

**Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. arch. Jakuba Świdzińskiego
pod tytułem: Optymalizacja efektywności energetycznej budynków w procesie projektowym w
oparciu o technologię BIM**

a. Podstawy opracowania

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Architektura i Urbanistyka Politechniki Śląskiej dr hab. inż. arch. Krzysztofa Rostańskiego, prof. PŚI oraz ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”. Podstawę merytoryczną stanowi przekazana praca doktorska.

b. Charakterystyka pracy

Praca wykonana została w trybie Doktoratu Wdrożeniowego na Politechnice Śląskiej w partnerstwie z biurem projektowym Medusa Group. Promotorem pracy jest dr hab. inż. arch. Michał Stangel, prof. PŚI, opiekunem naukowym ze strony Medusa Group dr inż. arch. Łukasz Zagała. Opiniowana praca doktorska napisana jest w języku polskim, liczy w sumie 144 strony. Zawiera 71 ilustracji, 6 fotografii i 38 zestawień tabelarycznych. Spis bibliografii liczy 173 pozycji literaturowych, 25 aktów prawnych i norm, 22 raporty i bazy danych. Ponadto dołączono streszczenie w języku polskim i angielskim.

Praca składa się z 7 rozdziałów. Pierwszy rozdział ma charakter wstępny. Zawiera wprowadzenie, sformułowanie problemu, uzasadnienie podjęcia tematu, opis stanu badań, definicję celów, tez i zakresu badań, a także opis metod badawczych i struktury pracy.

Rozdział drugi dotyczy zagadnienia optymalizacji w kontekście efektywności energetycznej budynków. Autor przybliżył problematykę zużycia energii na świecie i w Polsce, w tym także w kontekście udziału budownictwa w ogólnym bilansie oraz źródeł pozyskiwania energii. Odnosił się także do specyfiki budownictwa wielorodzinnego, kluczowego dla Jego badań. Zaprezentował także dotychczasowe najbardziej znaczące osiągnięcia w zakresie optymalizacji budynków mieszkalnych oraz nakreślił kontekst komfortu cieplnego użytkowników jako podstawowego ograniczenia jej możliwości.

W rozdziale trzecim Autor ukazał kontekst prawny wymieniając i komentując przepisy regulujące kwestie wymagań energetycznych w procesie projektowania budynków w Polsce.

W rozdziale czwartym odniesiono się do technologii BIM jako narzędzia wspierającego optymalizację energetyczną budynków. Autor zaprezentował sytuację zasobów mieszkaniowych w Polsce w kontekście ich zapotrzebowania na energię oraz dokonał przeglądu literatury w zakresie systematyki rozwiązań architektoniczno-budowlanych wpływających na efektywność energetyczną budynków. Opisał także specyfikę narzędzia BIM w kontekście możliwości analitycznych i projektowych w zakresie energii.

Rozdział piąty zawiera autorską analizę referencyjnych zoptymalizowanych energetycznie budynków. Analiza objęła 8 budynków, a na jej podstawie dokonano obliczeń przedziałów wybranych parametrów, kluczowych według Autora dla optymalizacji energetycznej.

Rozdział szósty zawiera opis badań wybranego budynku wielorodzinnego projektowanego przez Medusa Group wymodelowanego z systemie BIM. Autor poddał go wielokrotnemu wariantowaniu zmieniając wartości parametrów wytypowanych jako kluczowe dla prowadzonych badań sprawdzając jak ich zmiana wpłynie na ostateczny bilans energetyczny budynków.

Rozdział siódmy zawiera wnioski ukierunkowane na możliwości wdrożenia BIM jako narzędzia optymalizacji energetycznej budynków w procesie projektowania. Autor dokonał także podsumowania pracy w zakresie spełnienia poczynionych we wstępie założeń.

