

Kraków, 10.12.2023 r.

Dr hab. inż. arch. Marcin Furtak, prof. uczelni  
Politechnika Krakowska

## **R e c e n z j a**

**pracy doktorskiej mgr inż. arch. Hassan Bazazzadeh**  
**pt. „Constructing semi-automated buildings’ energy loads model to retrofit built heritage by**  
**using a Data-driven model and computer vision.”**  
**(Konstruowanie półautomatycznego modelu wydatków energetycznych budynków w celu**  
**modernizacji dziedzictwa kulturowego przy użyciu modelu opartego na danych i wizji**  
**komputerowej).**

Recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Architektury Politechniki Poznańskiej, dr hab. inż. arch. Ewa Pruszewicz – Sipińska, prof. Politechniki Poznańskiej, (nr umowy 0100/2023/217 z 6.11.2023). Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. arch. Hassan Bazazzadeha „Constructing semi-automated buildings’ energy loads model to retrofit built heritage by using a Data-driven model and computer vision”. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. arch. Adam Nadolny, prof. Politechniki Poznańskiej.

### **1. Charakterystyka pracy**

Opiniowana praca doktorska liczy wraz z załącznikami 146 stron, wraz z bibliografią i spisem treści. Bibliografia obejmuje w sumie 267 pozycje. Zasadnicza część pracy zawiera w sumie 68 rycin, 26 tablic oraz zestawienie skrótów.

Zarówno rysunki jak wykresy i fotografie Autor kwalifikuje i opisuje jako rysunki, co jest niedokładnością, która jednakże nie powoduje uciążliwości w lekturze pracy.

Rozprawa w zasadniczej części składa się z 8 rozdziałów, obejmujących:

- Wstęp / zarys badań,
- Metodologia,
- Kontekst badawczy,
- Aspekty zmian klimatycznych,
- Wykorzystanie aplikacji bazujących na danych,
- Rezultaty działań,
- Wnioski,
- Bibliografia

Opiniowana rozprawa ma charakter w przeważającej części teoretyczny. Dotyczy trudnych zagadnień związanych z diagnozą charakterystyk energetycznych budowli, w tym budowli zabytkowych. Autor pracy uważa, że bazując na współczesnych aplikacjach i technologiach mobilnych można stworzyć metodę badawczą umożliwiającą szacowanie wydajności energetycznej budynków zabytkowych z pominięciem kosztownych zasobów obliczeniowych. Uważa również, że współczesne aplikacje pozwalające na skanowanie elementów geometrii budynków w połączeniu z algorytmami maszynowego uczenia oraz aplikacjami badającymi zmiany pogodowe i klimatyczne mogą stanowić trzon tej metody badawczej. Metody pozwalającej w sposób możliwie prosty i intuicyjny podejmować decyzje z zakresu działań termomodernizacyjnych i audytów energetycznych.

Trzeba przyznać już na samym początku, że tak postawione zadanie jest wymagające, trudne, żeby nie powiedzieć ocierające się o granice możliwości aktualnego rozwoju myśli technicznej. Praca podejmująca tak duże wyzwanie musi być zatem kontrowersyjna, do pewnego stopnia nowatorska i nieszablonowa naukowo.

Jej zakres tematyczny pomimo, że ujęty w ramy efektywności energetycznej dotyczy również zagadnień materiałowych, konstrukcyjnych, budowlanych, tematyki prawa budowlanego i przepisów budowlanych oraz, a może przede wszystkim, współczesnej i najbardziej aktualnej technologii mobilnej, analitycznej i informatycznej. Ten szeroki repertuar poruszanych zagadnień sprawia, że można ją zaliczyć do prac interdyscyplinarnych z pogranicza architektury, budownictwa oraz fizyki budowli. Wskazuje to jednocześnie na złożoność rozpatrywanej problematyki.

