

Dr hab. inż. Tomasz Kisilewicz
Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli
Wydział Inżynierii Lądowej
Politechnika Krakowska

Kraków, dnia 7.VIII.2021 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Zygmunta pt. „URBAN-SCALE ENERGY MODELLING OF SOME RESIDENTIAL ENERGY FLEXIBLE BUILDINGS CLUSTERS IN POLAND”

Recenzję opracowano w związku z uchwałą Rady ds. Stopni Naukowych w dyscyplinach Inżynieria Lądowa i Transport, Architektura i Urbanistyka Politechniki Łódzkiej o powołaniu recenzenta ww. rozprawy doktorskiej, przekazaną w piśmie Przewodniczącego Rady z dnia 14.06.2021 r.

1. Ogólna charakterystyka pracy

Praca została opracowana pod kierunkiem promotora głównego prof. dr hab. inż. Dariusza Gawina oraz promotora pomocniczego dr inż. Konrada Witczaka, na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej. Praca doktorska mgr inż. Marcina Zygmunta została napisana w języku angielskim. Niezwykle obszerna praca zawiera w sumie 293 strony, w tym 260 stron w części głównej oraz 33 strony załączników. Spis literatury, podzielony na części odpowiadające rodzajowi źródeł, zawiera aż 427 pozycji. Łączna liczba rysunków wynosi 142, tabel 61.

Merytoryczne rozdziały pracy poprzedzają:

- liczące 4 strony, streszczenie w języku angielskim, a następnie 5-stronicowe w języku polskim,
- 3-stronicowy spis treści,
- 2-stronicowy spis tablic,
- 6-stronicowy spis rysunków,
- 7-stronicowy spis oznaczeń oraz używanych skrótów.

Na merytoryczną część pracy składa się siedem rozdziałów oraz osiem załączników (tytuły rozdziałów podano w tłumaczeniu recenzenta) :

Rozdz. 1. Wprowadzenie (8 stron).

Rozdz. 2. Tło teoretyczne pracy (76 stron).

Rozdz. 3. Opis analiz i założeń (66 stron).

Rozdz. 4. Zespoły budynków analizowane przy użyciu programu TEAC (30 stron)

Rozdz. 5. Zastosowanie programu TEAC do analiz wybranych elastycznych pod względem energetycznym zespołów mieszkaniowych – studium przypadków (22 strony).

Rozdz. 6. Podsumowanie i wnioski (4 strony)

Rozdz. 7. Planowane badania (4 strony)

Bibliografia ułożona alfabetycznie (20 stron)

Załączniki 1 do 8 (33 strony).

Głównym celem pracy, który Autor definiuje w rozdziale 1.2 na stronie 36, jest utworzenie wiarygodnego i użytecznego narzędzia do modelowania energetycznego i wielokryterialnej oceny dużych zespołów budynków jednorodzinnych w stanie istniejącym oraz po zabiegach termomodernizacyjnych. Przedmiotem analiz mają być nie tylko same budynki, ale także możliwości kształtowania ich elastycznego oddziaływania na sieci energetyczne. Kryteria oceny zespołów budynków przed i po wprowadzonych zmianach dotyczą ich zapotrzebowania na energię, oddziaływania na środowisko naturalne w aspekcie zrównoważonego rozwoju oraz efektów ekonomicznych proponowanych zmian. Realizacja tak zarysowanego celu jest oparta na postawieniu i udowodnieniu trzech tez pracy zawartych w tym samym rozdziale.

Opiniowana praca ma charakter teoretyczny. W jej ramach utworzono autorski program symulacyjny TEAC umożliwiający wprowadzenie informacji o lokalizacji wszystkich budynków tworzących zespół, o ich właściwościach geometrycznych i technicznych. Na tej podstawie tych danych realizowana jest wieloaspektowa analiza całego zespołu w stanie wyjściowym oraz po wprowadzeniu szeregu proponowanych modyfikacji. Program pod względem energetycznym bazuje na wynikach uzyskiwanych ze sztucznej sieci neuronowej. Sieć po procesie uczenia pozwala na skuteczne prognozowanie zużycia energii w wielu wariantach rozwiązań

technicznych analizowanych budynków tworzących zespół. Możliwości programu, sposób jego wykorzystania oraz uzyskiwane rezultaty zilustrowano bardzo obszernie i szczegółowo na przykładach małych i dużych zespołów budynków.

