

Hanna Jędrzejuk, dr hab. inż.
Instytut Techniki Ciepłej
Politechnika Warszawska

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jacka Miklasa pt.

„Wpływ parametrów projektowych i operacyjnych systemów wyposażenia technicznego na zużycie energii i komfort klimatyczny w budynku energooszczędnym”,
która została wykonana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Haliny Koczyk
we współpracy z promotorem pomocniczym dr inż. Andrzejem Górką

1. Podstawa wykonania recenzji

Recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo Pana Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej (WISIE.64.56.2023 z dnia 19.07.2023 r.), prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Nadolnego. W piśmie tym Pan Dziekan powołał się na uchwałę Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej z dnia 04.07.2023 r.

2. Ogólna charakterystyka pracy

W opiniowanej rozprawie doktorskiej zbadano wpływ założeń projektowych i przyjętych parametrów operacyjnych na zużycie energii i komfort klimatyczny w budynku mieszkalnym.

Jako przedmiot analizy wybrano budynek jednorodzinny, który został wybudowany w technologii tradycyjnej. Obudowa zewnętrzna tego obiektu charakteryzuje się bardzo dobrą izolacyjnością termiczną. Budynek jest wyposażony w systemy: ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej, wentylacji mechanicznej z rekuperatorem ciepła i gruntowym przeponowym wymiennikiem ciepła. Tradycyjne systemy wspomagane są systemem z kolektorami słonecznymi i systemem z panelami fotowoltaicznymi.

W celu rozwiązania sformułowanego problemu, w pierwszej kolejności przeprowadzono wykonane w latach 2016 - 2021 badania eksperymentalne, które polegały na rejestrowaniu wybranych wielkości fizycznych w badanym budynku mieszkalnym. Pomiarami objęto parametry:

- powietrza wewnętrznego (temperatura, wilgotność względna, koncentracja dwutlenku węgla w trzech pomieszczeniach mieszkalnych o różnym przeznaczeniu (pokój dzienny, pracownia, sypialnia);
- powietrza wentylacyjnego zasilającego i usuwanego, nawiewanego i wywiewnego (temperatura, wilgotność względna, strumienie objętościowe powietrza);
- powietrza zewnętrznego (temperatura, wilgotność względna, ciśnienie powietrza).

Pomiary ilości ciepła wprowadzonego z kotła gazowego i instalacji z kolektorami słonecznymi do instalacji centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej wykonano w okresie 2019 – 2021.

W kolejnym kroku opracowano uzyskane wartości pomiarowe, a następnie wyznaczono, przy pewnych założeniach uproszczających, eksploatacyjne wskaźniki oceny energetycznej budynku.

W następnym, piątym rozdziale, zawarto przegląd parametrów wpływających na zużycie energii i komfort klimatyczny. Opisano parametry środowiska zewnętrznego, takie jak: temperatura i wilgotność względna powietrza, natężenie promieniowania słonecznego, wiatr oraz parametry środowiska wewnętrznego, tj. temperaturę i wilgotność względną powietrza. Szczególną uwagę zwrócono na zapotrzebowanie na powietrze wentylacyjne ze względów higienicznych i charakterystykę przepływową budynku. Ponadto opisano wielkości, które były rejestrowane (np. temperatura i wilgotność względna powietrza wewnętrznego, koncentracja CO₂, strumienie powietrza nawiewanego i przepływającego przez GWC) oraz przydatne do opisu przepływu powietrza przez budynek modele matematyczne. Warto dodać, że budynek zbadano pod względem szczelności powietrznej metodą tzw. „drzwi nawiewnych” (ang. „blower door test”).

Przygotowano spójny zbiór danych, tj. godzinowe wartości temperatury powietrza zewnętrznego, wilgotności względnej powietrza zewnętrznego, temperatury powietrza wewnętrznego, wilgotności względnej powietrza wewnętrznego, koncentracji CO₂ w powietrzu wewnętrznym, strumieni powietrza nawiewanego do budynku bezpośrednio i przepływającego przez przeponowy gruntowy wymiennik ciepła, a także temperatury i wilgotności względnej powietrza wentylacyjnego (świeżego, nawiewanego

do budynku, usuwanego z pomieszczeń, usuwanego z budynku), wewnętrznych i zewnętrznych zysków ciepła.