Praca jest usytuowana w głównym nurcie współczesnych zagadnień badawczych związanych z wykorzystaniem nowoczesnych technologii w służbie ochrony dziedzictwa materialnego. Istniejąca wiedza na ten temat jest w dużej mierze rozproszona i skoncentrowana na poszczególnych, odrębnych zagadnieniach. Dla przykładu osoby pracujące nad aplikacjami zajmującymi się danymi pogodowymi nie poruszają w swych rozważaniach kwestii geometrii budynków czy ich skanowania. Podobnie naukowcy zajmujący się fizyką budowli będą tylko w minimalnym stopniu zainteresowani tematyką prognozowania pogody. Mnogość płaszczyzn poruszanych w pracy ogranicza w sposób oczywisty jej dokładność, a tym samym należy podkreślić, że praca przybiera często znamiona nie potwierdzonej propabilistyki. W tym pozornym szaleństwie jest jednak metoda, na pewno trudno przejść obok pracy obojętnie. Trzeba również podkreślić, że Doktorant uporządkował potrzebne mu zakresy wiedzy i zbudował klarowny schemat logiczno – dowodowy. Wykorzystanie współczesnej wiedzy i metod badawczych (zwłaszcza pomiarowych) jest w ocenie Recenzenta wyzwaniem samym w sobie.

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Hassana Bazazzadeh nie można uznać za kompletną, tak jak proces rozwoju technologicznego nigdy nie pozostanie kompletny. W pracy Autor podaje własne rozwiązania oraz przeprowadza ich weryfikację doświadczalną na tyle na ile jest to możliwe w proponowanym stopniu dokładności. Czy podane rozwiązania mogą być zastosowane w praktyce inżynierskiej oraz wykorzystane przez innych badaczy zajmujących się podobną problematyką? Tak. Przy czym kwestia na ile będą to opracowania polemiczne czy rozwijające metodę Doktoranta pozostaje sprawą otwartą. Należy odnotować również sformułowanie przez Autora pracy proponowanych kierunków dalszych badań.

Ważną pozytywną cechą pracy jest jasność przedstawianych problemów oraz konsekwentne dążenie do postawionych celów. Charakteryzuje to przede wszystkim zagadnienia związane bezpośrednio z tematyką pracy. Świadczy to o dobrym przygotowaniu Autora do prowadzenia badań naukowych i znajomości trudnej problematyki związanej z istniejącymi obiektami budowlanymi.

## **2. Ocena merytoryczna pracy**

### **2.1. Ocena doboru tematu pracy**

Praca dotyczy ważnego problemu związanego z jakością energetyczną zabytkowych obiektów kultury materialnej. Osadzona jest w realiach prawnych wynikających z przynależności Polski do Instytucji Unijnych, prawa budowlanego oraz aktualnej sytuacji geopolitycznej, gospodarczej i klimatycznej. Porusza tematykę poprawy efektywności energetycznej budynków (w tym, jak deklaruje w abstrakcie Autor – zabytkowych) a w przekonaniu recenzenta również popularyzowaniu tego zagadnienia. Popularyzacja jest możliwa przez użycie możliwie mało skomplikowane narzędzi dedykowanych nie tylko ekspertom, ale również właścicielom i zarządcom nieruchomości.

W tym kontekście tematyka pracy jest ciekawa, aktualna i dobrze adresowana. Budownictwo czy dyscyplina mogąca skorzystać na pracy najbardziej, czyli konserwacja zabytków, ewoluują często bardzo powoli. Nowe doktryny i metodologia podejmowanych działań wprowadzane są do obrotu praktycznego wolno, konserwatywnie, często w sposób okrojony i możliwie rozważny. Wynika to to z konieczności zmian przepisów, norm i certyfikatów budowlanych. Podejście do tematu zaproponowane przez Doktoranta burzy ten porządek rzeczy i zmusza do porzucenia długo ukształtowanych ram. Jest to w pewien sposób podejście rewolucyjne (słowa tego, zamiast przymiotnika „innovacyjne”, recenzent użył z premedytacją).

Czy zatem proponowana przez Doktoranta metoda to dobra droga do tworzenia nowego spojrzenia na audyty energetyczne? Oczywiście, każda nowa droga i spojrzenie wymuszają rozwój. Choćby nie wiadomo jak niedopracowane. Pojawia się tu jednak wątpliwość czy przedmiotem pracy jest, jak sugeruje jej tytuł, budowa modelu czy jak sądzi recenzent stworzenie sposobu/ metody działania. W przekonaniu recenzenta tematyka pracy porusza zdecydowanie tą drugą ewentualność.

