

Dr hab. inż. Dariusz Heim, prof. PŁ
Katedra Inżynierii Środowiska
Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska
Politechnika Łódzka

Łódź, dn. 24.09.2018

Recenzja
pracy doktorskiej mgr inż. Michała Pierzchalskiego
pt. „Architektoniczna optymalizacja budynków mieszkalnych jednorodzinnych
w zakresie oddziaływania na środowisko naturalne
przy wykorzystaniu oceny cyklu życia (LCA)”
wykonanej na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej
Promotor: prof. dr hab. inż. arch. Elżbieta Dagny Ryńska
Promotor pomocniczy: dr inż. arch. Joanna Klimowicz

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie uchwały Rady Wydziału Architektury Politechniki Warszawskiej z dnia 29 maja 2018 r. o powołaniu recenzenta oraz na prośbę Pani Prodzian ds. Nauki – dr hab. inż. arch. Krystyny Solarek, prof. PW, sformułowaną w piśmie z dnia 5 czerwca 2018 r.

2. Ocena zasadności podjęcia tematu

Jednym z trendów kształtujących architekturę współczesnych budynków jest dążenie do znacznej poprawy ich efektywności energetycznej. Może być ona realizowana między innymi poprzez optymalizację geometryczną bryły, czyli obudowy zewnętrznej budynku, układu funkcjonalnego, jak i zastosowanych rozwiązań materiałowo konstrukcyjnych. Istotnym jest aby poszukiwanie najkorzystniejszego rozwiązania miało charakter wielokryterialny i uwzględniało wszystkie aspekty późniejszego funkcjonowania budynku, w tym interakcje pomiędzy środowiskiem zewnętrznym i wewnętrznym. Biorąc pod uwagę oddziaływanie

budynku na środowisko ważnym jest, aby poza podstawowymi strumieniami energii wynikającymi z jego eksploatacji uwzględnić także strumienie z innych etapów cyklu jego istnienia. Oceniana rozprawa doktorska spełnia powyższe założenie, gdyż poza energią na etapie eksploatacji (użytkową, końcową lub pierwotną) uwzględniono także energię wbudowaną. Takie podejście pozwala na wykonanie pełniejszej i bardziej kompleksowej analizy środowiskowej budynków. Tym samym uważam, że temat ocenianej rozprawy doktorskiej jest ważny i aktualny, zaś sama praca zawiera elementy oryginalne w postaci m.in. opracowanej bazy danych LCA oraz uzyskanych wyników analiz.

3. Zakres rozprawy

Praca pt. „Architektoniczna optymalizacja budynków mieszkalnych jednorodzinnych w zakresie oddziaływania na środowisko naturalne przy wykorzystaniu oceny cyklu życia (LCA)” została przygotowana w formie książkowej składającej się z trzech tomów. Poszczególne tomy liczą odpowiednio 347, 691 i 453 strony. Zasadnicza część pracy została zamieszczona w tomie I, który składa się z dziewięciu rozdziałów. Dominującymi pod względem wielkości i istotnymi z merytorycznego punktu widzenia są rozdziały II, III i IV. W pracy zamieszczono 232 rysunki i 112 tabel. Zawiera ona streszczenie w języku polskim i angielskim (jako rozdział I) oraz wykaz stosowanych pojęć, terminów i skrótów. Proporcje rozdziałów są prawidłowe choć część z nich jest mocno rozbudowana. Pozostałe dwa tomy to załączniki zawierające raporty z obliczeń. Tom II to zestawienie raportów z programu Audytor-OZC, zaś tom III z programu EcoDesigner Star.

Praca rozpoczyna się krótkim streszczeniem w języku polskim i angielskim opisanym jako Rozdział I Wstęp i znajdującym się przed spisem treści.