Następnie zaproponowano model matematyczny, którego zadaniem było wyznaczenie rocznego zapotrzebowania na ciepło użyteczne do ogrzewania i chłodzenia budynku (5R1C) oraz dwa modele ciepłno-przepływowe gruntowego, powietrznego, przepływowego wymiennika ciepła. Na tej podstawie opracowano program do symulacji numerycznej, który został poddany walidacji porównawczej za pomocą programów TRNSYS i Audytor OZC. Autorski program posłużył w dalszej części pracy do wyznaczenia wartości zapotrzebowania na ciepło użytkowe do ogrzewania i chłodzenia, a także innych składników wymiany ciepła, które mają wpływ na tę wartość. Dokonano porównania uzyskanych wartości z odpowiadającymi wartościami uzyskanymi podczas przeprowadzonych pomiarów. Określono również charakterystykę ciepłno-przepływową gruntowego wymiennika ciepła. Wyznaczono wartości temperatury przepływającego przez to urządzenie powietrza.

Określono także sprawność eksploatacyjną wymiennika rekuperacyjnego. Dokonano szczegółowej analizy stężenia dwutlenku węgla i temperatury wewnętrznej w wybranych pomieszczeniach.

Sformułowano zadanie optymalizacji dwukryterialnej. Poszukiwano najlepszego wariantu ze względu na minimalizację zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania oraz na minimalizację zapotrzebowania na sumaryczną ilość energii użytkowej do ogrzewania, chłodzenia i dodatkowej energii elektrycznej do przetłoczenia powietrza wentylacyjnego przez gruntowy wymiennik ciepła. Jako zmienne decyzyjne przyjęto: poziom szczelności budynku, efektywność odzyskiwania ciepła z powietrza wywiewanego w wymienniku rekuperacyjnym, strumień powietrza wentylacyjnego, a także długość, średnią głębokość zagłębienia, spadek podłużny wymiennika gruntowego. Jeszcze jedną zmienną decyzyjną była również strategia sterowania przepływem powietrza przez wymiennik gruntowy. Wszystkie zmienne decyzyjne były dyskretne. Liczbę wariantów ograniczono poprzez zdefiniowanie macierzy wariantów dopuszczalnych.

W podsumowaniu tej części opinii mogę stwierdzić, że założony cel pracy został osiągnięty, a sformułowane tezy zostały udowodnione.

3. Struktura pracy

Opiniowana praca została napisana w języku polskim. Zastosowano w niej dość konsekwentnie podział dziesiętny treści na rozdziały i podrozdziały (wyjątkiem są np. 5.2, 5.6, w których to występują nieprzypisane fragmenty tekstu pomiędzy rozdziałem/podrozdziałem wyższego poziomu a podrzędnym poziomem). Zawiera ona: „Streszczenie” w języku polskim (ok. 2 stron), streszczenie w języku angielskim („Abstract”, ok. 2 stron), Spis treści (ok. 2 stron), „Wykaz ważniejszych skrótów i symboli” (ok. 2 i ½ strony), Bibliografię (ok. 10 stron, 149 pozycji), dziewięć numerowanych rozdziałów, które stanowią merytoryczną część pracy oraz dwa załączniki.

Ogółem, łącznie ze stroną tytułową, praca liczy 179 stron.

Przegląd wiedzy zawarto przede wszystkim w rozdziałach 1, 5 i 6.

Natomiast rozdziały: 4, częściowo 5, 7, i 9 składają się na wartościowe i oryginalne opracowanie, które stanowi osiągnięcie naukowo-badawcze Autora.

Tytuł dysertacji w pełni odzwierciedla jej zawartość, a tytuły i podtytuły rozdziałów zostały sformułowane poprawnie.

Rozdział „1. Wprowadzenie” (ok. 16 i ½ str.)

Przedstawione zostały zagadnienia: komfortu klimatycznego (wewnętrznego), wybrane wskaźniki służące do oceny komfortu cieplnego (m.in.: zależność Missennarda, temperaturę odczuwalną, przewidywaną średnią ocenę komfortu cieplnego, przewidywany odsetek niezadowolonych). Pokrótkie scharakteryzowano wymagania dotyczące jakości powietrza wewnętrznego, ze szczególnym uwzględnieniem zawartości dwutlenku węgla.

Rozdział ten zawiera również opis historycznych i aktualnych zapisów prawnych dotyczących izolacyjności cieplnej oraz wymagań energetycznych. Podano definicje: energii pierwotnej, energii końcowej, energii użytkowej oraz przyjętą, na podstawie wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię użytkową, klasyfikację budynków. Zwrócono także uwagę na czynniki wpływające zarówno na zapotrzebowanie na energię do ogrzewania, jak i komfort wewnętrzny w budynku. Szczególną uwagę poświęcono zagadnieniom przeprowadzonych wcześniej badań eksperymentalnych budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania i niekonwencjonalnych systemów. Nie zabrakło także opisu

prac dotyczących modelowania i symulacji takich budynków i wewnętrznych systemów technicznych. dopełnieniem wprowadzenia do tematu dysertacji stanowi przegląd wybranych systemów technicznych i wybranych zagadnień modelowania matematycznego.