2. Ocena merytoryczna pracy

2.1. Ocena doboru tematu i tytułu pracy

Projektowanie i wznoszenie w naszym kraju w najbliższej przyszłości budynków energooszczędnych, a w tym budynków pasywnych, niemal-zero-energetycznych czy zero-energetycznych to konieczność wynikająca ze względów środowiskowych, energetycznych, ekonomicznych, a także formalnych. Ogromne znaczenie ma jednak analiza substancji istniejącej oraz daleko idąca modernizacja budynków i towarzyszącej im infrastruktury. Potrzebna jest do tego specjalistyczna wiedza polskich projektantów i wykonawców, a także algorytmy projektowe i odpowiednie narzędzia projektowe. Algorytmy i narzędzia powinny być możliwie proste w codziennym użytkowaniu, ale muszą one jednocześnie uwzględniać w sposób możliwie precyzyjny fizykę specyficznych zjawisk zachodzących w budynkach o niskim lub bardzo niskim zapotrzebowaniu na ogrzewanie, interakcje z sieciami energetycznymi a także wszystkie skutki podejmowanych decyzji projektowych. O ile umiemy i mamy narzędzia do dość precyzyjnej oceny pojedynczych budynków to analizy prowadzone w większej skali nie są obecnie możliwe. W tym kontekście, tematyka poruszana w rozprawie doktorskiej mgr inż. Marcina Zygmunta~~a~~ oraz postawiony cel jest bardzo aktualny i ważny dla polskich decydentów, zarządców, projektantów i użytkowników budynków. Utworzenie efektywnego i wygodnego narzędzia do analiz dużych zespołów budynków może dać nowe możliwości planowania i projektowania w dużej skali. Wyniki pracy będą jednak przydatne w praktyce budowlanej tylko wtedy, jeśli Autorowi uda się na podstawie już uzyskanych doświadczeń przygotować narzędzie możliwe do stosowania przez słabo przygotowanych użytkowników. Takie działania Autor zapowiada w ostatnim rozdziale swojej pracy.

Aktualny tytuł pracy wskazuje na „modelowanie” jako główny przedmiot dysertacji. Natomiast wg deklaracji Autora głównym celem pracy jest nie tyle ogólnie pojęte modelowanie, co raczej utworzenie odpowiedniego narzędzia do modelowania i wielokryterialnej analizy dużych zespołów budynków oraz pokazanie jego

przydatności. Nie jest jasne po co w tytule zostały wprowadzone słowa „some” i „flexible”. Zakres stosowania modelu nie jest bowiem ograniczony ani do „wybranych” czy „niektórych”, ani też tylko do „elastycznych energetycznie” zespołów budynków. Owszem, stworzony model może i nawet powinien być użyty w dążeniach do projektowania czy analizowania elastycznych energetycznie zespołów.

W chwili obecnej program TEAC umożliwia przybliżone analizy tylko zespołów budynków jednorodzinnych. Wynika to m.in. z przyjętego sposobu wprowadzania informacji geometrycznych budynków i przyjętych siedmiu typów budynków standardowych oraz statystycznego ich rozkładu w całej populacji. Tak więc precyzyjny tytuł pracy doktorskiej powinien zawierać to istotne ograniczenie, zgodnie z brzmieniem tezy nr 2 w wersji polskiej (strona 7).

2.2. Tezy pracy

W pracy sformułowano 3 podstawowe tezy.

