemu naukowego.

4. Uwagi krytyczne

4.1. Sprawy merytoryczne

Mimo ogólnie pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej jej szczegółowa analiza pozwala zauważyć szereg niedociągnięć o charakterze merytorycznym. Główne zastrzeżenia sprowadzają się do następujących uwag:

- brak precyzji w stosowaniu pojęć i nazewnictwie,
- skromna część matematyczna utrudniająca ocenę poprawności zaproponowanej metodyki,
- niejednoznaczność symboli wielkości fizycznych, usterki w równaniach matematycznych,
- nieuzasadnione operowanie pojęciem „*optymalizacja*”,
- mało krytyczne podejście do kwestii lokalnego wykorzystania energii wiatru w budownictwie,
- mylące używanie pojęcia „wyniki pomiarów”.

Szczegółowe uwagi i pytania związane z powyższymi zastrzeżeniami zebrano poniżej z zachowaniem kolejności chronologicznej.

1. Czy symbol EP oznacza „*wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową*” (jak podano na str. 23)? Czy jest „*wskaźnikiem nieodnawialnej energii pierwotnej*” (jak podano na stronach 33, 49, 62 i dalszych)?
2. Co faktycznie obejmuje wskaźnik EP? Ogrzewanie i wentylację (jak podano na str. 23)? Czy ogrzewanie, wentylację i ciepłą wodę użytkową (jak wynika z równania (4.16) na str. 33)? Czy ogrzewanie i przygotowanie ciepłej wody użytkowej (jak podano na str. 57)? Czy tylko ogrzewanie (jak podano na str. 60)?
3. Czy wskaźnik EP_{H+W} uwzględnia wentylację (np. na stronach 21, 23, 30 jest mowa tylko o ogrzewaniu i przygotowaniu c.w.u.)?
4. Czym różni się wskaźnik EP_{H+W} , wymieniany na str. 21, 23, 30 od wskaźnika EP_{PH+W} obecnego w tytułach rysunków 5.6 na str. 53 i 5.11 na str. 58?
5. Wz. (4.2) str. 27: jaki jest sens fizyczny stałej 0,34?
6. Str. 27: czy symbol V_i oznacza strumień powietrza wentylacyjnego (wz. (4.3)), czy kubaturę pomieszczenia (wz. (4.4))?
7. Str. 29: jaka jest jednostka mocy cieplnej wyliczonej ze wz. (4.10)?

8. Str. 30: na końcu pkt. 4.4 czytamy: „*W pracy nie uwzględniono zapotrzebowania na energię chłodniczą, związanego z potrzebami chłodzenia pomieszczeń w okresie letnim*”. Jakie jest zatem wytłumaczenie dla obecności wielkości Q_{PC} w równaniu (4.17) na str. 34 oraz celowości zamieszczania równań (4.20) i (4.22) odpowiednio na stronach 35 i 36?
9. Str. 30: wskazywanie kierunku N jako orientacji powierzchni poziomej przy określaniu całkowitego natężenia promieniowania słonecznego na taką powierzchnię, nie ma sensu.
10. Str. 31 wz. (4.14): brakuje rysunku wyjaśniającego sens poszczególnych „czynnikiów zacielenia”.
11. Str. 33 wz. (4.15): błędna jednostka współczynnika ψ_j .
12. Str. 38 wz. (4.25): jaki jest sens fizyczny stałej $8,64 \cdot 10^{-5}$? Jaka jest jednostka strat ciepła Q_{0U} i Q_{1U} ?
13. Str. 38 wz. (4.26): jaki jest sens fizyczny stałych $8,64 \cdot 10^{-5}$ i $2,94 \cdot 10^{-5}$; jaka jest jednostka strat ciepła Q_0 i Q_1 ?
14. Str. 39 rys. 4.1: blok nr 4 w schemacie skryptu obliczeniowego, w którym obliczane są zyski ciepła od promieniowania słonecznego i urządzeń, powinien znajdować się przed blokiem nr 3, w którym określana jest liczba pomp ciepła typu powietrze-woda.
15. Str. 39 rys. 4.1: w którym miejscu skryptu obliczeniowego określane jest zapotrzebowanie na energię do wentylacji?
16. Str. 44 rys. 4.7: dlaczego w skrypcie obliczeniowym nie wprowadzono ograniczeń dotyczących stosowalności turbin wiatrowych, np. minimalnej odległości między turbinami?
17. Str. 44 rys. 4.7: jak znajdowano „optymalne” liczby ogniw PV oraz liczby turbin wiatrowych? Jak godzono sprzeczne warunki maksymalizacji pozyskiwanej energii i minimalizacji kosztów inwestycyjnych?
18. Str. 52 tab. 5.1, str. 56 tab. 5.3, str. 65 rys. 6.3, str. 67 rys. 6.5, str. 83 rys. 6.18, str. 84 rys. 6.20, str. 86 rys. 6.22: jakie wartości współczynników przejmowania ciepła przyjęto do obliczeń współczynników przenikania ciepła?
19. Str. 75 rys. 6.15 i str. 90 rys. 6.27: tytuł rysunku („energia pierwotna”) i opis osi rzędnych („energia użytkowa”) są niezgodne. Ponadto w tytułach rysunków 6.15 i 6.27 jest mowa o „energii pierwotnej na cele ogrzewania i wentylacji” natomiast w związanych z nimi tabelach 6.15 i 6.26 mamy: „energię użytkową do ogrzewania”. Zatem dwie niejasności: 1) energia użytkowa czy pierwotna? i 2) energia do ogrzewania i wentylacji czy tylko do ogrzewania?