Uzasadnienie podjęcia tematu zawarto w końcowej części tego rozdziału. Doktorant podkreślił celowość kompleksowej oceny złożonych systemów technicznych z uwzględnieniem wybranych uwarunkowań, np. zachowania użytkownika, parametrów projektowych, warunków zewnętrznych.

Liczba rysunków:

pięć numerowanych, jeden nienumerowany (w przypisie dolnym) – razem sześć rysunków.

Rozdział „2. Cel, zakres i tezy pracy” (ok. 2 str.)

Jako podstawowy cel rozprawy jest zbadanie wpływu założeń projektowych i przyjętych parametrów operacyjnych na zużycie energii i komfort klimatyczny w budynku mieszkalnym.

Cel ten został zrealizowany poprzez badania eksperymentalne, analizy numeryczne oraz ocenę wielokryterialną.

W rozdziale tym sformułowano również dwie tezy pracy. Pierwsza z nich podkreśla znaczenie wielokryterialnej oceny analizowanego systemu technicznego. Natomiast druga wskazuje na wpływ spadku podłużnego przepływu wymiennika gruntowego i kierunku przepływu powietrza na uzyskiwaną temperaturę za tym urządzeniem i jego efektywność energetyczną.

Rozdział „3. Charakterystyka badanego budynku i systemów technicznego wyposażenia”

(ok. 10 i 1/2 str.)

Obiektem badań jest budynek jednorodzinny. Budynek został wzniesiony w technologii tradycyjnej murowanej z bloczków silikatowych i jego obudowa zewnętrzna charakteryzuje się bardzo dobrą izolacyjnością termiczną. Budynek jest wyposażony w systemy: ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej, wentylacji mechanicznej z rekuperatorem ciepła i gruntowym przepływowym wymiennikiem ciepła. Tradycyjne systemy wspomagane są systemem z kolektorami słonecznymi i osobnym systemem z panelami fotowoltaicznymi. W rozdziale tym podano również charakterystyki: zastosowanych czujników pomiarowych oraz systemu akwizycji danych.

Rozdział kończy informacja o liczbie użytkowników. Zauważono także wpływ ogłoszonego w 2020 roku stanu epidemii na sposób użytkowania budynku.

Liczba rysunków: osiemnaście.

Liczba tabel: dwie.

Rozdział 4. Zużycie energii w budynku na podstawie pomiarów (ok. 6 str.)

Na podstawie wyników pomiarów przepływów ciepła opracowano eksploatacyjną charakterystykę energetyczną badanego obiektu. Podano tabele miesięcznych wartości oraz wykresy porównawcze. Przeprowadzono stosowną analizę i wyznaczono wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Liczba rysunków: osiem.

Liczba tabel: sześć.

Rozdział 5. Charakterystyka i parametryzacja czynników kształtujących zużycie energii i komfort klimatyczny (ok. 54 str.)

Przedstawiono wyniki pomiarów wielkości fizycznych: temperatury powietrza zewnętrznego, wilgotności względnej powietrza zewnętrznego, temperatury powietrza wewnętrznego, wilgotności względnej powietrza wewnętrznego, koncentracji CO₂ w powietrzu wewnętrznym, strumieni powietrza nawiewanego do budynku bezpośrednio i przepływającego przez przepływową wymiennik ciepła, a także temperatury i wilgotności względnej powietrza wentylacyjnego (świeżego, nawiewanego do budynku, usuwanego z pomieszczeń, usuwanego z budynku). Zebrane dane uzupełniono wartościami natężenia promieniowania słonecznego, które zostały przygotowane do oceny energetycznej budynków.

W przypadku temperatury powietrza zewnętrznego opracowano: histogram w 2017 roku, statystykę częstotliwości występowania w latach 2006 – 2021 oraz wykresy uporządkowane w latach 2006 – 2019.

Przedstawiono uwarunkowania zewnętrzne i wewnętrzne, które mają wpływ na przepływ powietrza przez budynek: oddziaływanie wiatru, szczelność powietrzną budynku. Przedstawiono wyniki badania szczelności powietrznej budynku. Podano zasady wyznaczania, strumienia świeżego powietrza, który jest wymagany ze względów higienicznych. Opracowano modele i przedstawiono szczegółowe

harmonogramy wewnętrznych zysków ciepła: od urządzeń elektrycznych i oświetlenia, od ludzi, od ciepłej wody użytkowej, od instalacji centralnego ogrzewania i instalacji ciepłej wody użytkowej.

W opisie uwzględniono zewnętrzne zyski ciepła, tj. zyski ciepła od promieniowania słonecznego.

W rozdziale tym zamieszczono również opis strategii sterowania przepływem powietrza przez gruntowy przeponowy wymiennik ciepła i rekuperator.

Liczba rysunków: sześćdziesiąt (głównie wykresy przebiegu mierzonych wielkości fizycznych).

