

**Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. arch. Mateusza Płoszaj-Mazurka
pod tytułem: Cyfrowe metody wspomaganie projektowania architektonicznego a analiza śladu
węglowego budynków**

a. Podstawy opracowania

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi pismo Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Architektura i Urbanistyka Politechniki Warszawskiej prof. dr hab. inż. arch. Krystyny Solarek. Podstawę merytoryczną stanowi przekazana praca doktorska.

b. Charakterystyka pracy

Opiniowana praca doktorska napisana jest w języku polskim, liczy w sumie 227 stron. Zawiera 137 ilustracji i 18 zestawień tabelarycznych. Spis bibliografii liczy 198 pozycji. Ponadto dołączono wykaz terminów, skrótów i zwrotów zastosowanych w pracy oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. Praca posiada także załącznik w zawierający bazę danych do analizy śladu węglowego, która posłużyła do badań przeprowadzonych na potrzeby pracy.

Praca składa się z 11 rozdziałów, w tym z rozdziału wstępnego, zawierającego wyłącznie streszczenia (polskie i angielskie) oraz wprowadzenia, w którym uzasadniono wybór tematu, zaprezentowano cele pracy, jej tezy oraz strukturę.

Pozostałe rozdziały podzielono na dwie części – teoretyczno-analityczną oraz eksperymentalno-badawczą. Część teoretyczna składa się z 6 rozdziałów – od trzeciego do ósmego i stanowi staranny przegląd dotychczasowego stanu badań w kwestiach kluczowych dla tematu pracy. W rozdziale trzecim opisano problematykę śladu węglowego, jego związku ze zmianami klimatu i umocowaniem prawnym tego zagadnienia. Rozdział czwarty dotyczy związku tej problematyki z projektowaniem architektonicznym oraz metod szacowania śladu węglowego w budynkach. W rozdziale piątym opisano zasady Zintegrowanego Procesu Projektowania jako podejścia metodologicznego, które pozwala na ujęcie problemów środowiskowych, w tym także związanych ze śladem węglowym., jako kryteriów projektowania. Rozdział szósty, najbardziej rozbudowany w tej części, zawiera analizę wpływu poszczególnych decyzji projektowania budynku na jego ślad węglowy w różnych fazach jego istnienia (zgodnie z zasadami LCA). Rozdział siódmy jest przeglądem dostępnych narzędzi w postaci metod i odpowiadającego im oprogramowania komputerowego

wspierających racjonalne podejmowanie decyzji projektowych. W rozdziale ósmym zaprezentowano narzędzia i dane, które posłużyły konkretnie badaniom podjętym w pracy.

Część eksperymentalno-badawcza składa się w trzech rozdziałów (od dziewiątego do jedenastego). Rozdział dziewiąty, zasadniczy dla tej części i najbardziej obszerny, zawiera precyzyjny opis procesu tworzenia narzędzia optymalizującego decyzje projektowe związane w projektowaniem budynków wielorodzinnych, ze względu na ślad węglowy budynku w całym cyklu jego istnienia. W rozdziale dziesiątym opisano sposób i efekt wykorzystania opracowanego w pracy narzędzia na przykładzie konkretnego budynku. Rozdział jedenasty zawiera podsumowanie pracy.

3. Ocena merytoryczna pracy

3.1. Ocena doboru tematu

Temat pracy mieści się w polu zagadnień środowiskowych, które stały się jednymi z ważniejszych we współczesnych uwarunkowaniach cywilizacyjnych. Zatem z tego już powodu można uznać dobór tematu za wartościowy. Jednak warto zauważyć, że dodatkowo praca wpisuje się w najbardziej aktualne kwestie śladu węglowego, jako obiektywnego parametru oceny środowiskowej budynków. Do niedawna za najważniejsze uznawano kwestie energii. Dziś wiemy, że chodzi o coś więcej. Kompleksowe ujęcie oceny wpływu budynków na środowisko jest aktualnym problemem do rozwiązania, podobnie jak możliwości wdrażania narzędzi oceny jako wspomagania decyzji projektowych związanych z budynkami. Praca bezpośrednio dotyczy obu tych problemów. Wysoko oceniam zatem wagę społeczną i środowiskową tego tematu, a jego ujęcie uważam za adekwatne do wymagań stawianych pracom doktorskim.

3.2. Cele, tezy i zakres pracy

Pierwszym celem pracy jest analiza możliwości optymalizacji projektu budynku ze względu na wartość śladu węglowego zawiązanego z całym cyklem istnienia. Drugim celem jest opracowanie autorskiego narzędzia komputerowego, które może wspierać architekta w podejmowaniu decyzji projektowych ukierunkowanych na minimalizację śladu węglowego. Oba cele są precyzyjnie sformułowane i stanowią ambitne wyzwanie. Zakres badań ograniczono do budynków wielorodzinnych o powierzchni od 1200 do 3200 m² oraz wybranych stref klimatycznych, co jest adekwatne dla zakresu pracy doktorskiej i pozwoliło właściwie ukierunkować badania.