Teza nr 1 dotyczy możliwości wykorzystania zaawansowanych symulacji energetycznych (w tym przypadku programu Energy Plus) w celu prognozowania profili energetycznych pojedynczych budynków i całych obszarów zabudowanych. Ta teza jest po pierwsze zbędna, a po drugie nie została w pracy udowodniona. We wnioskach Autor stwierdza, że przydatność użytego w pracy programu Energy Plus została wielokrotnie potwierdzona (w domyśle: przez innych), a w samej pracy walidacja wyników dla pojedynczych obiektów polega na porównaniu ich z wynikami podanymi przez NAPE. Nie widać także potrzeby dokonywania kolejnej oceny przydatności światowego programu. Tworzony w pracy profil energetyczny zespołu mieszkaniowego jest statystycznie przybliżoną sumą informacji o pojedynczych obiektach, uzyskiwanych z programu Energy Plus i tym samym żadna nowa jakość energetyczna nie jest tu także uzyskiwana. Autor dopiero planuje walidację wyników uzyskiwanych z programu dla zespołów budynków (rozdział 7) i jednocześnie sam stwierdza, że taka walidacja w przypadku budynków jednorodzinnych jest „prawie niemożliwa”. Tak więc, ta część zbytecznej tezy również nie została, moim zdaniem, udowodniona.

W tezie nr 2 Autor sugeruje, że koncepcja Klastra Energii jest właściwym i obiecującym podejściem, które pozwala poprawić gospodarowanie energią,

umożliwić docelowo niezależność energetyczną zespołu budynków, a także ich zrównoważony rozwój. Ta teza ma duże potencjalnie znaczenie nie tylko dla sukcesu pracy, ale i dla praktyki projektowej w tym zakresie. Pokazane w pracy przykłady wykorzystania tej koncepcji do modelowania i analizowania właściwości dużych zespołów budynków potwierdzają sens i prawdziwość tej tezy, jako nowoczesnego podejścia analitycznego.

Teza nr 3 dotyczy możliwości utworzenia narzędzia obliczeniowego, które na bazie informacji o budynkach i klimacie umożliwi analizy energetyczne, ekonomiczne i środowiskowe polskich zespołów mieszkaniowych. Dominująca część pracy jest poświęcona tym zagadnieniom i pokazuje, że program TEAC takie możliwości posiada. Na tej podstawie można stwierdzić, że ta teza jest także skutecznie potwierdzona.

W tezach 2 i 3 pojawiają się jednak zbyt szerokie sformułowania dotyczące rodzaju budynków. W pracy zajmowano się jedynie budynkami jednorodzinnymi, sformułowania w tezach dotyczą ogółu budynków. W polskim streszczeniu pracy Autor podał dość swobodne tłumaczenie i opis tej pracy, który nie jest w szczegółach zgodny z tezami podanymi w rozdziale 1.2, m.in. właśnie w odniesieniu do rodzaju budynków.

2.3. Ogólna ocena wartości naukowej pracy

We wprowadzeniu, rozdział nr 1, Autor przedstawił problematykę znacznej konsumpcji energii w sektorze budowlanym, sformułował stawiany sobie cel oraz przedstawił główne tezy pracy. Cel pracy, rozumiany z pewnym zawężeniem w stosunku do wersji autorskiej, jako narzędzie do modelowania energetycznego i oceny wielokryterialnej zabudowy jednorodzinnej, został określony prawidłowo i bezspornie został przez Autora osiągnięty. Uwagi dotyczące też zamieszczono powyżej.

Rozdział nr 2 zawiera wstęp teoretyczny dotyczący przeglądu metod modelowania energetycznego miejskich zespołów budynków mieszkalnych. W tym rozdziale dokonano przeglądu literatury nt. modelowania, omówiono także stan polskiego systemu elektroenergetycznego. Istotnym elementem dla dalszej części pracy jest przywołana w tym rozdziale typologia, charakterystyka energetyczna oraz struktura wiekowa polskiego budownictwa. Znaczną część tego rozdziału stanowią dość

oczywiste opisy strategii poprawy efektywności energetycznej budynków oraz perspektywy modyfikacji zespołów mieszkaniowych zgodnie z ideą zrównoważonego rozwoju. Natomiast kolejną, ważną dla meritum pracy częścią tego rozdziału jest opis nowoczesnej koncepcji *klastra energetycznego* (zespołu budynków). W następnym podrozdziale Autor obszernie opisał istniejący od 20 lat i świetnie znany w świecie program symulacyjny Energy Plus. Rozdział 2 zamykają encyklopedyczne informacje nt. zastosowania w budownictwie sztucznych sieci neuronowych.