Rozdział II, jest wprowadzeniem czytelnika w tematykę rozprawy. Zawiera wiele elementów istotnych takich jak: uzasadnienie podjęcia tematu, sformułowanie problematyki badawczej oraz celu i tezy pracy. Ponadto zamieszczono w nim informacje na temat aktualnego stanu badań w analizowanym obszarze oraz przedmiotowego, czasowego i terytorialnego zakresu pracy.

Rozdział III, nazwany jako część analityczna, zawiera głównie wyniki analiz choć znajdują się w niej również informacje dotyczące opisu narzędzi, opisu metody LCA czy też

dane statystyczne dotyczące zużycia energii w Polsce, a także zestawienie nośników energii wraz z podaniem wyliczonych wskaźników emisji zanieczyszczeń.

Rozdział IV, nazwany jako część badawcza, to w dużej części zestawienie dokumentacji rysunkowej. Ponadto zawiera ona wyniki obliczeń współczynnika Daylight Autonomy, charakterystyki energetycznej, emisji dwutlenku węgla a także kosztów budowy.

W rozdziale V dokonano podsumowania pracy oraz sformułowano wnioski, zaś w rozdziale VI zamieszczono spis pozycji bibliograficznych.

Rozdziały VII i VIII zawierają odpowiednio spisy rysunków i tabel.

Rozdział IX to załącznik do tomu I. Znalazły się w nim wyniki ankiet, analiza LCA stropu Teriva oraz autorska baza danych.

Biorąc pod uwagę łączną liczbę stron praca jest w wielu miejscach mocno rozbudowana przez co stanowi opracowanie niezwykle obszerne w porównaniu z typowymi rozprawami doktorskimi.

4. Ocena formalna

Przedstawiona praca ma charakter analityczno - teoretyczny i obejmuje zagadnienia z obszaru architektury, fizyki budowli i ochrony środowiska przez co niewątpliwie ma charakter interdyscyplinarny. Celem pracy, jak podaje Autor na str. 40 było „wykonanie badań i analiz, które umożliwią uzyskanie informacji o tym, w jakim stopniu kształtowanie bryły budynku wpływa na ilość skumulowanej energii i skumulowanej emisji dwutlenku węgla”. Powyższe sformułowanie celu pracy nie odpowiada w pełni jej tytułowi, w którym pojawia się pojęcie optymalizacji. W rzeczywistości w pracy nie przeprowadzono analizy optymalizacyjnej, zaś jedynie analizę parametryczną, wraz z oceną ekonomiczną, wpływu poszczególnych rozwiązań na końcową ilość energii skumulowanej i emisji dwutlenku węgla z wykorzystaniem założeń techniki LCA. Jak wynika z informacji zawartych na str. 40 główne pytanie badawcze dotyczyło dodatkowych kosztów ponoszonych przez inwestorów a wynikających z działań proekologicznych. Moim zdaniem ciężar problemu naukowego mógłby być położony bardziej na aspekty wpływu poszczególnych rozwiązań (architektonicznych i materiałowych) na „ekologiczność” budynku. Pomimo uwag sformułowanych powyżej stwierdzam, że założony cel pracy został zrealizowany za pomocą

poprawnie dobranych metod analitycznych, opracowanych baz danych oraz wyników obliczeń uzyskanych za pomocą inżynierskich narzędzi obliczeniowych.

Autor sformułowała 2 tezy pracy. Ciekawszą i zarazem wartościową z poznawczego punktu widzenia jest teza 1, która została przez Autora udowodniona. Teza 2 jest moim zdaniem znacznie trudniejsza do udowodnienia i stanowi raczej rodzaj postulatu. Stwierdzenie zamieszczone na str. 276, iż „każda zmiana projektowa budynku dotycząca użytych wyrobów budowlanych oraz zmiany formy architektonicznej obiektu, niezależnie od zmiany powierzchni użytkowej mają mierzalny wpływ na oddziaływanie budynku na środowiskowo w postaci ilości emisji szkodliwych substancji oraz energii skumulowanej w całym cyklu istnienia” jest dość oczywiste i nie powiązane bezpośrednio z tezą 2 rozprawy.