Teza pracy składa się z trzech konkretnych stwierdzeń dotyczących możliwości wdrożenia do procesu projektowania budynków działań optymalizujących ślad węglowy, skali korzyści, które można dzięki temu odnieść oraz metod obliczeniowych, które należy zastosować. Ogólnie ujęcie naukowe pracy oceniam wysoko jako klarowne, logiczne i wyraźnie ukierunkowane jasno określone cele, wartościowe zarówno z teoretycznego, jak i praktycznego punktu widzenia. Świadczy to o bardzo dobrym warsztacie naukowym Doktoranta i jego dojrzałości zawodowej.

3.3. Najważniejsze elementy wartości naukowej pracy

Najważniejsze elementy wartości naukowej opiniowanej pracy to:

- Wyodrębnienie i usystematyzowanie decyzji architektonicznych wpływających na ślad węglowy budynku oraz odniesienie ich do konkretnych faz cyklu życia budynku.
- Wykonanie i porównanie szeregu analiz obliczeniowych jako potencjalnych narzędzi wspomagających proces projektowania architektonicznego budynków wielorodzinnych o założonych parametrach: analizy wykonanej za pomocą arkuszy kalkulacyjnych, za pomocą programów parametrycznych, za pomocą algorytmów genetycznych, za pomocą uczenia maszynowego, za pomocą sieci neuronowych.
- Opracowanie autorskiego narzędzia cyfrowego umożliwiające obliczenie śladu węglowego budynku, porównanie bardzo dużej liczby możliwych kombinacji jego parametrów i wybór najbardziej korzystnej dla danej sytuacji.
- Wyrazista, czytelna struktura pracy oddająca logikę kolejnych kroków prowadzących do realizacji postawionych celów. Owa czytelność dotyczy zarówno pracy jako całości, jak i poszczególnych jej elementów. Doktorant wykazał się konsekwencją i dociekliwością świadczącymi o wysokich umiejętnościach organizowania pracy naukowej.

3.4. Część badawcza pracy

Badania własne Autora zostały zawarte w drugiej części pracy, nazwanej eksperymentalno-badawczą. Jednak elementów badawczych można się także doszukać w części pierwszej, nazwanej teoretyczno – analityczną. Autor rozważył które z decyzji architektonicznych mają wpływ na ślad węglowy budynku różnicując go na istotny i pośredni. Odniósł te decyzje do różnych faz istnienia budynku obowiązujących w uznanej metodzie oceny wpływu budynku na środowisko LCA. Doktorant posłużył się badaniami innych Autorów, jednak charakter autorski ma wykonana analiza i jej synteza w postaci czytelnego zestawu diagramów (ilustracja 65 na str. 91), które same w sobie mogą stanowić pomoc w podejmowaniu decyzji architektonicznych uświadamiając wagę konkretnych zagadnień dla całościowego bilansu śladu węglowego. Zarówno ten element części pierwszej dysertacji, jak i inne oparte na analizie aktualnego stanu badań zostały ukierunkowane tak, by stanowiły podstawę dla założeń autorskich badań w części drugiej. Nie ma tam zbędnych treści, a układ i zakres opracowania poszczególnych elementów wynika jasno z postawionych na początku pracy celów.

Zakres zasadniczych badań opisanych w drugiej części dysertacji jest szeroki. Autor wykazał się w niej wiedzą i umiejętnościami w zakresie metod obliczeniowych i programowania wykraczającymi daleko poza kompetencje architekta, co nadaje pracy charakter interdyscyplinarny. Posłużył się co prawda istniejącymi programami i ich rozszerzeniami w postaci specjalistycznych nakładek (np. RhinoCeros, Grasshopper, Ladybug, Honeybee, LCA Tool, Energy Plus) oraz bibliotekami (np. SciKit Learn, Keras, Pandas, Numpy, Matplotlib) i bazami danych. Jednak połączył

je w sposób autorski oraz opracował samodzielnie interfejs graficzny umożliwiający czytelne zestawienie i zobrazowanie kluczowych dla ostatecznego wyniku danych. Autor także samodzielnie zebrał część danych, które nie zostały ujęte w kompletnych bazach, na przykład te dotyczące śladu węglowego poszczególnych wyrobów budowlanych, czy emisyjności różnych źródeł energii.

Realizacja założonego celu w postaci metody obliczeń i optymalizacji parametrów pod kątem śladu węglowego wymagała zatem od Autora skompletowania bardzo dużej liczby elementów, ich właściwego dopasowania oraz uzupełnienia. Autor wykazał się bardzo dużą wiedzą zawodową w tym zakresie oraz rzetelnością naukową.