Liczba tabel: trzydzieści jeden.

Rozdział 6. Modelowanie zużycia energii w budynku (14 stron)

Opisano model matematyczny analizowanego systemu, który składa się z:

- modelu 5R1C, który służy do wyznaczania zapotrzebowania na ciepło użyteczne do ogrzewania i chłodzenia budynku;
- dwóch wersji modelu gruntowego wymiennika ciepła, których zadaniem jest wyznaczanie temperatury powietrza opuszczającego GWC.

Weryfikacji dokonano poprzez walidację porównawczą za pomocą programu TRNSYS (badanie metodą symulacji numerycznej) i programu Audytor OZC (badanie metodą bilansów miesięcznych). Uzyskano satysfakcjonującą zbieżność wyników, a zatem wykazano, że przedstawiony w pracy model matematyczny pozwala na wyznaczenie z odpowiednią dokładnością wartości średnich miesięcznych zapotrzebowania na ciepło użyteczne do ogrzewania.

Liczba rysunków: sześćdziesiąt (głównie wykresy przebiegu mierzonych wielkości fizycznych).

Liczba tabel: dwie.

Rozdział 7. Analiza wpływu parametrów projektowych i operacyjnych systemów wyposażenia technicznego na zużycie energii i komfort klimatyczny (13 stron)

Analizę zapotrzebowania na energię w rozważanym zakresie przeprowadzono z wykorzystaniem przedstawionego w poprzednim rozdziale modelu matematycznego. W celu spełnienia warunku porównywalności zachowano odpowiednio warunki brzegowe. Uzyskane wartości porównano z wartościami zmierzonymi. Wykazano, że ze względu na możliwe rozbieżności warunków brzegowych, w przypadku pomiarów i badań symulacyjnych różnice w wartościach dobowych różnią się średnio o 34%. Natomiast znacznie lepszą zbieżność uzyskano przy analizie rocznej. Wówczas różnice nie przekraczają 11%.

W przypadku powietrznego, rurowego, gruntowego wymiennika ciepła (PRGWC) zwrócono uwagę na udział ilości ciepła uzyskanego w tym wymienniku w całkowitej ilości ciepła, jaką należałoby dostarczyć do powietrza w celu jego podgrzania lub ochłodzenia do przyjętej temperatury operacyjnej w pomieszczeniu. W tym celu zbadano przepływy ciepła między powietrzem a gruntem oraz przebiegi temperatury gruntu i powietrza w wymienniku gruntowym. Porównano i określono zgodność przyjętych dwóch modeli obliczeniowych z wartościami zmierzonymi. Zwrócono uwagę na stopień wykorzystania wymiennika gruntowego w warunkach eksploatacyjnych oraz na rozkład temperatury w gruncie i jej wpływ na osiągnięte zmiany temperatury powietrza w zależności od kierunku przepływu powietrza w stosunku do kierunku spadku przewodów.

Opracowano i zamieszczono szereg wykresów porównawczych, które przedstawiają wartości zmierzone temperatury i wymienianego ciepła oraz wyznaczone za pomocą sformułowanych wcześniej dwóch modeli matematycznych.

Dokonano analizy sprawności eksploatacyjnej wymiennika rekuperacyjnego w sezonie ogrzewczym i wykazano, że zawiera się ona w przedziale od 55% do 80%.

Następnie przedstawiono czasowe rozkłady koncentracji dwutlenku węgla i opracowano histogramy częstości występowania zadanych zakresów stężeń i temperatury wewnętrznej w wybranych pomieszczeniach, tj. w sypialni, gabinecie i pokoju dziennym. Zbadano również zależność stężenia CO₂ w funkcji strumienia powietrza wentylacyjnego nawiewanego do budynku. Komfort klimatyczny oceniano za pomocą stężenia dwutlenku węgla i temperatury wewnętrznej.

Rozdział zawiera szereg cennych uwag i komentarzy, które dotyczą rozbieżności pomiędzy zakładanymi wartościami projektowymi a eksploatacyjnymi, np. temperatury wewnętrznej, długości projektowej GWC, szczelności powietrznej, stężenia dwutlenku węgla w wybranych pomieszczeniach.

Liczba rysunków: dwadzieścia siedem.

Liczba tabel: dwie.