Moim zdaniem, najbardziej cenne z naukowego i aplikacyjnego punktu widzenia są następujące osiągnięcia:

1) przeprowadzenie analizy energii skumulowanej 20-letniego cyklu istnienia budynków różnych modeli i określenie potencjału oszczędności pomiędzy poszczególnymi wariantami,

2) opracowanie bazy danych LCA.

Są one istotne w kontekście prowadzonych aktualnie na świecie badań w obszarze budownictwa zrównoważonego, zaś dla warunków polskich dają wartościowe informacje o charakterze utylitarnym.

Praca ma klasyczny układ rozprawy doktorskiej, choć pewne elementy składowe takie jak spis skrótów, tabel i rysunków mogłyby znaleźć się poza zasadniczą jej częścią podzieloną na poszczególne rozdziały. Ponadto podrozdziały drugiego stopnia nie posiadają numeracji np. 4.1 itd. Na wstępie Autor dokonał wprowadzenia czytelnika w tematykę rozprawy oraz przedstawił przyjęte założenia. Odwołania do źródeł literaturowych mają miejsce niemal w całej pracy, choć na przegląd „Współczesnej literatury przedmiotu” poświęcono jedynie pół strony (str. 39). Spis bibliografii, aktów prawnych i norm nie został ponumerowany. Przywoływane pozycje bibliograficzne są aktualne, zaś wiele z nich to źródła anglojęzyczne. Jedynie jedna pozycja w spisie bibliograficznym to publikacja samego doktoranta. Brak jest klasycznego spisu symboli używanych w pracy, choć za taki należy po części uznać spis skrótów. Brakuje w nim jednakże opisu kilku wielkości, takich jak np. W_O i H_u używanych w pracy na stronie 19. Podane w tekście wzory fizyczne nie posiadają numeracji. Wnioski kończące zasadniczą część pracy są konkretne, mają charakter praktyczny

i zawierają syntetyczne podsumowanie wyników przeprowadzonych analiz. Dodatkowe dwa tomy to załączniki przedstawiające wyniki obliczeń. Moim zdaniem są one zbędne, zaś najistotniejsze wielkości końcowe zamieszczono i tak w zasadniczej części pracy.

W mojej opinii praca jest bardzo obszerna (część zasadnicza liczy łącznie 347 stron) co świadczy o tym, że Doktorant starał się dokonać jak najbardziej kompleksowej i rzetelnej oceny wybranych rozwiązań. Zawarto jednak w niej również informacje podstawowe takie jak np. sposób obliczania współczynnika przenikania ciepła przegród (str. 87) lub opis metody generowania danych Typowego Roku Meteorologicznego (str. 58). Zbędnymi wydają się także podstawowe dane normowe i inne wymagania przywoływane w pracy takie jak na przykład strumienie powietrza wentylacyjnego, tabela 49, str. 161. Dość oczywiste i podstawowe są niektóre wytyczne do projektowania sformułowane w rozdziale III.6. Wielkości fizyczne (np. zapotrzebowanie na energię) liczone różnymi metodami i dotyczące poszczególnych przypadków przedstawione zostały w różnych częściach pracy, przez co ich porównanie i ocena poprawności jest trudna dla czytelnika. Widać, że kolejne warianty budynków powstawały w trakcie powstawania rozprawy. Należy także podkreślić, iż z założenia metoda godzinowa daje dokładniejsze wyniki niż metoda miesięczna, dlatego używanie obu metod nie jest w pełni uzasadnione. Imponującą jest natomiast łączna liczba przeanalizowanych przypadków.