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. Kwestie energii, choć są jednymi z wielu współzależnych kryteriów podejścia prośrodowiskowego, należą do priorytetowych globalnie i szczególnie ważnych dla użytkowników budynków. Temat też wpisuje się także dobrze w specyfikę ścieżki wdrożeniowej. O ile kwestie śladu węglowego i emisyjności, słabo jeszcze ujęte w prawodawstwie, raczej nie mają szansy na wdrażanie w najbliższej przyszłości w realiach polskiego rynku, o tyle kwestie energii stają się coraz ważniejsze jako parametr wpływający na wartość budynku jako towaru. Zawężenie badań do budownictwa wielorodzinnego uważam za słuszne, jako że to przeważająca funkcja współcześnie wznoszonych budynków w Polsce. Szkoda jedynie, że ta specyfika badań nie znalazła odzwierciedlenia w tytule pracy. Tym niemniej wysoko oceniam wagę społeczną i środowiskową tego tematu, a jego ujęcie uważam za adekwatne do wymagań stawianych pracom doktorskim.

3.2. Cele, tezy i zakres pracy

Autor wyszczególnił 8 celów pracy. Pierwsze cztery można uznać za cele wstępne, które polegają na rozpoznaniu i usystematyzowaniu stanu wiedzy potrzebnej do opracowania przekonujących założeń dla zasadniczych autorskich badań. Cele 5 i 6 zawierają konkretne oryginalne efekty w postaci „metodologii optymalizacji efektywności energetycznej w praktyce architektonicznej

oraz określenie niezbędnych narzędzi” oraz „oszacowanie skali oszczędności wydatków energetycznych dzięki zaproponowanej metodologii”. Cele 7 i 8 skupiają się ocenie opracowanej metodologii pod kątem możliwości i sposobów jej wdrażania.

Teza pracy składa się z trzech konkretnych stwierdzeń, jednego głównego i dwóch pomocniczych, dotyczących znaczenia narzędzi BIM w procesie optymalizacji energetycznej budynków jako możliwego do zastosowania w fazie koncepcyjnej projektowania i mieszczącego się w zakresie kompetencji architekta.

Zakres badań zawężony został do budownictwa wielorodzinnego i uwarunkowań prawnych obowiązujących w Polsce. Zakres realizacji budynków wybranych jako *case-studies* ograniczono przestrzennie do krajów europejskich, a czasowo do wzniesionych po 2010 roku ze względu na specyfikę czasowego rozwoju obostrzeń energetycznych w budownictwie europejskim.

Ogólnie ujęcie naukowe pracy oceniam wysoko jako klarowne, logiczne i wyraźnie ukierunkowane jasno określone cele, wartościowe zarówno z teoretycznego, jak i praktycznego punktu widzenia.

3.3. Najważniejsze elementy wartości naukowej pracy

Najważniejsze elementy wartości naukowej opiniowanej pracy to:

- Usystematyzowanie stanu badań dotyczących optymalizacji energetycznej budynków z uwzględnieniem kontekstu funkcji mieszkaniowej wielorodzinnej i uwarunkowań polskich.
- Wykonanie analizy wybranych przykładów budynków zoptymalizowanych energetycznie i opracowanie na jej podstawie przedziałów wartości parametrów wyodrębnionych (na bazie studiów literaturowych) jako kluczowe dla efektywności energetycznej budynków.
- Opracowanie i analiza wariantów przykładowego projektu budynku wielorodzinnego pod kątem korelacji jego wybranych parametrów z zapotrzebowaniem energetycznym przy użyciu modelowania BIM. Wyodrębnienie kluczowych dla wyniku a jednocześnie możliwych do optymalizacji w praktyce parametrów badanego budynku.
- Ocena przydatności modelowania BIM jako narzędzia wspomagającego optymalizację energetyczną możliwą do przeprowadzenia w procesie projektowym w zakresie decyzji podejmowanych przez architekta. Wskazania co do sposobu wdrożenia.

3.4. Część badawcza pracy

Trzy rozdziały zawarte w pracy bezpośrednio po pierwszym, wstępnym, są rozeznaniem stanu badań, na którego podstawie Autor poczynił założenia do autorskich studiów badawczych, zaprezentowanych w rozdziale piątym i szóstym. Układ tych „rozpoznawczych”, przeglądowych rozdziałów jest właściwy, materiał literaturowy jest bogaty i dobrze dobrany. Mam natomiast wątpliwości czy słusznie zatytułowano rozdział 4 jako „Praktyka projektowa a technologia BIM”. Dużą jego część stanowi omówienie kwestii sytuacji budownictwa wielorodzinnego w Polsce w