Rozdział 8. Optymalizacja parametrów projektowych i operacyjnych systemów wyposażenia technicznego budynku (10 stron)

Zdefiniowano zadanie optymalizacji dwukryterialnej polegające na minimalizacji zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania oraz na minimalizacji zapotrzebowania na sumaryczną ilość energii użytkowej do ogrzewania, chłodzenia i dodatkowej energii elektrycznej do przetłoczenia powietrza wentylacyjnego przez gruntowy wymiennik ciepła. Przyjęto następujące dyskretne zmienne decyzyjne: poziom szczelności budynku (trzy warianty), efektywność odzyskiwania ciepła z powietrza wywiewanego w rekuperatorze (trzy warianty), strumień powietrza wentylacyjnego (trzy warianty), długość (trzy warianty), średnia głębokość posadowienia (dwa warianty), spadek podłużny dna (pięć wariantów) powietrznego, rurowego, gruntowego wymiennika ciepła oraz strategię sterowania przepływem powietrza przez ten wymiennik (pięć wariantów). W celu rozwiązania zadania zbudowano macierz wariantów dopuszczalnych. W rezultacie ograniczono liczbę analizowanych wariantów do 50. Zbadano wpływ wartości zmiennych decyzyjnych na zapotrzebowanie na ciepło użytkowe do ogrzewania i chłodzenia (pierwsza funkcja celu) oraz na zapotrzebowanie na sumaryczną ilość energii użytkowej do ogrzewania, chłodzenia i dodatkowej energii elektrycznej do przetłoczenia powietrza wentylacyjnego przez gruntowy wymiennik ciepła (druga funkcja celu). Wskazano wariant, w którym obie funkcje celu osiągają wartość minimalną.

Liczba rysunków: trzy.

Liczba tabel: dziesięć.

Rozdział 9. Wnioski końcowe i kierunki dalszych prac (ok. 1 strona)

Na podstawie przeprowadzonych badań i dokonanej analizy sformułowano wnioski, które mają walory aplikacyjne. Dotyczą one: konieczności korekty obecnie stosowanej metodyki projektowania gruntowych, powietrznych, przeponowych wymienników ciepła, istotnego wpływu sposobu użytkowania budynku na zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i wentylacji, zalet wykorzystania optymalizacji wielokryterialnej w procesie decyzyjnym. Wskazano również na celowość prowadzenia dalszej analizy parametrów charakteryzujących analizowany system i sposobu sterowania.

Bibliografia zawiera 149 pozycji literatury, w tym 48 w języku angielskim, 2 w języku niemieckim, 3 akty prawne, 15 norm. W bibliografii znajduje się jedna pozycja współautorska Doktoranta. W pracy zastosowano kolejność według powoływania w tekście zasadniczym.

4. Komentarze, uwagi i pytania problemowe

Rozdział 1.

- W sposób bardzo przejrzysty przedstawiono istotne, z punktu widzenia poruszanej tematyki, zagadnienia.
- Opracowana przez prof. P. O. Fangera (1934 – 2006) metoda oceny komfortu cieplnego, której podstawą jest bilans energetyczny w stanie ustalonym jest powszechnie stosowana. Należy jednak pamiętać, że jej początki sięgają lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku.
Czy Doktorant rozważył możliwość wykorzystania innych metod, np. dwuwęzłowej lub modeli adaptacyjnych? Proszę o komentarz.
- *Czy przyjęta klasyfikacja standardów energetycznych budynków (tabela 1-1), która została opracowana w 2016 r., jest nadal aktualna? Proszę o komentarz.*

Rozdział 3.

- *Proszę o podanie informacji uzupełniającej: o autorze lub autorach projektu budynku, a także o roku wydania pozwolenia na budowę oraz oddania budynku do użytkowania.*

Rozdział 4.

- W podrozdziale 3.9. przedstawiono m.in. charakterystykę urządzeń pomiarowych, w tym zakres pomiaru i dokładność.
Szkoda, że w treści rozdziału dotyczącego opracowania uzyskanych danych pomiarowych zabrakło chociażby krótkiej analizy uzyskanych wyników z uwzględnieniem błędów pomiarowych (np. wpływ dokładności pomiaru na uzyskane wyniki, interpretacja graficzna w wybranych przedziałach czasu).

- *Jeśli, z jednej strony, temperatura ciepłej wody użytkowej „często zostaje zdecydowanie przekroczona”, a z drugiej „niejednokrotnie nie osiąga zadanej wartości nastawy 45°C”, to jak można opisać ten fakt ilościowo?*
- *Czy paliwo gazowe wykorzystywane jest do przygotowywania posiłków?*

Rozdział 5.

- W podrozdziale 5.2.3. przedstawiono na rysunku średnie dobowe wartości energii promieniowania słonecznego na powierzchnię nachyloną pod kątem 45° do płaszczyzny poziomej. Dane pochodzą z opracowanego Typowego Roku Meteorologicznego. Niestety całkowite natężenie promieniowania słonecznego w oryginalnym pliku mają błąd (powtórzone te same wartości niezależnie od kąta pochylenia płaszczyzny).

Czy do przygotowania danych wykorzystano modele promieniowania słonecznego, np.: izotropowy lub anizotropowy?