Jeśli skoncentrujemy się, zgodnie z tytułem pracy, na budowie modelu, to powinien on przybrać zdecydowanie jednoznaczne i precyzyjniejsze ramy i być w całości weryfikowalny. Jeśli zaś przedmiotem naszych prac jest metoda/ metodyka, możemy pozwolić sobie na wskazanie zakresu działań bez całkowitej koncentracji nad modelem. Model można przecież później bez szkody dla samej metody zmienić lub zweryfikować. W odczuciu recenzenta, pracy zdecydowanie bliżej do tego ogólnego podejścia i tym samym jej tytuł mógłby brzmieć inaczej.

Trzeba zauważyć, że w tytule swojej dysertacji Doktorant dwukrotnie użył słowa „model” w jednym zdaniu. Nie sprzyja to poprawności stylistycznej. Pomimo to, istniejący tytuł oddaje sens zagadnień zawartych w dysertacji i odzwierciedla charakter opracowania.

## **2.2. Teza lub cele pracy**

Zgodnie z aktualną metodyką przygotowań prac doktorskich teza pracy nie została wskazana bezpośrednio. Zastępują ją trzy zdefiniowane przez Autora główne cele, które przytoczono w rozdziale 1-szym, na stronie 8.

Doktorant deklaruje dzięki swojej pracy, osiągnięcie ułatwienia procesu audytu energetycznego istniejących budynków, dzięki czemu będzie on bardziej dostępny i wydajny. Wiąże się to z opracowaniem metodologii, wytycznych i narzędzi, które mogą poprowadzić audytorów przez proces audytu, od gromadzenia danych po analizę i raportowanie. Celem jest stworzenie znormalizowanego i przyjaznego dla użytkownika podejścia (metody?), które zmniejsza złożoność i czas wymagany do audytów energetycznych, ostatecznie promując ich szersze zastosowanie. Co ciekawe nie ma tu mowy o modelu pojawiają się za to pojęcia „podejście” i „proces”.

Kolejnym wyzwaniem Autora jest sprawdzenie przydatności i dokładności metod analitycznych opartych na danych, które zyskują na popularności w audytach energetycznych. Należy jednak dokładnie ocenić ich przydatność i dokładność w przypadku istniejących budynków. Wyzwanie to polega na ocenie wydajności modeli i algorytmów opartych na danych w zakresie dokładnego przewidywania zużycia energii i identyfikowania możliwości oszczędzania energii w istniejących budynkach. Celem jest ocena mocnych stron i ograniczeń metod oraz zapewnienie wglądu w ich praktyczne wdrożenie w rzeczywistych scenariuszach.

W opinii recenzenta dokładna ocena wskazanych modeli i algorytmów nie jest możliwa, na podstawie przytoczonych przykładów i bez użycia konkretnych przepisów budowlanych. Powoduje to wybiórczość w ocenach zawartych w pracy i do pewnego stopnia znamionuje działanie mające na celu potwierdzenie, że utworzenie nowej metody jest możliwe. Z drugiej strony mnogość poruszonych zagadnień poniekąd zmusza Autora do ograniczenia branych pod uwagę danych. Czy nie powinno się w takim razie ograniczyć zakresu pracy do wybranych wariantów?

Ostatnim głównym celem pracy i jednocześnie jej najbardziej spektakularnym osiągnięciem jest opracowanie zastępczej metody opartej na danych, która może pokonać ograniczenia i wymagania dotyczące danych związane z tradycyjnymi audytami energetycznymi. Autor chce zbadać alternatywne źródła danych i opracować modele, które pozwolą oszacować wydajność energetyczną i zidentyfikować potencjalne środki oszczędzania energii bez konieczności gromadzenia obszernych danych lub inwazyjnych inspekcji. Stworzyć w ten sposób nową metodę badawczą.

Ta metoda zastępcza powinna wykorzystywać łatwo dostępne dane, takie jak charakterystyka budynku, wzorce obciążenia, dane pogodowe i rachunki za media. Wszystko po to aby zapewnić wiarygodne i praktyczne spostrzeżenia na potrzeby audytu energetycznego.

W pracy nie udaje się to w sposób oczywisty i ten cel w odczuciu recenzenta nie został w całości osiągnięty. Jak widzimy ambicja Doktoranta wyprzedza w tym przypadku jego możliwości badawcze i możemy zaobserwować pewien idealizm we wczesnej fazie rozwoju naukowego Doktoranta.