Trudno zrozumieć dlaczego Autor zdecydował się zmieścić te wszystkie tak zróżnicowane treści w jednym rozdziale. Nie były konieczne próby opisywania wszystkich znanych zabiegów termomodernizacyjnych (włącznie z np. klasyfikacją materiałów termoizolacyjnych), programu Energy Plus czy ogólnej idei sieci neuronowych. Zamieszczone opisy musiały być siłą rzeczy dość ogólne, nie poszerzają więc w znaczący sposób wiedzy, ale skutecznie mnożą wątki rozbijając spójność tematyczną tego rozdziału.

W najważniejszym pod względem merytorycznym i również bardzo bogatym pod względem treściowym rozdziale nr 3 zawarto główne zasady modelowania zespołów budynków jednorodzinnych. W pierwszej części tego rozdziału opisano proponowaną przez Autora ogólną procedurę energetycznego modelowania klastrów. Jak już wspomniano wcześniej, wykorzystując dostępne badania polskiej substancji mieszkaniowej w pracy przyjęto, że wszystkie krajowe budynki jednorodzinne mogą być reprezentowane przez siedem geometrycznych archetypów budynków referencyjnych. Ocena energetyczna tych budynków jest oparta na wynikach pozyskiwanych ze sztucznej sieci neuronowej, wstępnie trenowanej danymi uzyskanymi z symulacji komputerowej budynków w programie Energy Plus (poprzez interfejs Design Builder). W podrozdziale 3.2, przedstawiono główne założenia przyjęte przy konstruowaniu autorskiego programu TEAC, a w 3.3 wykorzystywane dane klimatyczne. W podrozdziale 3.4 zawarto opis szczegółowych założeń przyjętych przy modelowaniu polskich jednorodzinnych budynków referencyjnych. W części 3.5 pokazano i obszernie przedyskutowano możliwe zabiegi termomodernizacyjne i ich kombinacje dla poszczególnych grup. A następnie przedstawiono procedurę trenowania sztucznej sieci neuronowej. Obliczenia energetyczne były prowadzone dla 3 wariantów kroków czasowych i 13 innych zmiennych parametrów opisujących klimat, ułożenie budynku w przestrzeni i otoczeniu oraz jego właściwości geometryczne i termiczne. Zebrane w ten sposób

informacje, przyjęte założenia i wyniki z sieci posłużyły Autorowi do opracowania modułów i submodułów stanowiących program TEAC i opisanych w podrozdziale 3.7. Wyniki analiz energetycznych uzyskiwane z programu TEAC przy użyciu trenowanej wcześniej sieci neuronowej walidowano poprzez porównanie z wynikami obliczeń w programie symulacyjnego Energy Plus, uzyskując zadowalającą zgodność. Wstępne przykłady wykorzystania programu TEAC do praktycznej analizy dwóch małych zespołów budynków jednorodzinnych zawarto w podrozdziale 3.8.

Należy stwierdzić, że przyjęty przez Autora zakres i sposób modelowania zabudowy mieszkalnej jest bardzo szeroki i wieloaspektowy. Można odnieść wrażenie, że Autor tworząc swój model nie chciał zrezygnować z żadnej spotykanej w naturze opcji. Jednocześnie jednak, przyjęte rozwiązanie dotyczące budynków referencyjnych, racjonalnie ogranicza ilość informacji wejściowych. Takie podejście do postawionego problemu wskazuje na dojrzałość naukową Autora oraz na ogromną pracę, jaka była konieczna do realizacji stawianych sobie zadań. Stworzenie modelu zabudowy w takiej skali wymagało nieuchronnie przyjęcia szeregu arbitralnych założeń. Każde z nich mogłoby być przedmiotem odrębnej dyskusji i dalej idących oczekiwań, ale jednocześnie kolejne dodawane opcje prowadziłyby do wydłużenia pracy nad przygotowaniem danych wejściowych do modelu czy też zwiększenia wymagań obliczeniowych. Postawienie granicy należy więc oceniać jako racjonalną i uzasadnioną decyzję. W tej chwili ważniejsza jest raczej lepsza przystępność programu TEAC niż większa dokładność poszczególnych obliczeń. Analizując możliwości obliczeniowe programu należy zdaniem recenzenta zwrócić szczególną uwagę na:

- ambitny algorytm wykorzystania źródeł energii odnawialnej, w tym paneli PV wraz z modelem promieniowania i energii wiatru poza lądem,
- sposób szczegółowego modelowania zacienienia,
- ogromną ilość analizowanych wariantów modernizacyjnych,
- możliwe analizy ekonomiczne i środowiskowe poszczególnych wariantów.

