

MODELOWANIE OBCIĄŻEŃ CIEPLNYCH BUDYNKU Z UWZGLĘDNIENIEM FUNKCJONOWANIA SYSTEMÓW HVAC - STUDIUM PRZYPADKU

BARTKIEWICZ Piotr ¹
HEIM Dariusz ²

¹ *Instytut Ogrzewnictwa i Wentylacji, Politechnika Warszawska*

² *Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych, Politechnika Łódzka*

MODELLING OF THE HEAT LOADS FOR BUILDING WITH HVAC SYSTEM – CASE STUDIES

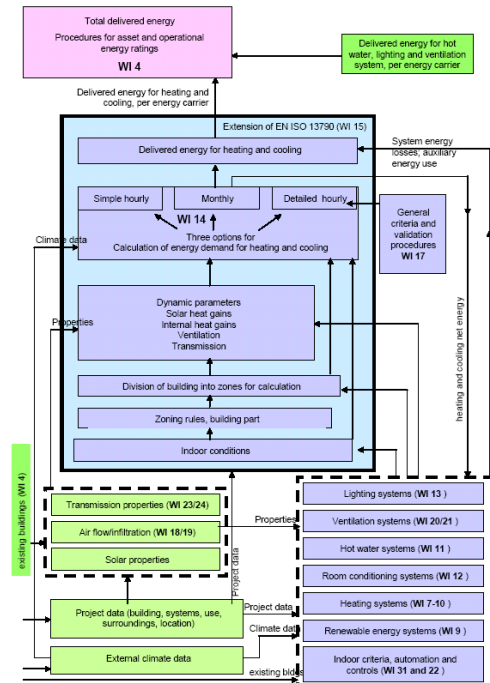
The modelling of heating and cooling loads is a subject of the paper. Authors present theoretical background of building envelope simulation and HVAC systems modelling. Paper present the research results of the complex ventilation, air conditioning and heating system analyses in the office building. The presented case study was first step of the common project realized by Łódź University of Technology and Warsaw University of Technology.

STRESZCZENIE

W niniejszym referacie przedstawiono wstępne wyniki prac badawczych poświęconych modelowaniu obciążeń cieplnych budynku z uwzględnieniem funkcjonowania systemów wentylacji, klimatyzacji i ogrzewania. Przedstawiono tło prowadzonych badań, omówiono podjęte studium przypadku oraz przedstawiono wyniki wstępnych symulacji obciążeń cieplnych dla omawianego budynku. Na podstawie przeprowadzonych prac przedstawiono plany dotyczące następnych kroków badawczych w omawianym zakresie.

1. WPROWADZENIE

Wzrost zainteresowania zagadnieniami oszczędności energii w budynkach i jej racjonalnemu zużyciu spowodował, iż współczesny projektant poszukuje narzędzi wspomagających oszacowania energetyczne. Wykorzystywane do tej pory w praktyce projektowej aplikacje pozwalały bowiem na precyzyjny dobór i zwymiarowanie elementów budynku oraz systemów wentylacji, klimatyzacji i ogrzewania pozostawiając obliczenia energetyczne w obszarze analiz przeprowadzanych przez audytorów. Niniejsze podejście zwalniało bowiem projektanta z merytorycznego – energetycznego uzasadnienia wybranych rozwiązań systemowych jeśli tylko były one zgodne z obowiązującymi przepisami i praktyką projektową. Obecnie jednak wszystkie strony procesu inwestycyjnego, oczekując na nadchodzące zmiany związane z wdrożeniem nowej Dyrektywy w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [1], starają się położyć większy nacisk na oszacowanie zużycia energii przez budynek wraz z zainstalowanymi systemami już na etapie projektowania – Rys. 1.



Rys. 1 – Zakres analiz energetycznych projektowanego budynku [2]
 Pic. 1 – Building design stage - range of the energy analysis [2]

Z drugiej strony rośnie także zakres wymagań dotyczących komfortu użytkowników w pomieszczeniach. Zmiana ta, będąca fundamentalnym przeniesieniem akcentu z zapewnienia właściwych parametrów powietrza w pomieszczeniu na oczekiwany komfort użytkowników spowodowała, iż wybór systemu wentylacji i klimatyzacji staje się coraz bardziej złożony. Projektant bowiem powinien brać pod uwagę szereg czynników opisujących komfort użytkownika w pomieszczeniu, w tym takie wielkości jak: temperaturę powietrza w pomieszczeniu, dokładność utrzymania temperatury powietrza w pomieszczeniu, gradient pionowy temperatury, temperaturę przegród otaczających pomieszczenie (ściany, okna, podłoga, sufit), temperaturę odczuwalną, asymetrię pola temperatury w pomieszczeniu, wilgotność powietrza w pomieszczeniu, dokładność utrzymania wilgotności powietrza w pomieszczeniu, średnią prędkość powietrza w strefie przebywania ludzi oraz poza nią, maksymalną prędkość powietrza w strefie przebywania ludzi oraz poza nią, strumień powietrza świeżego dostarczanego do pomieszczenia ze względów higienicznych, emisję CO₂ w pomieszczeniu, stężenie CO₂ w pomieszczeniu, emisję zanieczyszczeń w pomieszczeniu, stężenie zanieczyszczeń w pomieszczeniu, współczynnik ryzyka przeciągu (DR), wskaźnik komfortu PMV czy poziom hałasu. [3]