Praca napisana jest poprawną polszczyzną, choć niektóre określenia mają charakter potoczny, zaś czasami pojawiają się skróty myślowe. Autor nie stroni od szczegółowych (nawet zbyt szczegółowych) opisów przypadków, przeprowadzonych analizy i uzyskanych wyników na każdym etapie pracy. Jest precyzyjny i rzetelny w formułowaniu własnych opinii, choć dla lepszej czytelności pracy pewne ważne kwestie powinny być mocniej uwypuklone, zaś naciski nieco inaczej rozłożone. Końcowy wynik globalny jest bowiem istotniejszy niż wyniki obliczeń cząstkowych, co nie wynika bezpośrednio z układu rozprawy. Na szczególną pochwałę zasługuje opracowanie polskiej bazy danych materiałowych dla potrzeb LCA. Ponadto cenne jest uwzględnienie w analizach aspektów ekonomicznych. Drobne błędy o charakterze redakcyjnym wykazane w dalszej części recenzji nie mają wpływu na całościową, bardzo pozytywną ocenę.

5. Ocena merytoryczna

Z uwagi na trafnie sformułowany i niezwykle aktualny problem badawczy, oryginalne wyniki analiz, prawidłową interpretację uzyskanych wyników oraz umiejętność formułowania wniosków moja ocena merytoryczna prezentowanej pracy jest wysoka. Jednakże jej dokładna analiza nakłada na mnie obowiązek sformułowania kilku uwag o charakterze dyskusyjnym, nie umniejszających jednak pierwotnej, pozytywnej opinii.

W przypadku parametru DA (Daylight Autonomy) Autor stosuje dwie różne definicje. Na stronie 8 pojęcie to tłumaczone jest jako „autonomia światła dziennego”, zaś na stronie 97 jako „współczynnik oświetlenia światłem naturalnym”. Wydaje się, że z fizycznego punktu widzenia nie jest to z pewnością „współczynnik oświetlenia światłem dziennym”, a raczej współczynnik jego wykorzystania. Również bezpośrednie przyjęcie z języka angielskiego słowa „autonomia” jest niejednoznaczne. Jaka według Autora jest różnica pomiędzy współczynnikami DA i sDA?

Pojęcie natężenie nieboskłonu (str. 8) w odniesieniu do promieniowania widzialnego nie jest poprawne z fizycznego punktu widzenia. W technice świetlnej używa się pojęcia luminancja nieboskłonu, co jednoznacznie ogranicza zakres promieniowania do światła widzialnego.

Na jakiej podstawie (str. 9) przyjęto graniczną wartość $EU_{co} < 77,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$ dla budynków energooszczędnych? Zgodnie z zakończonym Programem Priorytetowym „Efektywne wykorzystanie energii. Dopłaty do kredytów na budowę domów energooszczędnych” graniczna wartość dla budynków energooszczędnych określona była na poziomie $EU < 40,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$.

Opis rozpoczynający się na stronie 32 w podrozdziale „Budownictwo energooszczędne” jest nieco mało precyzyjny. Błędnie utożsamiane są pojęcia architektury słonecznej z architekturą pasywną. Jak Autor rozumie pojęcie „architektury harmonijnej”, str. 39, w zestawieniu z architekturą energooszczędną i pasywną? Czy chodzi tutaj o architekturę bioklimatyczną?

Dla potrzeb analizy Autor przyjął 20 letni cykl istnienia budynku. W polskiej, jak i europejskiej rzeczywistości budowlanej jest to czas wyjątkowo krótki, szczególnie w odniesieniu do budynków mieszkalnych jednorodzinnych. Takie założenie zwiększa udział energii wbudowanej w bilansie energii skumulowanej, a tym samym ma istotne znaczenie

w kontekście poprawności tezy nr 1. Proszę o wyjaśnienie jaki wpływ na uzyskane wyniki może mieć przyjęcie dłuższego czasu istnienia budynku oraz jakie „odpowiednie mnożniki” (str. 42) można zastosować w celu aproksymacji wyników uzyskanych przez Autora. W jaki sposób należałoby uwzględnić dodatkowe „naprawy i remonty” nie analizowane w niniejszej rozprawie.