W pełni aprobuje zawartość treściową rozdziału, można jednak mieć wątpliwości dotyczące jego kompozycji logicznej. To wrażenie Autor sam potwierdza w streszczeniu pracy, prezentując w nim najpierw podrozdziały od 3.6 do 3.8, a dopiero później od 3.2 do 3.5.

W rozdziale nr 4 przedstawiono wyniki modelowania bardzo dużych zespołów mieszkaniowych, pokazując obliczeniowe możliwości programu oraz formy

prezentowania wyników. W pierwszym przypadku, dla zespołu liczącego 2500 budynków, pokazano możliwości modyfikacji budynków i sterowania zapotrzebowaniem szczytowym całego klastra. Przykład ilustruje ważną cechę programu, jaką jest modelowanie interakcji zespołu budynków i sieci elektroenergetycznej. Drugi przykład także dotyczy zespołu 2500 budynków, ale analizy w tym przypadku są związane z ekonomicznymi i środowiskowymi aspektami termomodernizacji analizowanych obiektów w różnych lokalizacjach oraz wykorzystania odnawialnych źródeł energii. W przykładzie trzecim analizowano zespół złożony z 2189 budynków w różnych wariantach ułożenia geometrycznego wzdłuż siatek ulic, pokazując znaczenie lokalnego klimatu oraz możliwości związane z graficznym prezentowaniem wyników dla dużej ilości danych. W ostatnim przykładzie analizie poddano bardzo duży i nieregularny geometrycznie obszar (4000 działek), ale tylko częściowo (1999) zabudowanych, co często odpowiada warunkom naturalnym. Potwierdzono w ten sposób możliwość odwzorowania w programie rzeczywistych zespołów mieszkaniowych o różnorodnej strukturze.

W rozdziale nr 5 zawarto dwa obszerne studia przypadku. Tym razem modelowano jako klastry energii dwa rzeczywiste osiedla mieszkaniowe zlokalizowane w Łodzi. Rozpatrywano możliwości daleko idącej ich transformacji energetycznej, włącznie z zastosowaniem odnawialnych źródeł, przyszłościowych rozwiązań w formie lokalnych i centralnego magazynu energii elektrycznej, a także inteligentnego sterowania i rozliczania zużycia energii wg różnych wariantów taryf.

Podsumowując rozdział 5 należy stwierdzić, że przygotowany program TEAC daje duże możliwości analityczne nie tylko właścicielom czy zarządcom budynków, ale także lokalnym decydentom, firmom energetycznym i planistom. Pokazane efekty modernizacji całych zespołów mieszkaniowych będą bardzo istotne i użyteczne przy aktualnych dążeniach do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i zrównoważonego rozwoju.

W rozdziale nr 6 dokonano podsumowania pracy, odnosząc się do słuszności postawionych tez. Uwagi dotyczące tego aspektu dysertacji zawarto w części 2.2 tej recenzji.

Rozdział nr 7 poświęcono opisowi planowanych prac, związanych głównie z dalszym rozwojem programu TEAC. Modyfikacje mają posłużyć głównie do przygotowania wersji programu przyjaznej dla użytkownika, co umożliwi szersze wykorzystanie programu w praktyce. Autor myśli także o geometrycznej i

energetycznej walidacji programu w skali całego zespołu budynków. W tym drugim aspekcie dostrzega jednocześnie poważne trudności ze zdobyciem wiarygodnych i kompletnych informacji na ten temat.

W załączonych do pracy ośmiu załącznikach zawarto szczegółowe informacje dotyczące: analizowanych typów budynków jednorodzinnych, założeń i modeli przyjętych przy ich modelowaniu numerycznym oraz schematów zacienienia przez budynki sąsiednie. Podano także dodatkowe informacje o opisanych w pracy przykładach, a także kod, utworzony w środowisku Matlab, sztucznej sieci neuronowej, używanej do prognozowania zapotrzebowania budynków na energię. O ile dodatkowe informacje o wynikach modelowania mogą być dla zainteresowanego czytelnika przydatne, to sposób kodowania poszczególnych informacji w modułach programu takiego waloru nie ma. Przyszły użytkownik programu będzie raczej oczekiwał zupełnie innej formy wprowadzania danych.