Zapewnienie tak szeroko pojmowanego komfortu użytkownikowi pomieszczeń wiązać się musi zatem z także ze zmianą analizy systemowej systemów HVAC w budynkach, która winna uwzględniać większy zakres czynników, do których zaliczyć możemy konieczność określenia: temperatury, wilgotności, prędkości, rozdziału, czystości i jakości powietrza w

pomieszczeniu, ilości świeżego powietrza ze względów higienicznych, rodzaju czynnika pośredniczącego będącego nośnikiem energii cieplnej i chłodniczej (systemy freonowe, wodne, powietrzne), klimatu i lokalnych warunków pogodowych, średniej temperatury promieniowania, wymagań związanych z układem ciśnienia w budynku (układ zbilansowany, nadciśnienie lub podciśnienie w pomieszczeniu), obciążeń cieplnych (wymagane chłodzenie lub ogrzewanie wynikające z analizy obciążeń cieplnych pomieszczenia), nadmiarowości rozumianej jako ewentualność dublowania układów lub elementów ze względu na konieczność zapewnienia warunków w przypadku awarii systemu, wykorzystywanej przez system przestrzeni budynku, możliwości zastosowania elementów systemu w kontekście wymagań architektonicznych dla pomieszczenia, kosztów inwestycyjnych, kosztów eksploatacyjnych, kosztów związanych z utrzymaniem systemu i jego konserwacją, zużycia energii na potrzeby funkcjonowania systemu, niezawodności systemu, elastyczności systemu, automatycznej regulacji i sterowania systemem, analizy systemu w pełnym cyklu życia (LCC), warunków akustycznych i występowania wibracji. [3], [4]

2. WSPÓŁPRACA BADAWCZA

Tak wysoko postawione oczekiwania dotyczące z jednej strony podwyższonego poziomu komfortu osób w pomieszczeniach, które mają bezpośredni wpływ na rodzaj systemu HVAC, z drugiej zaś racjonalnego wykorzystania energii w budynku zainspirował autorów do podjęcia długofalowej współpracy międzyuczelnianej w ramach której możliwym stałoby się poszukiwanie rozwiązań funkcjonalnych zapewniających spełnienie postawionych oczekiwań. W ramach niniejszej współpracy pomiędzy Politechniką Łódzką i Politechniką Warszawską dokonano szeregu symulacji uwzględniających zarówno zjawiska związane w fizyką budowli, w tym szczególnie z modelowaniem zjawisk termicznych związanych z obudową budynku jak i funkcjonowaniem systemów HVAC.

W ramach przedstawionej współpracy dokonano analizy obecnego stanu wykorzystania narzędzi symulacyjnych oraz przeanalizowano istniejące bariery i ograniczenia w ich szerszej aplikacji. Jednym z wniosków postawionych na tym etapie badań było spostrzeżenie, iż w praktycznym postrzeganiu analiz energetycznych nie zaistniał nadal żaden program komputerowy pozwalający na kompleksowe ujęcie budynku wraz z systemami wewnętrznymi. Mimo planów stworzenia lub lokalizacji istniejącego oprogramowania projektanci nadal nie posiadają wystarczającej wiedzy lub znajomości aplikacji, które pozwoliłyby na pełną analizę energetyczną. U tych zaś, którzy zechcą sięgnąć po istniejące oprogramowanie może pojawić się wątpliwość co do wiarygodności otrzymanych rezultatów. Być może jednak sięgną oni po dostępne programy nie wnikając w podstawy merytoryczne i założenia na jakich powstały. Może nie zadadzą sobie trudu w analizowanie dla jakich danych meteorologicznych przeprowadzane są symulacje wierząc, iż to na producencie oprogramowania spoczywa konieczność jego weryfikacji i walidacji.