Co oznaczają i czym różnią się poszczególne „Analizy” oznaczone od numeru 1 do 7 (tabela 5, str. 47 i rysunek 18, str. 48)? Nie zostało to wyjaśnione w tekście rozprawy, zaś przedstawione liczby pozbawione są komentarza. Dziwią dysproporcje uzyskanych wartości dla faz A1-A3 oraz B-6 w przypadku Analizy 2 i 7.

Proszę o wyjaśnienie, czy w obliczeniach metodą miesięczną i godzinową korzystano z tej samej bazy danych klimatycznych (plik typowego roku meteorologicznego)? Czy dane EPW i dane MIB tworzone były na podstawie tego samego okresu danych wejściowych? Zaskakująco zgodne są bowiem wartości temperatury pokazane w tabeli 6 (str. 59). Czemu służyła analiza danych klimatycznych przedstawiona w rozdziale III.2, str. 55?

Sposób pokazania wyników na rysunkach 40 i 41 (str. 73) jest mało inżynierski. Numerowanie poszczególnych budynków (z pominięciem pewnych wartości) nie daje czytelnikowi istotnych informacji. Bardziej cenna byłaby chociażby najprostsza analiza statystyczna wyników, np. poprzez pokazanie dystrybuanty rozkładu. Podobnie nic nie wnoszą wartości wskaźników A/V pokazane w formie wykresu na rysunku 171 (str. 215). Tabelaiczne przedstawienie tego typu danych jest absolutnie wystarczające.

Jak przyjęte wytyczne do projektowania (str. 81) w zakresie standardu energetycznego korespondują z wynikami odpowiedzi respondentów (rys. 49, str. 78), wg. których dominująca grupa pytanych wybrałaby budynek energooszczędny?

Rozdział III.6 nie zawiera elementów optymalizacji a jedynie wytyczne do projektowania budynków energooszczędnych. Czy wytyczne opisane np. w podrozdziale „Lokalizacja budynku” zostały w jakiś sposób uwzględnione w obliczeniach? Pokazane na rysunku 54 konfiguracje zabudowy nie są charakterystyczne dla budynków jednorodzinnych. Podobnie wartości współczynników A/V (rys. 57, str. 90). W rozdziale nie opisano wpływu sterowania i systemów BMS na efektywność energetyczną, co uwzględnia jednak schemat pokazany na rysunku 71 (str. 107).

Wybrane wielkości podane w formie tabelarycznej są często niespójne. Jako przykład podaję wskaźniki emisji zanieczyszczeń (str. 120 i 121). W przypadku gazu raz jest to $[g/m^3]$ (tabela 18), zaś innym razem $[g/kWh]$ (tabela 19). Nie wiadomo jak korzystać ze wskaźnika emisji CO_2 w przypadku paliw dla potrzeb transportu drogowego wyrażonego w $kgCO_2/GJ$.

Jakie wnioski wynikają z wyników przedstawionych na rysunkach 95-99 (str. 158-160)? Brak jest jakiegokolwiek omówienia powyższych wyników. Czy uzyskane wyniki miały wpływ na dalszą modyfikację analizowanych przypadków?

Z czego wynika istotna różnica (ok. 30%) w przyjętych strumieniach powietrza wentylacyjnego, str. 162? Czy nie lepiej byłoby już na tym etapie ujednoczyć strumienie powietrza? Tym bardziej, iż jak podano na tej samej stronie „powierzchnia i program użytkowy jest niemal identyczny”, zaś we wszystkich budynkach przyjęto taką samą centralę wentylacyjną (rys. 100). Ujednoczenia dokonano w dalszej części obliczeń (str. 231), jednak powoduje to, iż rośnie liczba przypadków, które stają się trudne do porównania.

Proszę o wyjaśnienie względem jakiej wartości bazowej wyznaczano procentową ilość promieniowania słonecznego zamieszczoną w tabeli 77 (str. 231)?