3. Uwagi krytyczne

3.1. Ogólne uwagi merytoryczne

Oprócz uwag zawartych w ogólnej ocenie pracy, przy jej czytaniu nasuwają się następujące uwagi merytoryczne:

Istotne pytanie jakie dotyczy efektów modelowania dużych zespołów budynków dotyczy wyraźnego wskazania nowych treści uzyskiwanych dzięki takiemu podejściu. Ta wątpliwość pojawia się szczególnie wyraźnie wtedy, gdy obiektem symulacji są zespoły budynków złożone z archetypów budynków jednorodzinnych i w proporcjach odpowiadających rozkładowi statystycznemu. Losowa orientacja czy wzajemne zacienienie nie jest chyba w tym przypadku krytycznym argumentem stosowania dużej skali modelowania.

Na przykład, wyniki analizy opłacalności modyfikacji poszczególnych rodzajów budynków pokazane na str. 186, nie wynikają z analizowania całego zespołu, nie widać tu dodanej wartości z przyjętego podejścia. Równie dobrze (lub nawet lepiej, bardziej szczegółowo) można by wykonać symulacje wybranych kilku rodzajów budynków oddzielnie i sformułować na tej podstawie zalecenia modernizacyjne.

Inny przykład dotyczy wniosków pokazanych na stronie 200. Ogólne wnioski formułowane tu przez Autora są oczywiste bez analiz. Natomiast do uzyskania

wartości liczbowych chyba nie trzeba było symulacji dużych zespołów budynków, wystarczyłoby tylko mnożenie i dodawanie pojedynczych wyników.

Ważne jest więc wyraźne wskazanie tych szczególnych korzyści, jakie wynikają z wielkiej skali modelowania zabudowy całych obszarów urbanistycznych.

3.2. Uwagi i pytania szczegółowe

1. Strona 64: W całym tekście WT nie ma mowy o wskaźniku EK i jego wymaganej wartości.
2. Strona 81: trudno podzielać entuzjazm Autora w stosunku do spalanej biomasy, nazywanej jako najbardziej „obiecujące” źródło energii odnawialnej.
3. Strona 90: Wielkości R_d i O_u we wzorze 2.3 nie są wyjaśnione.
4. Strona 115: Format pliku „*.idf” w Energy Plus oznacza Input Data File.
5. Strona 125: Brak objaśnień do wzoru 2.6.
6. Strona 130: Skrót DH nie został objaśniony i może być mylony z często używanym District Heating.
7. Strona 132: Jak Autor wyobraża sobie termomodernizację podłogi na gruncie lub uzyskanie szczelności po renowacji na poziomie wymaganym dla budynku pasywnego ?
8. Strona 135: Czy infiltracja powietrza jest zawarta w parametrze n_{tot} ?
9. Strona 156: Czy zacinienie jest także uwzględniane w przypadku obliczania zysków słonecznych przez okna ?
10. Strona 162: W opisie wprowadzanych informacji dotyczących turbin wiatrowych nie zauważyłem kosztu turbiny, choć jestem pewien, że Autor go nie pomija. Ten aspekt, zwłaszcza w przypadku dużych turbin, sprawia, że rozważania energetyczne mają tu głównie teoretyczny charakter.
11. Strona 192: W podrozdziale 4.2 brak informacji ekonomicznych o turbinach wiatrowych, skąd więc wnioski o krótkim czasie zwrotu ?
12. Strona 220: Przywołana tablica 5.1 dotyczy przedziałów wiekowych budynków a nie ich umieszczenia (placement) ?
13. Strona 229: Stwierdzenie o opłacalności modernizacji nie zostało wcześniej w tekście tej części udowodnione.