### **2.3. Ocena wartości naukowej pracy**

Najważniejsze elementy wartości naukowej opiniowanej pracy doktorskiej to:

- Podjęcie trudnej i interdyscyplinarnej tematyki, wychodzącej poza ramy li tylko dyscyplin budowlanych i konserwatorskich,
- Wytyczenie bardzo ambitnych celów pracy,
- Wykorzystanie aktualnych źródeł i bibliografii (w tym głównie zagranicznych) z pogranicza różnych dyscyplin,
- Próba wykorzystania najnowocześniejszych zdobyczy technologii mobilnych, informatycznych i analitycznych na użytek stworzenia nowoczesnej metody podejścia do audytów energetycznych obiektów zabytkowych,
- Usystematyzowanie rozproszonej wiedzy i jej poszerzenie,
- Próba charakterystyki i oceny wybranych elementów składowych nowej metody audytu,

- Przeprowadzenie własnych badań uzupełniających,
- Czytelność wywodu oraz czytelność własnych rycin obrazujących pracę (do wykorzystania przez innych badaczy),
- Kompleksowe choć idealistyczne podejście do rozwiązania zagadnienia (architektura, budownictwo, materiały budowlane, zagadnienia technologiczne, klimatologia i inne); świadczy to o dużej wiedzy Doktoranta,
- Odwaga badawcza,

Aspekty, które w toku dalszych badań powinno się poprawić:

- Określenie stopnia wiarygodności tworzonej metody i jej weryfikacja (w pracy brakuje jej na zadowalającym poziomie),
- Weryfikacja poszczególnych modeli przyjętych jako części składowe nowej metody audytowania powinna zostać poszerzona,
- Jednoznaczne zdefiniowanie metody – na chwilę obecną jej kształt wg recenzenta nie jest ostateczny,
- Realne osadzenie metody w warunkach prawnych obowiązujących w Polsce (w pracy jest to dalece niewystarczające, często brak odniesienia do polskich przepisów),
- potwierdzenie skuteczności metody (niewystarczające),
- przeprowadzenie próby konsolidacji różnych modeli użytych w metodzie, w chwili obecnej brak takiej próby co może potwierdzić brak możliwości realizacji metody w jej proponowanym kształcie,
- brak odniesień w opisie metody do obiektów zabytkowych, mimo, że w abstrakcie Doktorant dedykuje ją w dużej części tej grupie obiektów,

#### **2.4. Badania doświadczalne**

Przeprowadzone badania doświadczalne zawarte w rozdziale „Rezultaty” zostały właściwie zaprogramowane z punktu widzenia celu i zakresu pracy. Na wysoką ocenę zasługuje ich dobra dokumentacja.

Taką samą pozytywną uwagę można wypowiedzieć w odniesieniu do prezentacji wyników badań. Jest ona przejrzysta, a wyniki mogą być z powodzeniem wykorzystane przez innych badaczy.

Do badań został wybrany obiekt, który można uznać za reprezentatywny. Zwiększenie ilości obiektów dałoby szansę uznania zaproponowanych rozwiązań jako ważnych dla szerszej grupy budynków, a nie tylko dla analizowanego przykładu.

### **3. Uwagi krytyczne**

#### **3.1. Uwagi ogólne**

Podczas czytania pracy nasunęły się następujące uwagi natury ogólnej:

- Praca ma w przeważającej części charakter czysto teoretyczny, ale jest niespójna. Autor odwołuje się do poszczególnych modeli nie weryfikując ich kompleksowo w kontekście proponowanej przez siebie metody, separując poszczególne modele od siebie.
- Cele nakreślone przez Autora nie zostały zrealizowane w sposób przekonujący,
- Amatorskie nakreślenie tła badawczego. Przepisy europejskie, statystyki, polskie przepisy prawne cytowane wybiórczo lub z nieweryfikowalnych źródeł,
- Analiza stanu wiedzy nie powinna być celem, ale środkiem do osiągnięcia celu. W pracy za dużo elementów opisujących istniejące technologie a za mało skonkretyzowania ich użycia dla celów tworzenia nowej metody. Przykładem jest szerokie omawianie technologii LIDAR bez jednoznacznego wskazania w jaki szczegółowy sposób może zostać wykorzystana w metodzie audytów,
- Brak osadzenia prezentowanych modeli i technologii w polskich przepisach prawnych,
- Brak określenia sposobów weryfikacji metody badawczej i brak jej weryfikacji w sytuacji rzeczywistej,
- Niejednoznaczny kształt metody powodujący niedosyt czytającego,
- Brak określenia sposobu synchronizacji pomiędzy poszczególnymi elementami metody,