Badania Autora polegały na zastosowaniu narzędzi obliczeniowych o różnym stopniu zaawansowania jako potencjalnego narzędzia, które można byłoby włączyć w pracę architekta na etapie projektu koncepcyjnego i „wczesno budowlanego” (gdy zapadają decyzje o podstawowych technologiach i materiałach), gdyż ta faza, jak dowiódł Autor w pierwszej części pracy, powoduje największe konsekwencje dla śladu węglowego budynków. Konsekwencje, których nie można zasadniczo zmienić decyzjami podejmowanymi w dalszych fazach. Porównał w sumie 5 metod obliczeniowych wykazując, że to te najbardziej zaawansowane w postaci metod uczenia maszynowego i sieci neuronowych są najbardziej skuteczne. Ponieważ liczba parametrów brana pod uwagę jest stosunkowo duża, generują one nie mieszczące się w głowie liczby możliwości kombinacji. Jedynie te dwie metody dają możliwości otrzymania wiarygodnych wyników i wskazania grupy najkorzystniejszych rozwiązań w czasie, który nie przedłuży pracy architekta poza rozsądne granice. Autor dokonał pierwszych prób badawczych na stosunkowo prostej geometrii budynku, poszukując w dalszych krokach możliwości poszerzenia spektrum o bardziej złożone geometrie oraz uwzględnienia kontekstu urbanistycznego.

Część badawczą pracy oceniam bardzo wysoko zarówno pod względem naukowym, jak i praktycznym. Opracowana w rzetelny sposób autorska metoda jest osiągnięciem naukowym samym w sobie, ale także uwzględnia praktyczne realia pracy architekta. Może się stać elementem wspierającym decyzje na wstępnym etapie pracy nad projektem, kiedy szczególnie trudno właściwie wkomponować wątki interdyscyplinarne, w tym środowiskowe. Pewien niedosyt pozostawia nazbyt syntetyczne podsumowanie, które ma postać przypominającą streszczenie zawartości pracy. Oczekiwałamby w nim nieco szerszej perspektywy niż ścisłe odniesienie do uzyskanych wyników. Zresztą także w stosunku do nich zabrakło jasnego odniesienia do sformułowanej w tezie pracy liczby 10% potencjalnych oszczędności śladu węglowego, jakie można uzyskać dzięki opracowanej metodzie. Ta kwestia nie została należycie wyjaśniona. Poza tym zabrakło szerszych wniosków, a raczej pytań, które można byłoby postawić jako kolejne. Jak połączyć zaproponowaną metodę z procesem decyzji architektonicznych dotyczących innych zagadnień, jak na przykład funkcjonalność układów mieszkań kryjących się w badanych bryłach budynków wielorodzinnych, czy kompozycja urbanistyczna jaką tworzy projektowany budynek z otoczeniem? Jak ustawić priorytety poszczególnych kryteriów wyboru? Nie sugeruję tu by poszerzać zakres pracy o kolejne wątki, ale raczej podjąć dyskusję na

temat zagadnień problemowych i dalszych kierunków badań. Zasadniczym pytaniem jest jak połączyć zaproponowaną w pracy metodę optymalizacji, która daje bardzo wymierne wyniki liczbowe z procesami decyzyjnymi, w których trudno o jednoznaczne porównania ilościowe. Ciekawe jest także kto miałby wykonywać prace analityczne według opracowanej przez Autora metody. Czy powinien to być architekt, czy wyspecjalizowany analityk? Mam nadzieję, że Autor wyrazi swoje poglądy na ten temat podczas obrony.

4. Uwagi krytyczne

Przedstawioną pracę oceniam wysoko. Nieliczne uwagi krytyczne nie wpływają zasadniczo na ostateczną wartość osiągnięcia Doktoranta. Jednak kilka – oprócz podanych w punkcie 3 – nasunęło się podczas czytania pracy:

- a. Za pewnie niedociągnięcie części wstępnej pracy uważam pominięcie prezentacji aktualnego stanu badań. Liczne odwołania do literatury tematu dotyczące poszczególnych zagadnień znajdują się wprawdzie w dalszej części pracy, jednak Autor nie odniósł się do stanu badań dotyczącego bezpośrednio tematyki pracy (np. którzy autorzy zajmują się bezpośrednio kwestią powiązania śladu węglowego z projektowaniem, czy i jakie pracownice architektoniczne podejmują takie wątki)
- b. W rozdziale piątym, ilustracja 10 (str.41) nie jest w pełni zrozumiała. Na osi y wykresu zobrazowano „wysiłek”, czyli wkład, zaangażowanie odpowiadające poszczególnym fazom procesu powstawania budynku. Jaka jest miara tego wysiłku?
- c. Można się zastanowić czy definicja śladu węglowego, która pojawia się dopiero na stronie 47 nie powinna zostać przytoczona we wstępnej części pracy.
- d. Na stronie 47, na początku podrozdziału 6.1.1. jest mowa o referencyjnym okresie użytkowania. Autor pisze „ w ramach eksperymentów założono okres 30 lat jako okres analizowany”. Nie jest w pełni jasne, czy Autor odniósł się tym samym do własnego eksperymentu opisanego w dalszej części pracy czy do innych.
- e. Na stronie 49 i 50 Autor opisuje jakie elementy lokalizacji wpływają na ślad węglowy budynku. Ujął je w dwóch podpunktach – „lokalizacja i klimat” oraz „lokalizacja i zagospodarowanie terenu”. Wydaje się, że pominięto jeszcze inne uwarunkowania takie jak na przykład – warunki terenowe (np. poziom wody, rodzaj gruntu) i wynikające z sytuacji urbanistycznej (np. konieczność wykonania garaży podziemnych, specjalnego fundamentowania ze względu na bliskość zabudowy sąsiadującej itp.)
- f. Na stronie 65 Autor rozważa znaczenie grubości termoizolacji na ślad węglowy. Brak informacji jaki materiał został wzięty pod uwagę.

- g. Autor nie uwzględnił w bibliografii i powołaniach w tekście publikacji Krzysztofa Cebrata z Wydziału Architektury Politechniki Wrocławskiej, który wykorzystuje w swoich badaniach metodę sieci neuronowych (SOM) do optymalizacji energetycznej budynków.
- h. Dodatkowego wyjaśnienia wymaga uzasadnienie sposobu włączenia do badań kontekstu urbanistycznego (str. 150-157). Autor bada konfiguracje ustawień budynków otaczających ten projektowany podczas gdy w rzeczywistości projektowej nie jest to sytuacja podlegająca parametryzacji, jest to sytuacja zastana, ustalona, na którą nie mamy wpływu.

5. Ocena strony formalnej pracy

Poziom formalny pracy jest bardzo dobry. Pod względem konstrukcji logicznej można ocenić ją wysoko. Konstrukcja ta znajduje swoje odzwierciedlenie w układzie pracy. Zwraca także uwagę rzetelne, konsekwentne opracowanie graficzne. Wszystkie rysunki są ujednoczone, a ich ujęcie właściwie oddaje istotę poruszanych problemów. Autor wykazał się umiejętnością powoływania na źródła. Bibliografia pracy jest bardzo bogata, zawiera ważne pozycje, w tym te najbardziej aktualne.

Praca napisana jest bardzo dobrym językiem. Czyta się ją z przyjemnością i warto, pomimo, że bardzo duża część tekstu traktuje o problematyce technicznej, zwykle trudnej w odbiorze. Poziom językowy pracy potwierdza dojrzałość Autora i wysoki poziom Jego pracy, zarówno w aspekcie naukowym, jaki i eksperckim. .

6. Wnioski końcowe

W opiniowanej pracy doktorskiej rozwiązano postawione zadanie naukowe. Autor właściwie określił cele pracy i metody ich realizacji. Postawione tezy zostały udowodnione, a wnioski wyprowadzono prawidłowo. Autor rzetelnie wywiązał się z zadania badawczego, kompletując bogaty materiał i właściwie go opracowując. Na wszystkich etapach pracy wykazał się wysokim poziomem warsztatu naukowego.

Z pełnym przekonaniem stwierdzam, że przedłożona przez **mgr inż. arch. Mateusza Płoszaj-Mazurka** praca doktorska pod tytułem: „**Cyfrowe metody wspomaganie projektowania architektonicznego a analiza śladu węglowego budynków**” stanowi twórczy wkład do nauki w dyscyplinie *architektura i urbanistyka* oraz spełnia ustawowe wymogi stawiane pracom doktorskim. Stawiam zatem wniosek o dopuszczenie rozprawy do publicznej dyskusji.

Dodatkowo, doceniając wysoki poziom naukowy pracy oraz jej znaczenie dla wspomaganie praktyki projektowej w Polsce w zakresie budownictwa o wysokich standardach, wnoszę o jej wyróżnienie. Wniosek swój uzasadniam wysoką wartością naukową pracy, w której Autor podjął badania o wysokim stopniu zaawansowania wykazując się wiedzą i umiejętnościami wykraczającymi poza kompetencje wynikające w zakresie własnej dyscypliny. Wyniki Jego badań mają duży walor

aplikacyjny i trafiają w rzeczywiste, aktualne zapotrzebowanie na narzędzia wspomagające projektowania architektoniczne odpowiedzialne środowiskowo.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'K. Jura', is positioned in the upper right quadrant of the page.