20. Str. 82 – błędna nazwa funkcji, jest: „wartość współczynnika U jest funkcją wykładniczą oporu cieplnego.”, powinno być: „wartość współczynnika U jest funkcją potęgową oporu cieplnego”.
21. Str. 95 Tab. 7.1 – dobierane są turbiny o mocy nominalnej 5 kW każda. W dalszej części pracy (str. 105 Tab. 8.1) rozważane są turbiny o mocy 1 kW. Jakie jest wyjaśnienie tej zmiany?
22. Str. 95 Tab. 7.1 – wątpliwości budzi możliwość zastosowania turbin wiatrowych w budownictwie wielorodzinnym, zwłaszcza turbin o większej mocy nominalnej, tzn. mocy powyżej 5 kW. Średnica wirnika takiej turbiny (wirnik o osi pionowej) wynosi minimum 4 m, a jego wysokość nie mniej niż 4,5 m. Wysokość omawianej turbiny wraz z masztem sięga 10 m. Prawidłowa praca zespołu turbin wymaga zachowania odpowiedniej odległości pomiędzy masztami i możliwie niezakłóconej prędkości wiatru przez sąsiadującą zabudowę. Równie ważne są kwestie akustyczne (o sprawach estetycznych, ze względu na ich trudną mierzalność, nie wspominając). Dlaczego wyżej wymienione ograniczenia nie zostały uwzględnione w zaproponowanej metodyce? Patrz również uwagi nr 16 i 25.
23. Str. 109 – w jaki sposób „zyski ciepła redukują straty ciepła budynku”? Proszę o wyjaśnienie na gruncie fizyki budowli.
24. Str. 123 – mało precyzyjny opis działania tzw. „skryptu obliczeniowego”. Brakuje pełnego schematu blokowego z instrukcjami warunkowymi i pętlami obliczeniowymi pokazującymi sposób działania skryptu. Rysunki od 4.1 do 4.9 nie likwidują w/w braku. Informacja słowna zamieszczona na str. 123: „dla budynku 2 skrypt obliczeniowy, kieruje się głównie ku doborowi ogniw fotowoltaicznych, wykorzystując dodatkowo turbiny wiatrowe, tylko w tym przypadku, gdy ogniwa fotowoltaiczne nie zapewniają wymaganego pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną do napędu pomp ciepła”, jest cenna, ale niewystarczająca. Podobny niedosyt budzi informacja zawarta na str. 136 mówiąca o tym, że „Program, aby spełnić wymagania przepisów, ..., dobrał 237 ogniw fotowoltaicznych o mocy nominalnej 500 W każde oraz 112 turbin wiatrowych o mocy nominalnej 1000 W”. Czytelnik, chcąc dowiedzieć się w jaki sposób działa skrypt obliczeniowy, tzn. „w jaki sposób program dobiera” liczbę ogniw oraz liczbę turbin i „czym się przy tym kieruje”, musi przeanalizować zawartość płyty CD, a konkretnie zapoznać się z tabulogramem programu liczącego 2750 instrukcji.
25. Str. 128 – mało krytyczne podejście do uzyskiwanej z obliczeń liczby turbin wiatrowych. Przykładowo liczba 745 turbin o mocy 1 kW każda, dla budynku zamieszkanego przez

130 osób, jest dyskwalifikująca dla takiego wyniku, co powinno być natychmiast zauważone i wyeliminowane. Powyższa uwaga jest ściśle związana z wcześniejszymi o numerach nr 16 i 22.