kontekście zapotrzebowania na energię oraz przegląd literatury pod względem cech architektonicznych, które można próbować parametryzować, a które mają znaczenie dla bilansu energetycznego budynków. Druga z tych kwestii została podjęta w podrozdziale „Metody optymalizacji energetycznej” (4.4, str. 57-60), co nie jest adekwatne dla zawartej w nim treści. Wynika z tego rozdziału jakie cechy potencjalnie mogą podlegać optymalizacji i na jakich etapach standardowego procesu projektowania się o nich decyduje. Nie wynika z tego żadna konkretna metoda ich optymalizowania. Słuszne byłoby omówienie BIM na tle innych narzędzi służących optymalizacji energetycznej w spójnym rozdziale, a usytuowanie obu wymienionych wyżej kwestii w innych częściach pracy. Jest to jednak drobna usterka, możliwa do usunięcia.

Badania własne Autora zostały zawarte w rozdziałach 5 i 6. W pierwszym etapie rozdziału 5 Autor dokonał przeglądu 5 kluczowych publikacji o podobnym problemie, w których porównywano wpływ wybranych parametrów (z grupy wytypowanych przez Autora) na bilans energii przykładowych budynków. Kolejnym etapem był wybór i analiza 8 przykładów budynków wielorodzinnych wzniesionych po 2010 roku w Europie (Niemcy, Austria, Słowenia, Francja, Wielka Brytania, Polska) pod względem wytypowanych wcześniej parametrów wpływających na energochłonność. Wszystkie te przykłady to budynki o obniżonym w stosunku do standardowego zapotrzebowaniu na energię użytkową. Analizie porównawczej poddano kluczowe parametry: odchylenie orientacji od osi północ-południe, zwartość bryły (A/V), udział powierzchni elewacji o poszczególnych orientacjach, udział przeszkleń (window/wall ratio) na poszczególnych elewacjach, izolacyjność przegród pełnych i przeszkleń, szczelność. Oprócz nich także porównano cechy charakteryzujące wielkość budynków takie jak: powierzchnia całkowita, liczba kondygnacji nadziemnych i podziemnych, liczba mieszkań, kubatura. W efekcie uzyskano zestawienie przedziałów wartości wszystkich tych parametrów. Ogólnie zaproponowaną metodę oceniam jako właściwą, mam jednak kilka uwag co do jej szczegółów:

- c. Liczba publikacji poddanych szczegółowemu przeglądowi jest mała, jak na miarę zainteresowania tym tematem we współczesnej nauce. Autor nie uzasadnił dlaczego wybrał właśnie te publikacje spośród innych jako podstawę dla założeń badawczych swojej pracy.
- d. Liczba analizowanych przypadków budynków także jest niewielka. Ponadto rozpiętość ich wielkości jest znaczna (3-13 kondygnacji, 6-147 mieszkań, budynek najmniejszy ma około 20 razy mniejszą powierzchnię całkowitą niż największy) i reprezentują różne typologie przestrzenno-funkcjonalne. Dyskusyjne wydaje się także uwzględnienie w jednym zbiorze budynków pasywnych z innymi o mniej rygorystycznych i skodyfikowanych założeniach. W efekcie rozpiętości zyskanych przedziałów badanych parametrów są znaczne i niosą jedynie ogólne rozeznanie.
- e. Wybór kryteriów poddawanych analizie, choć wynika z poprzednich rozdziałów, nie został właściwie uzasadniony przez Autora. Pominął On różne cechy budynków wymieniane w

literaturze i opisane w pracy. Należą do nich kwestie rozplanowania pomieszczeń, uwzględnienia struktur szklarniowych oraz aranżacji otoczenia budynku. Rzeczywiście nie wszystkie z nich znajdują swoje zastosowanie w budynkach wielorodzinnych (na przykład struktury szklarniowe takie jak atria nie są stosowane, choć już struktury zewnętrzne w postaci przeszklonych logii już tak). Jednak pominięcie całkowicie kwestii układu mieszkań (możliwość strefowania termicznego i świetlnego mieszkań) oraz rozwiązań w otoczeniu budynków należałoby bardzo dobrze uzasadnić.