### **3.2. Uwagi szczegółowe**

Oprócz uwag krytycznych ogólnych, podanych w punkcie 3.1, można wymienić następujące uwagi szczegółowe:

- Wymienne i problematyczne używanie pojęcia model, w odniesieniu do metody czy technologii
- Nieprecyzyjność tytułu pracy,
- Niejednoznaczność niektórych elementów technicznych metody skutkuje np. dwoma propozycjami budowy geometrycznego modelu budynku (str. 24),
- Brak podania autorstwa ilustracji przytoczonych w pracy (np. fig. 2.5.),
- Brak podania wzorów i tabel, z których część wydaje się, że pochodzi nie od Autora,
- Nieliczne błędy stylistyczne i interpunkcyjne,

### **4. Ocena strony formalnej pracy**

Praca jest napisana jasno i czytelnie, a przy tym dobrym językiem angielskim. Z racji podjęcia nowatorskiej tematyki opartej na nowoczesnych technologiach praca wymaga wprowadzenia skrótów co Doktorant zrobił i zestawił je w odrębnej tabeli. Układ pracy jest poprawny. Wszystkie zagadnienia Autor przedstawił w przystępny i prosty sposób. Ilustracje graficzne są na bardzo dobrym poziomie. Nieliczne, dostrzeżone w tekście usterki redakcyjne – oczywiste w tak obszernej pracy – nie mają praktycznego znaczenia z merytorycznego punktu widzenia.

Należy jednak zwrócić uwagę, aby przy przygotowywaniu artykułów na podstawie opiniowanej pracy sformułowania używane w mowie potocznej zamienić na poprawne z punktu widzenia czystości języka technicznego.

### **5. Wnioski końcowe**

Pomimo uwag krytycznych natury ogólnej i bardziej szczegółowych mogę jednoznacznie i stwierdzić, że opiniowana praca stanowi udane rozwiązanie postawionego zadania naukowego. Autor wykazał się dobrym przygotowaniem i opanowaniem wiedzy z zakresu ochrony technologii mobilnych, informatycznych i analitycznych.

Wykazał również znajomość tematyki związanej z tworzeniem audytów energetycznych, umiejętnością rozwiązywania nowatorskich zagadnień technicznych, a także prowadzenia uzupełniających badań doświadczalnych weryfikujących te rozwiązania.

Zarówno cele zawarte w pracy jak również metodyka rozwiązywania problemów oraz wnioski mają z jednej strony walory naukowe i poznawcze, a z drugiej strony mogą być wykorzystane w praktyce inżynierskiej, zwłaszcza po dalszym udoskonaleniu. Dalszy rozwój badań rozpoczętych przez Doktoranta jest wymagany i konieczny, żeby tworzona metoda zyskała skuteczność i mogła zostać dogłębnie i kompleksowo zweryfikowana. Objęcie działaniami tak dużego zakresu wiedzy technologicznej stanowi ważną zaletę opiniowanej pracy i świadczy o dużej wiedzy Doktoranta.

Przy realizacji pracy Autor wykazał się umiejętnością organizowania i prowadzenia badań naukowych, a także logicznym wnioskowaniem. Są to cechy znamionujące predyspozycje do samodzielnego prowadzenia dalszej działalności naukowej na odpowiednim poziomie. Otwarty charakter pracy umożliwia zresztą podjęcie dalszych badań w oparciu o dotychczasowe rezultaty co zresztą jest wymagane aby proponowana metoda mogła zostać dopracowana i uszczegółowiona.

**Biorąc pod uwagę podane wyżej informacje uważam, że przedłożona praca doktorska mgr inż. arch. Hassan Bazazzadeha pt. „Constructing semi-automated buildings' energy loads model to retrofit built heritage by using a Data-driven model and computer vision.” stanowi twórczy wkład do nauki w zakresie dyscypliny *Architektura i Urbanistyka* oraz spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668). Stawiam zatem wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej dyskusji.**