6. Uwagi o charakterze edytorskim i ogólnym

Str. 8, sformułowanie „Przestrzeń ... jest płaszczyzną ...” jest niepoprawne;

Str. 12, „...jest to energia najistotniejsza, ponieważ jest to energia, ponieważ ...”;

Str. 15, jest „Ocena kosztów w cyklu życia”, powinno być „Koszt w cyklu życia”;

Str. 18, jest $[^{\circ}C \cdot d/rok]$, powinno być $[K \cdot d/rok]$;

Str. 21, energia wbudowana powinna być wyrażona w jednostce odniesionej do m^2 wyrobu lub m^3 materiału, podobnie str. 123, tabela 21;

Str. 23, jest „dokonuje”, powinno być „dokonał”;

Str. 25, rys. 4, jest „zapotrzebowanie na energię”, powinno być „energia”;

Str. 25, rys. 4, wykresy przedstawiające energię wbudowaną i skumulowaną nie powinny posiadać punktu przecięcia;

Str. 31, jest „sięgają”, powinno być „obejmują”;

Str. 32 jest „wspólny”, powinno być „wspólne”;

Str. 40, jest „budowlanych”, powinno być „budowlanych”;

Str. 52, metoda godzinowa nie jest metodą dynamiczną;

Str. 68, zdanie „Rozwiązania dotyczące chłodzenie budynku stosowane głównie w Warszawie i Suwałkach” jest niezrozumiałe;

Str. 95, jest „na przegrodzie”, powinno być „na powierzchni wewnętrznej przegrody”;

Str. 99, jest „energii słonecznej”, powinno być „energii promieniowania słonecznego”;

Str. 104, jest „°C”, powinno być „K”;

Str. 112, jest „światła”, powinno być „oświetlenia”;

Str. 114, jest „żelbet”, powinno być „żelbetowe”;

Str. 135, określenie „*low-tech*” w tym kontekście należy tłumaczyć raczej jako „o niskim stopniu przetworzenia” niż „tradycyjne”;

Str. 139, jest „pod”, powinno być „po”;

Str. 152, jest „... badania i analizy modeli ...”, powinno być „... badania i analizy z wykorzystaniem modeli ...”;

Str. 152, jest „ilość energii zużywanej”, powinno być „obliczeniowego zapotrzebowania”;

Str. 158, jest „pomiar”, powinno być „obliczenie”;

Str. 162, jest „osiąganych”, powinno być „uzyskanych”;

Str. 212, jest „zapotrzebownaie”, powinno być „zapotrzebowanie”;

Str. 213, brak opisu osi pionowej rysunku 169;

Str. 231, określenia „niżej” oraz „wyżej sprawność” są niezrozumiałe;

Str. 249, rys. 197, sformułowanie „podaż solarna” lub „podaż wewnętrzna” jest niewłaściwe;

Str. 266, tabel 98, podawanie kosztów realizacji obiektów z dokładności do 0,01 zł jest nieuzasadniona.

7. Wniosek końcowy

Uwagi jakie zawarłem w niniejszej recenzji w dużym stopniu mają charakter dyskusyjny i nie podważają w istotny sposób wartości pracy, jak również nie obniżają pozytywnej oceny samego Doktoranta. Stwierdzam, że Autor opracowania podejmując istotny problem badawczy rozwiązał go samodzielnie poprawnymi metodami naukowymi przez co wykazał się umiejętnością wymaganą od osób ubiegających się o stopień doktora. Otrzymane wyniki wnoszą nowe elementy do wiedzy o ocenie środowiskowej budynków, ze szczególnym uwzględnieniem warunków Polski.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. arch. Michała Pierzchalskiego pt.: "Architektoniczna optymalizacja budynków mieszkalnych jednorodzinnych w zakresie oddziaływania na środowisko naturalne przy wykorzystaniu oceny cyklu życia (LCA)" spełnia wymagania art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki wraz z późniejszymi zmianami, dlatego wnioskuję do Rady Wydziału Architektury Politechniki Warszawskiej o jej przyjęcie i dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony.



dr hab. inż. Dariusz Heim, prof. PŁ