W dalszej części pracy, w rozdziale 6 Autor przeprowadził badania nad możliwością optymalizacji przykładowego zespołu wielorodzinnego projektowanego przez Medusa Group w Katowicach. Autor wybrał jeden budynek z racji jego powtarzalności oraz poddał go wariantowaniu. Scenariusze wariantowania zostały opracowane z wykorzystaniem zakresów kluczowych parametrów, który to zakres został opracowany w poprzednim kroku (rozdział 5). Opracowano 12 wariantów i porównano zmiany zapotrzebowania na energię w stosunku modelu wyjściowego – referencyjnego. Nie wszystkie warianty zostały pokazane na schematach rysunkowych, co utrudnia zrozumienie badań, choć wszystkie dane zostały zestawione w tabeli i można je przeanalizować. Niewątpliwie to cenna próba badawcza pokazująca narzędzie BIM jako pomocne w fazie koncepcyjnej, kiedy zapadają decyzje architektoniczne istotne dla bilansu energetycznego budynków. Można jednak mieć wątpliwości co do wyboru wariantów i sensu ich zestawiania ze sobą. W grupie wariantów znalazły się także takie, w którym niemożliwe byłoby zaprojektowanie mieszkań ze względu na zbyt głęboki trakt (wariant 4) oraz takie, w którym wydaje się, że nie udałoby się spełnić wymagań oświetlenia pomieszczeń mieszkalnych światłem dziennym i innych z grupy p-poż (wariant 6 z zamkniętym ciasnym dziedzińcem). Szczęśliwie dla Autora nie okazały się one optymalne energetycznie. Warianty zajmujące znacznie większą powierzchnię działki niż budynek referencyjny także raczej nie nadawałyby się do rekomendacji inwestorowi, gdyż niweczyłyby rachunek ekonomiczny inwestycji. Wydaje się, że należałoby oddzielić badania wariantów możliwie wielu możliwych w celu wzbogacenia wiedzy na temat znaczenia poszczególnych parametrów od badań nad tymi wariantami, które są realne, czyli uwzględniających wszystkie wymagania budownictwa wielorodzinnego i podstawowe założenia inwestycyjne. Brakuje mi także w badaniach odniesienia do dwóch ważnych kwestii. Pierwsza dotyczy wpływu istnienia budynków sąsiednich na otrzymane wyniki. Czy budynek referencyjny i jego warianty badano jako wolnostojące? Jeśli tak, to należałoby uwzględnić ryzyko wzajemnego zacieniania przez budynki współtworzące cały kompleks oraz sąsiednie istniejące i projektowane. Druga kwestia dotyczy ryzyka przegrzewania mieszkań latem. To poważny, narastający problem, który można mierzyć rosnącą lawinowo liczbą indywidualnych klimatyzatorów montowanych przez użytkowników mieszkań, szczególnie w dużych miastach. Dane naukowe i doświadczenia pokazują na duże znaczenie zewnętrznych systemów zacieniających, które należy uwzględniać w projektach, a to jest ściśle już związane z zakresem badanych cech budynków. Autor

nie skomentował w żaden sposób problemu ryzyka przegrzewania, zatem proszę o rozwinięcie tej kwestii.

Ostatnim etapem pracy było określenie zmian, jakie powinny zostać wprowadzone do procesu projektowania aby wzmocnić znaczenie fazy koncepcyjnej z wykorzystaniem narzędzie BIM. Autor wykazał spełnienie deklarowanych celów i dowiedzenie tez. Zaznaczyć jednak należy, że cel 6 związany z oszacowaniem możliwych oszczędności wskutek optymalizacji dotyczy jedynie budynku badanego jako przykładowy, a nie do wszystkich budynków w ogóle.

Niezależnie od uwag, jakie mam do części badawczej pracy, doceniam jej wartość i znaczenie wdrożeniowe. Autorowi udało się przetestować BIM w pracy nad optymalizacją procesu formowania budynków i projektowania ich obudowy w celu uzyskania oszczędności energetycznych. Tworzenie bazy wiedzy na ten temat wymaga zdecydowanie pogłębienia badań i ich rozszerzania o inne nie uwzględnione tu elementy budynku (np. układ funkcjonalny, otoczenie), ale pracę tę można uznać jako „przetarcie” drogi do pierwszych wdrożeń, nawet jeśli miałyby one nie wyczerpywać wszystkich możliwości. Szczególnie doceniam tę pracę jako próbę złączenia podejścia naukowego z praktyką projektową.