26. Str. 131 rys. 8.36 – niespójne informacje na rysunku i w tekście pracy. W tytule rysunku mamy: „*Koszty całkowite związane z eksploatacją*”. W opisie osi rzędnych czytamy: „*Koszty całkowite*”. Nad rysunkiem mamy: „*Koszty eksploatacji*”. W komentarzu do rysunku czytamy, że przedstawia on: „*Poniesione koszty inwestycyjne*”. W efekcie nie wiadomo jakie koszty przedstawia rys. 8.36. Podobne niejasności dotyczą rys. 8.37.
27. Str. 143 – tytuł rozdziału: „*10 Wyniki pomiarów*”, jest mylący i nieadekwatny. Po pierwsze sugeruje, że Autor sam przeprowadził jakieś pomiary (co nie miało miejsca). Po drugie, z treści rozdziału wynika, że nie chodzi o wyniki pomiarów, ale o wyniki obliczeń uzyskane za pomocą programu PHPP.
28. Str. od 143 do 152, kwestią budząca wątpliwości są budynki wybrane do porównania wskaźników jakości energetycznej uzyskanych za pomocą własnego programu obliczeniowego i programu PHPP. Oba budynki (jeden w Szwecji i jeden we Francji) to domy jednorodzinne, podczas gdy oceniana praca doktorska, w jej części obliczeniowej, dotyczy budynków wielorodzinnych. Dlaczego z cytowanej strony internetowej [153] nie pobrano danych dla budynków wielorodzinnych, skoro na str. 144 Doktorant sam stwierdza, że takie dane są dostępne? Ponadto, na str. 144 Autor słusznie zauważa, że najlepsze do porównania z budynkami polskimi będą budynki niemieckie – z uwagi na bliskość geograficzną i podobieństwo procedur. Dlaczego zatem do porównania wybrał budynki w Szwecji i Francji?
29. Str. 152 rozdział zatytułowany: „*11 Wnioski końcowe*” jest w większości podsumowaniem i streszczeniem pracy. Wnioski zamieszczone na zakończenie omawianego rozdziału stanowią zaledwie 1/5 jego objętości, mają charakter bardzo ogólny i w małym stopniu nawiązują do zbudowanej procedury i uzyskanych wyników. W omawianym rozdziale, podobnie jak w całej pracy, Autor nadużywa pojęcia „*optymalizacja*”.

Podsumowując krytyczną ocenę merytoryczną trzeba zauważyć, że metodyka zaproponowana w ocenianej pracy doktorskiej została opisana w sposób enigmatyczny. Fakt ten utrudnia pełną jej ocenę. Największy niedosyt jest spowodowany brakiem szczegółowego opisu matematycznego (kompletu równań) i ogólnym charakterem zamieszczonych schematów blokowych.

Zaproponowana metodyka nie jest rozwiązaniem zadania optymalizacyjnego. Z punktu widzenia teorii optymalizacji nie zdefiniowano podstawowych wielkości niezbędnych do rozwiązania takiego zadania. Biorąc pod uwagę, że tytuł pracy nie zobowiązuje Doktoranta do przeprowadzenia optymalizacji, niezrozumiałe jest nadużywanie tego pojęcia. W całej pracy termin „optymalizacja” pojawia się kilkadziesiąt razy. Przykładowo, na str. 48 można go znaleźć aż w 4 miejscach. Jest to nieuzasadnione i niepotrzebne.

Powyższe uwagi nie podważają zasadniczego osiągnięcia rozprawy jakim jest zbudowanie i praktyczne zastosowanie metodyki porównywania różnych wariantów działań mających na celu zmniejszenie zapotrzebowania na energię przez istniejące budynki mieszkalne.