- Przyjęcie średnich wieloletnich wartości danych, a w przypadku stacji Bydgoszcz z lat 1971-1981, prowadzi do odrzucenia wartości ekstremalnych i zmniejszenia wahań. Może to mieć znaczenie w bilansie energetycznym budynku.

Jaki jest udział zysków ciepła od promieniowania słonecznego w całkowitym bilansie?

Rozdział 6.

- *Czy i w jaki sposób weryfikowane były zbieżność i stabilność uzyskanych wyników?*

Rozdział 7.

- „Dla (HJ: rusycyzm) wszystkich okresów, dla których przeprowadzono obliczenia, wewnętrzne zyski ciepła $\phi_{int d}$, $\phi_{int l}$, $\phi_{int us}$, $\phi_{int b}$ przejęto na identycznym poziomie” (str. 121, pierwsze zdanie w drugim akapicie w podrozdziale 7.1) – *czy to po prostu oznacza, że w różnych okresach przyjęto powtarzalne wartości wewnętrznych zysków ciepła, oczywiście z rozróżnieniem ich poszczególnych rodzajów?*

Rozdział 8.

- *W jaki sposób określono macierz wariantów dopuszczalnych?*
- Stężenie dwutlenku węgla w pewnych warunkach przekracza wartości uznane za akceptowalne.
Czy jakość powietrza powinna być traktowana jako kryterium czy może ograniczenie wykluczające niektóre rozwiązania?
- Zazwyczaj bardzo rzadko spotykane są zadania optymalizacji wielokryterialnej dotyczące rzeczywistych systemów technicznych, w których rozwiązanie idealne należy do rozwiązań dopuszczalnych, tutaj jednak zaszedł taki przypadek.
... Czy kryteria są kooperacyjne?

Rozdział 9.

- *Czy w przyszłych badaniach brane jest pod uwagę uwzględnienie wpływu właściwości dynamicznych budynku na wartości przyjętych kryteriów?*

5. Wybrane uwagi szczegółowe

Praca została dość starannie przygotowana pod względem edycyjnym i graficznym. Niemniej jednak można zauważyć drobne nieścisłości, nieliczne literówki i potknięcia gramatyczne, np.:

- str. 4, 11 wiersz od góry: zamiast „14% wzrost zużycie energii” powinno być „14% wzrost zużycia energii”;
- str. 11, wiersze 3 i 4: zamiast „powierzchnia” powinno być „pole powierzchni”;
- str. 13, 3 wiersz od dołu: zamiast „nZEB - budynek zeroenergetyczny”, powinno być „nZEB - budynek prawie zeroenergetyczny”, ponieważ „nZEB” jest skrótem określenia „nearly zero energy building”;
- str. 15, drugi akapit od dołu: to jest bardziej złożony problem, ponieważ czas przebywania w pomieszczeniach wynika również z innych przyczyn (np. tryb życia i przyzwyczajenia, charakter pracy, czas pracy); nie podano źródła informacji;
- str. 17, pierwszy akapit podrozdziału 1.2: W oryginale mowa o „terminie (słowie) klimat” a nie o „komforcie klimatycznym”, ponadto w takich przypadkach powinno być podane źródło;