4. Uwagi krytyczne

Większość moich uwag krytycznych została zawarta w przedstawionym wyżej komentarzu dotyczącym części badawczej – jej założeń i poszczególnych kroków. Autor zagubił się nieco w celach badawczych. Jeśli ważniejsze było poszukiwanie zależności między parametrami budynków określanymi w fazie koncepcyjnej a efektywnością energetyczną należałoby wgłębić się w opracowanie przedziałów parametrów (większa liczba badanych przypadków, podział na różne typy i wielkości budynków). Jeśli ważniejszy był aspekt wdrożenia w realny proces projektowy należałoby ograniczyć określić warunki brzegowe wariantowania zgodnie z wszystkimi uwarunkowaniami inwestycji. Wówczas warianty byłyby mniej zróżnicowane, ale dałoby się uwzględnić większą liczbę innych kryteriów (np. związanych z jakością rozkładów mieszkań). Kolejna uwaga, także zasygnalizowana wyżej dotyczy pominięcia kwestii zacieniania przez sąsiednią zabudowę oraz jakiegokolwiek nawiązania do kwestii przegrzewania mieszkań latem, jak i zresztą innych cech związanych z komfortem mieszkań.

Poza tym uwagami, kilka bardziej szczegółowych nasunęło się podczas czytania pracy:

- Warto byłoby rozważyć uszczegółowienie tytułu przez uwzględnienie zakresu badań, czyli budynków wielorodzinnych i być może kontekstu polskiego.
- Dobrze byłoby wprowadzić na początku pracy definicję aktywnych i pasywnych rozwiązań związanych z optymalizacją energetyczną. Terminy te pojawiają się „przy okazji” w tekście, a są ważne dla tematyki pracy

- Choć lista pozycji literaturowych podanych przez Autora jest bogata, zabrakło w niej prac doktorskich broniących ostatnich lat na Politechnice Warszawskiej autorstwa Mateusza Płoszaja-Mazurka i Aleksandry Przywózki pod opieką prof. Elżbiety Dagny Ryńskiej oraz na Politechnice Wrocławskiej autorstwa Weroniki Lechowskiej pod opieką Krzysztofa Cembrata. Dwie pierwsze dotyczą oceny śladu węglowego, w którym energia użytkowa jest jedynie częścią większej całości, a trzecia ukierunkowana jest na specyfikę budownictwa jednorodzinne. Wszystkie te prace łączy jednak wykorzystanie narzędzi opartych na uczeniu maszynowym, które pozwoliło autorom na analizę bardzo dużej liczby kryteriów i wariantów. Przydałaby się refleksja Autora nad tym narzędziem i jego odniesieniem do BIM.

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, bardzo staranne opracowanie graficzne. Wszystkie rysunki są ujednolicone, 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, właściwym dla opracowania naukowego. Czyta się ją z przyjemnością i warto, pomimo, że bardzo duża część tekstu traktuje o problematyce technicznej, zwykle trudnej w odbiorze. Poziom językowy i redakcyjny pracy jest wysoki.

6. Wnioski końcowe

W opiniowanej pracy doktorskiej rozwiązano w sposób oryginalny 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. Wykazał się wysokim poziomem wiedzy teoretycznej, dobrym poziomem warsztatu naukowego oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Uwagi krytyczne nie przeważają nad uznaniem dużej wartości pracy. Szczególnie ważna jest jej rola wdrożeniowa. Choć można uznać, że jest to początek drogi nad badaniami możliwości optymalizacji energetycznej budynków wielorodzinnych w procesie projektowania, to jest to cenny materiał o dużych walorach praktycznych

Stwierdzam zatem, że przedłożona przez **mgr inż. arch. Jakuba Świdzińskiego** praca doktorska pod tytułem: **„Optymalizacja efektywności energetycznej budynków w procesie projektowym w oparciu o technologię BIM”** 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.