4.2. Sprawy formalne (redakcyjne)

Język rozprawy jest na ogół poprawny, choć mógłby być bardziej zwięzły. W układzie pracy uwagę zwraca brak streszczeń w j. polskim i j. angielskim oraz odbiegająca od zwyczajowo przyjętej, numeracja rozdziałów. Rysunki i tabele są dobrze wykonane i dobrane. Jedynie w kilku przypadkach zauważono usterki. Wykryto pomyłki w numeracji tabel i rysunków. Irytujący jest brak staranności w oznaczeniach (symbolach) wielkości fizycznych oraz niepełne dane bibliograficzne wielu cytowanych pozycji.

Najważniejsze niedociągnięcia o charakterze edytorskim, w kolejności chronologicznej, wskazano poniżej.

1. Brak streszczenia w j. angielskim, co stanowi uchybienie wobec zapisu Art. 13.1 pkt. 6. Ustawy dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. Nr 65, poz. 595), który stwierdza: „*Rozprawa doktorska powinna być opatrzona streszczeniem w języku angielskim, a rozprawa doktorska przygotowana w języku obcym również streszczeniem w języku polskim*”. Wprawdzie, w analizowanym przypadku, streszczenie w j. polskim nie jest wymagane, ale jego brak nie podnosi wartości pracy.
2. Usterki gramatyczne („literówki”, przestawione lub brakujące wyrazy, powtarzające się wyrazy, itp.), strony: 6, 14, 19, 31, 41, 47, 84, 86, 95, 96, 99, 100, 105, 109, 111, 122, 124, 126, 129, 131, 133, 134, 148, 155.
3. Usterki językowe, strony: 16, 30, 31, 39, 40, 41, 42, 47, 91, 93, 97, 99, 101, 102, 103, 125, 135, 139, 140, 148, 152. Głównie: niepoprawne używanie pojęć 1) „*wielkość*” zamiast „*wartość*”, 2) „*ilość*” zamiast „*liczba*”, 3) „*bląd*” zamiast „*różnica*” lub „*rozbieżność*”.

4. Niejasności w sposobie cytowania literatury: str. 20 – pierwszym autorem pracy [101] nie jest T. Bewszko lecz H. Foit, str. 62 i 79 – informacji o liczbie kuchni i łazienek w analizowanych budynkach nr 1 (Warszawa) i nr 2 (Kraków) raczej trudno szukać u Recknagla [124] i Pełecha [126].
5. Podwójne nazewnictwo (np. str. 20 i 21 jest: „OZE”, a na str. 24 i 25 mamy: „RES”).
6. Wz. (4.1) str. 27: brak objaśnienia symboli Θ_{int} i Θ_e
7. Wz. (4.2) str. 27: brak objaśnienia symboli ρ i cp .
8. Str. 27 i dalsze – stosowanie zmiennego kroju czcionki w oznaczeniach symboli wielkości fizycznych. Generalnie (choć nie zawsze – np. wz. (4.26) str. 38), w równaniach stosowana jest czcionka pochyła, natomiast w tekście na oznaczenie tych samych wielkości fizycznych używana jest czcionka prosta. Powyższy brak konsekwencji dotyczy niemal wszystkich równań.
9. Str. 27 i dalsze – brak staranności w stosowaniu dolnych indeksów w symbolach wielkości fizycznych, np. w równaniu (4.4) na str. 27 mamy e_i i ε_i , natomiast w objaśnieniach znajdujemy: e_i i ε_i .
10. Str. 35 – odesłanie do załącznika 5, którego brak.
11. Usterki w nazwach wielkości fizycznych np. na str. 48 i 77 jest: „współczynników ciepła U ”, a powinno być: „współczynników przenikania ciepła U ”
12. Str. 61 tab. 6.3 i str. 78 tab. 6.17: błędne jednostki współczynnika przewodzenia ciepła styropianu $\lambda_{styropian}$ i kubatury ogrzewanych pomieszczeń V_{nom}
13. Str. 68 tab. 6.10 i str. 70 tab. 6.12: brak objaśnienia symboli współczynników przenikania ciepła U_f , U_g , U_w oraz niewłaściwy zapis ich jednostki (jest: W/m^2K , powinno być: $W/m^2/K$ lub lepiej $W/(m^2K)$).
14. Str. 73 i 87 błędnie zapisana jednostka, jest: $EUR/m^3/h$, powinno być: EUR/m^3h lub lepiej: $EUR/(m^3/h)$.
15. W wielu miejscach zbyt duża liczba cyfr znaczących w części wyników obliczeń np. na str. 64 w tab. 6.7 – nakłady finansowe wynoszące kilkadziesiąt tysięcy złotych podawane z dokładnością do 1 grosza.
16. Pomyłki w odsyłaniu do tabel i rysunków, np. na str. 80 zamiast: „W Tab. 6.21” powinno być: „W Tab. 6.22”, na str. 80 zamiast: „W Tab. 6.22” powinno być: „W Tab. 6.21”, na str. 122 zamiast: „W Tab. 8.1” powinno być: „W Tab. 8.4”, na str. 124 zamiast: „na Rys. 8.5” powinno być: „na Rys. 8.26”, na str. 124 zamiast: „na Rys. 8.6” powinno być: „na Rys. 8.27”, na str. 126 zamiast: „Na Rys. 8.10” powinno być: „Na Rys. 8.31”