3.3 Niektóre z usterek stylistycznych i redakcyjnych:

Bardzo obszerna praca została napisana w języku angielskim, co jest dużym, dodatkowym osiągnięciem i oczywiście wysiłkiem Autora i Opiekunów pracy. Recenzent nie rości sobie prawa do oceny jakości użytego języka, zauważając bogate słownictwo i swobodę pisania. Niemniej jednak można napotkać także w pracy drobne błędy gramatyczne oraz literówki. Sugeruję więc, aby przed publikacją całości lub części pracy dokonać jej weryfikacji językowej.

Często spotykany w pracy i nieco irytujący przy kolejnych powtórzeniach błąd logiczno-stylistyczny nie jest jednak związany z językiem i dotyczy zamiennego stosowania pojęcia „zespół budynków czy ew. zabudowa” i „teren lub obszar mieszkaniowy”. W języku potocznym mówi się oczywiście o np. niezależnych energetycznie obszarach, przypisując obszarowi właściwości energetyczne, ale te właściwości mają tylko budynki zlokalizowane na tym obszarze a nie sam teren. Takie sformułowanie występuje niestety w tezach pracy, w definicji celu pracy i wielu innych miejscach. Na stronie nr 7 Autor tłumaczy niedokładnie pojęcie *Urban Building Energy Modelling* jako modelowanie energetyczne mieszkalnych obszarów miejskich, a nie budynków, na stronie 36 pisze o konsumpcji energii przez obszar miejski i o analizie wielokryterialnej takiego obszaru, itd.

Przykłady innych usterek językowych lub literówek:

Str. 31: The amount... are outcomes...

Str. 40: Buildings can consist of up to 75 % of total energy...

Str. 46: ...are those with are...

Str. 56: W tablicy 2.2: „Amount” zamiast „Number”.

Str.68: Those type... (2 razy na tej stronie i wiele razy na innych)

Str. 69: ...retrofitting... are now seen...

Str. 81: ...allows to received sufficient profits...

Str. 98: Dziwna kolejność układu i przywołania rysunków 2.40 i 2.42.

Str. 101: Czortynski Cluster.

Str. 108: ...capable to analysed...

...programmes using simplifications, which significantly affecting...

Str. 115: ...a group were selected..., ...they are obligate in order to...

Str. 165: Emissions occur from electricity...

Str. 177 i 217: ...compering...

Str. 178: ...the fastest pay-back time...

Str. 213: ...it is obligated to add...

Str. 220: spore zamieszczenie w tekście nad rys. 5.5

Str. 235: ...is might be used...

3.4 Strona graficzna pracy:

Bardzo obszerna praca jest zrealizowana z wielką starannością jeśli chodzi o układ edycyjny i graficzny. Łatwo sobie wyobrazić, jak wiele pracy wymagało to od Autora. Tym bardziej więc szkoda, że niektóre rysunki mają marną jakość, a opisy na nich są prawie nieczytelne, np. 2.23, 2.44, .

4. Wnioski końcowe

Niezależnie od przedstawionych powyżej uwag krytycznych natury ogólnej i tych bardziej szczegółowych, należy stwierdzić, że opiniowana praca stanowi z pewnością oryginalną i samodzielną próbę rozwiązania bardzo złożonego problemu. Autor przeprowadził bardzo obszerne studia oraz analizy teoretyczne. Wykazał się znajomością i umiejętnością wykorzystania dostępnej wiedzy, samodzielnego planowania i prowadzenia prac, wykorzystania nowoczesnych narzędzi badawczych i naukowego wykorzystania ich wyników oraz programowania. Wg mojej opinii rozprawa jest oryginalna, opracowana na bardzo dobrym poziomie naukowym i wnosi wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie Inżynieria Lądowa i Transport.

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej opinię, uważam, że przedłożona przez mgr inż. Marcina Zygmunta rozprawa doktorska pt. „*Urban-scale energy modelling of some residential energy flexible buildings clusters in Poland*” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 (wraz z późniejszymi zmianami) roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach naukowych i tytule naukowym w zakresie sztuki (Dz. U. RP, nr 65, poz. 595). W związku z tym stawiam wniosek kierowany do Rady ds. Stopni Naukowych w dyscyplinach Inżynieria Lądowa i Transport, Architektura i Urbanistyka Politechniki Łódzkiej o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony, a także wnioskuję o jej wyróżnienie.