- str. 19, 13 wiersz od góry: zamiast „Percentage of Dissatisfied caused by war mor cold Floor” powinno być „Percentage of Dissatisfied caused by warm or cold Floor”;
- str. 21, 13 wiersz od góry: zamiast „ilość cykli” powinno być „liczba cykli” (przecież „cykle” są policzalne);
- str. 22, 8 wiersz od góry: zwracam uwagę, że pierwsza wersja wzmiankowanej normy pochodzi z 1953 roku, tj. PN-B-02405:1953 Współczynniki przenikania ciepła k dla przegród budowlanych. Wartości liczbowe (norma wycofana);
- str. 23, drugi akapit od góry: pominięto „chłodzenie” w definicji energii użytkowej;
- str. 24, akapit między rysunkiem 1-3 i tabelą 1-1: zamiast „Wskaźniki zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania dla budynków [...]” powinno być „Wskaźniki rocznego zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania budynków [...]”;
- str. 33, 5 wiersz od góry: dość niezręczne sformułowanie „udało się” i proponuję unikanie w przyszłości tego stwierdzenia (zazwyczaj inżynierowie i naukowcy planują działania, a potem je realizują lub weryfikują możliwości realizacji);
- str. 38, podrozdział 3.3: podrozdział ten nie zawiera ani jednego zdania;
- str. 43, 17 wiersz od dołu: powinno być „produkcję”;
- str. 44, 11 wiersz od dołu: zamiast „przy pomocy” powinno być „za pomocą” („przy pomocy” kogoś, ale „za pomocą” czegoś);
- str. 46, 10 wiersz od góry: powinno być raczej „słoneczny”, przecież „solarny” to bezpośrednie zapożyczenie z języka angielskiego;
- str. 47, tytuł rysunku 4-2: zamiast „Ciepło zarejestrowane przez licznika ...” powinno być „Ciepło zarejestrowane przez licznik ...”;
- str. 47 i 48, rysunki 4-3, 4-4, 4-5: są generalnie niezbyt nieczytelne (np. w pewnych okresach trudno porównać rejestrowane w różnych latach wartości), pożyteczny byłby komentarz dotyczący porównania uzyskanych danych pomiarowych, brakuje odwołania w tekście;
- str. 50, 4 wiersz pod rysunkiem 4-7: niefortunne sformułowanie, to nie „jakość ciepła” zostaje przekroczona, a temperatura ciepłej wody użytkowej;
- str. 51, 4 wiersz od góry pod tabelą 4-5: podana jest wartość, a nie poziom (w tym wypadku „poziom” stanowi zbędny ozdobnik);
- str. 51, zdanie nad tabelą 4-6: niezręczne i przez to niezrozumiałe zdanie „Uśredniona wartość wskaźnika zużycia energii końcowej pomniejszonej o sprawność wytwarzania ciepła w budynku wynosi 82 kWh/(m²·rok).” – przecież nie można od wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię końcową odjąć sprawności wytwarzania ciepła. Jaki wskaźnik Autor miał na myśli?;
- str. 51, 7 wiersz od dołu: zamiast „Średnioroczna sprawności wytwarzania kotła gazowego” powinno być „Średnioroczna sprawność wytwarzania ciepła z paliwa gazowego w kotle”;
- str. 58, podrozdział 5.2.3: w treści zabrakło odniesienia po pozycji bibliograficznej [85];
- str. 65, tabela 5-3: nie podano źródła danych;
- str. 66, tabela 5-4: nie podano źródła danych;
- str. 80, 3 wiersz od góry: zamiast „przy pomocy” powinno być „za pomocą”;
- str. 84, 4 wiersz od dołu: zamiast „t_w – wywiewanego z budynku” powinno być „θ_w – usuwanego z pomieszczeń, a przed centralą wentylacyjną” (inne oznaczenia temperatury niż w „Wykazie ważniejszych skrótów i symboli” i na rysunku 5-42);
- str. 107, pierwszy akapit pod rysunkiem 6-1.: rusycyzm „Bilans ciepła dla węzła referencyjnego [...]”;
- str. 114: wzór 6.34 – brakuje nawiasu zamykającego;
funkcja I(Y) w równaniach – pismo pochyłe, w opisie - pismo proste;
- str. 115, wzór 6.36: zapewne powinno być „θ_{G1}”;
- str. 116, wzór 3.38: zmienne powinny być pisane pismem pochyłym;
- str. 117, wzór 6.47: powinno być „E_{el}”;
- str. 117, 1 i 2 wiersz od dołu: powinno być „η_w” i „η_p”;
- str. 118, 14 wiersz od dołu: powinno być „Na podstawie” i „metodyce” („metodologia” to, według Wielkiego słownika poprawnej polszczyzny, «nauka o metodach badań naukowych, o skutecznych sposobach dociekania ich wartości poznawczej»).
- str. 118, 3 wiersz od dołu: powinno być „odcinków”;