17. Str. 95 – w tab. 7.1 zapotrzebowanie na energię do przygotowania c.w.u. jest obliczane na podstawie rys. 7.3, a nie jak podano w tabeli na podst. rys. 7.4. Ponadto warianty I i III są w tab. 7.1 zdefiniowane odwrotnie niż w tekście na str. 96.
18. Str. 99 Rys. 7.5 – błędny opis osi odciętych, jest: „kolejna godzina roku”, powinno być: „kolejny miesiąc roku”.
19. Str. 106 rys. 8.1 i str. 123 rys. 8.24 – brak jednostki na osi rzędnych
20. Str. 112 rys. 8.10 i str. 127 rys. 8.31 – niezgodność tytułu i legendy rysunku z jego osią rzędnych.
21. Str. 132 – dane w tab.8.6 dotyczą wariantu 31, a nie jak podano w tekście wariantów 31 i 23.
22. „Bibliografia”, „Normy i rozporządzenia”, „Spis rysunków” i „Spis tabel” nie powinny być numerowane jako rozdziały. Z zasady „Podsumowanie i wnioski” są ostatnim numerowanym rozdziałem pracy.
23. Niepełne dane bibliograficzne dużej liczby pozycji: [7 18 19 20 21 31 33 36, 61, 62, 63, 72, 73, 74, 80, 81,82, 86, 89, 90, 98, 103, 110, 143, 144, 145] – brak numerów stron artykułów, brak nazwy wydawcy książki, brak nazwy konferencji oraz miejsca i daty jej organizacji.
24. Płyta dołączona do pracy nie jest opisana – brak nazwiska autora, brak tytułu pracy doktorskiej, itd. Brakuje informacji o zawartości płyty, tzn. spisu treści. Uzyskanie informacji o zawartości wymaga otwarcia płyty i przejrzenia wszystkich 12 plików.

Podsumowanie

Oceniana rozprawa doktorska, mimo zauważonych usterek, może być uznana za oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie naukowej „inżynieria środowiska” oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Za oryginalny dorobek naukowy Kandydata należy uznać:

- opracowanie metodyki wyboru najbardziej korzystnego zakresu termomodernizacji istniejących, wielorodzinnych budynków mieszkalnych,
- uwzględnienie w zaproponowanej metodyce kryteriów energetycznych środowiskowych i ekonomicznych, co nadaje jej znamiona wielokryterialności,
- rozszerzenie obliczeń na cały rok kalendarzowy i wbudowanie do metodyki elementów specyficznych dla lokalizacji analizowanych obiektów, takich jak zmienne w czasie warunki klimatyczno-meteorologiczne,

- umożliwienie w zbudowanej metodyce rozpatrywania zmian sposobu zaopatrywania budynków w ciepło z wykorzystaniem energii odnawialnej,
- wykorzystanie zaproponowanej metodyki do zbudowania narzędzia wspomagającego proces decyzyjny.

6. Wniosek końcowy

Reasumując, uważam, że **praca doktorska mgr inż. Macieja Knapika spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim** określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późniejszymi zmianami) **i może być dopuszczona do publicznej obrony.**