- str. 119 i 123 (rysunki 6-6, 7-8, 7-9, 7-10): lepiej byłoby gdyby oś rzędnych przecinała oś odciętych w wartości -15;
- str. 121, pierwszy wiersz 1 wiersz w podrozdziale 7.1: zamiast „W celu wyznaczenie obliczeniowych wartości zużycia ciepła użytkowego” powinno być „W celu wyznaczenia obliczeniowych wartości zużycia ciepła użytkowego”, a jeszcze lepiej „W celu wyznaczenie obliczeniowych wartości zapotrzebowania na ciepło użytkowe”;
- str. 121, pierwsze zdanie w drugim akapicie w podrozdziale 7.1: „Dla wszystkich okresów, dla których przeprowadzono obliczenia, [...]” – chyba lepiej byłoby „We wszystkich okresach, w których przeprowadzono obliczenia, [...]”;
- str. 122 i 126: nie „Rys. 7-7”, a „Tab. 7-1” i nie „Rys. 7-14”, a „Tab. 7-2”;
- str. 125, 9 wiersz od dołu: powinno być „Na podstawie”, a nie „Na podsatwie”;
- str. 125, równanie 7.1 i opis: lepiej byłoby „ \dot{m}_N ”;
- str. 128, 2 wiersz pod rysunkiem 7-21: powinno być „sposobu”, a nie „spsobu”;
- str. 128, 3 wiersz od dołu: „przepustnica” (zamiast „klapy”);
- str. 128, 2 wiersz od dołu: raczej „zmieniać” lub „poprawiać”, ale nie „optymalizować” (nie podano sformułowania zadania optymalizacji);
- str. 148, tytuł rysunku 7-67: zamiast „budunku” powinno być „budynku”;
- str. 152, 6 wiersz od dołu: zamiast „ilość” powinno być „liczba”;
- str. 153, 15 wiersz od góry: niezręczne sformułowanie „Stężenie dwutlenku węgla w sypialni było dość problematyczne”;
- str. 156 - 162: zamiast „Rys. ...” powinno być „Tabela ...” (dotyczy „Rys.”: 8-1, 8-2, 8-3, 8-4, 8-5, 8-6, 8-7, 8-9, 8-10, 8-12);
- str. 142, 12 wiersz od góry: rusycyzm „wyniki pomiarów dla roku”, a powinno być po prostu „wyniki pomiarów w roku”;
- str. 162, czwarty wiersz od góry w podrozdziale 8.8: brak numeru i tytułu tabeli;
- str. 162, 3 wiersz w podrozdziale 8.8. literówka :obje” (powinno być :obie”);
- str. 162, 4 wiersz w podrozdziale 8.8.: brakuje numeru i tytułu tabeli;
- str. 172, pozycja [85]: „Avaible” - powinno być w języku polskim, choć najczęściej podawany jest wyłącznie adres internetowy;
- str. 175, pozycja [121]: „Avaible” - powinno być w języku polskim, choć najczęściej podawany jest wyłącznie adres internetowy;
- str. 175, pozycja [121]: zwykle podawana jest data dostępu;
- str. 178, 3 wiersz od góry, w nagłówku tabeli: zamiast „ $[W/m^2K]$ ” powinno być „ $[W/(m^2K)]$ ”;
- str. 178 i 179: zamieszczone tabele powinny mieć numer kolejny i tytuł.

6. Podsumowanie opinii

Wymienione w części 5 uwagi i komentarze nie wpływają na ogólną wysoką ocenę merytoryczną opiniowanej rozprawy doktorskiej.

Do istotnych osiągnięć opiniowanej dysertacji zaliczam:

- aktualność i znaczenie podjętej tematyki;
- część doświadczalną pracy, która obejmuje przeprowadzenie sześcioletnich pomiarów wybranych parametrów środowiska wewnętrznego i zewnętrznego oraz analizę uzyskanych wyników pomiarowych;
- identyfikację obiektu badań poprzez opracowanie na podstawie uzyskanych danych pomiarowych charakterystyki badanego obiektu;
- opracowanie szczegółowych harmonogramów użytkowania budynku oraz harmonogramów wewnętrznych zysków ciepła;
- opracowanie oryginalnego programu symulacyjnego służącego do wyznaczania zapotrzebowania na energię użyteczną do ogrzewania i chłodzenia budynku oraz do przeprowadzenia analizy cieplno-przepływowej powietrznego przeponowego gruntowego wymiennika ciepła;
- zbadanie wpływu spadku podłużnego jednorurowego przeponowego wymiennika ciepła oraz kierunku przepływającego powietrza na temperaturę oraz na efektywność energetyczną;
- wykorzystanie opracowanego modelu i uzyskanych danych do identyfikacji obiektu optymalizacji;
- sformułowanie i rozwiązanie zadania optymalizacji dwukryterialnej.

Cechami wyróżniającymi ocenianą rozprawę doktorską pracą są: jej kompleksowość, złożoność opisywanego problemu oraz wskazanie i uporządkowanie wielu zagadnień cząstkowych. W rezultacie jest ona bardzo interesująca ze względu na jej walory poznawcze, badawcze i aplikacyjne.

7. Wnioski końcowe

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską przygotowaną przez Pana mgr. inż. Jacka Miklasa pt. „Wpływ parametrów projektowych i operacyjnych systemów wyposażenia technicznego na zużycie energii i komfort klimatyczny w budynku energooszczędnym” stwierdzam, że spełnia ona wymagania formalne wynikające z Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2023 poz. 742 tekst jednolity), tj.:

- prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz udowadnia umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej kandydata (Art. 187. 1.);
- przedmiotem jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego (Art. 187. 2.);
- jest monografią naukową (Art. 187. 3.);
- zawiera streszczenie w języku angielskim (Art. 187. 4.).

Wnoszę zatem o przyjęcie tej rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Ponadto, biorąc pod uwagę wymienione w punkcie 6 oryginalne osiągnięcia naukowo-badawcze, kompletność przeprowadzonej analizy oraz użyteczny charakter pracy z pełnym przekonaniem wnioskuję o wyróżnienie opiniowanej rozprawy doktorskiej.

Hanna Jedyniak