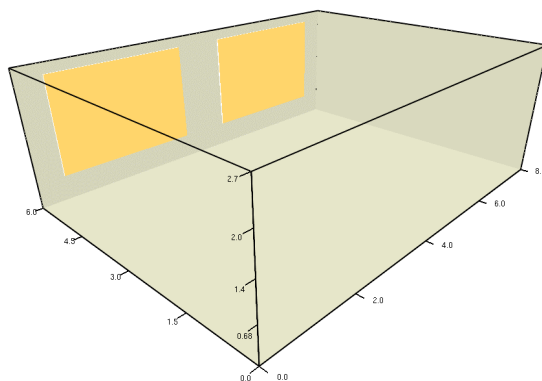
Postanowiono zatem przeprowadzić analizę takiego postępowania, przy założeniu elementarnej wiedzy dotyczącej poprawności konstrukcyjno - materiałowej i systemowej projektowanego budynku.

3. STUDIUM PRZYPADKU

Jako model analizy wybrano przypadek pomieszczenia znajdującego się w budynku biurowym. Narzędziami do przeprowadzenia niniejszej analizy były dwa programy symulacyjne reprezentujące grupy aplikacji inżynierskich (**Program A**) i zaawansowanych programów symulacyjnych (**Program B**).

Celem niniejszej analizy było poszukiwanie odpowiedzi na pytanie – jak duże różnice w wynikach symulacji całorocznego zużycia energii będą generowane przy wykorzystaniu różnych programów symulacyjnych. Pośrednim celem było także sprawdzenie jakie dane, i jaki poziom dokładności danych jest niezbędny do przeprowadzenia analizy za pomocą wspomnianych aplikacji. Dodatkowo zwracano uwagę za sposób wprowadzania danych oraz prezentacji wyników, a także na uwarunkowania czasowe, sprzętowe i finansowe przeprowadzanych analiz.

Wybór omawianego obiektu analiz był nieprzypadkowy – projekt ten stanowi element międzynarodowego projektu badawczego EnergyPlus Testing with ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 (BESTTEST) wykonywanego na Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory dla U.S. Department of Energy. [5]. Projekt ten oznaczono symbolem Case 600 – Base Case Low Mass Building. W przeprowadzonych analizach dokonano nieznacznych korekt współczynników przenikania ciepła dla przegród – dopasowując je do warunków i wymagań obowiązujących w Polsce.



Rys. 2 – Przedmiot analizy
Pic. 2 – Subject of the analysis

Podstawowe dane analizowanego pomieszczenia – Rys. 2:

- Wymiary – 8 x 6 x 2,7 m
- Powierzchnia 48 m²
- Kubatura 129,6 m³
- Ściana zewnętrzna – ekspozycja południowa – 21,6 m²
- 2 okna – 12 m²

- Ściany wewnętrzne – 54 m²
- Wewnętrzne zyski ciepła (szczyt uwzględniający zmienność zysków w czasie) – 960 W

Symulacje przeprowadzone zostały dla 3 przypadków uwzględniających:

- **Test 1** – budynek bez systemu HVAC i bez wewnętrznych zysków ciepła (poziom porównawczy)
- **Test 2** – budynek z systemem wentylacji, ogrzewania i chłodzenia bez uwzględnienia wewnętrznych zysków ciepła
- **Test 3** – budynek z systemem wentylacji, ogrzewania i chłodzenia z uwzględnieniem obciążenia cieplnego charakterystycznego dla współczesnych pomieszczeń biurowych.

System HVAC został zwymiarowany i dobrany tak, aby zapewnić parametry powietrza w pomieszczeniu:

- dla zimy: +20°C ± 1K
- dla lata: +24°C ± 1K

Dane pogodowe wykorzystane w symulacji pochodziły bezpośrednio z programu (**Program A**). W przypadku Programu B do analizy wykorzystano dane pogodowe dla 2 różnych lat – w tym dla roku referencyjnego (**Rok 1 i Rok 2**).

4. OPIS SYMULACJI – PROGRAM A

Program A jest aplikacją umożliwiającą dokonanie obliczeń obciążeń cieplnych pomieszczeń, zaprojektowania i zwymiarowania systemu wentylacji, klimatyzacji i ogrzewania. Aplikacja korzysta z predefiniowanych danych pogodowych opracowanych na podstawie pomiarów zgodnie z metodyką ASHRAE. Dane do programu wprowadzane są za pomocą prostego i intuicyjnego interfejsu użytkownika. Wprowadzanie danych jest dla projektanta intuicyjne i naturalne – program operuje bowiem pojęciami związanymi z budynkiem – ściany, stropy, okna. Na podstawie zadeklarowanych materiałów możliwe jest stworzenie przegród wielowarstwowych. Na podstawie danych geometrycznych pomieszczenia program dokonuje oszacowania zysków zewnętrznych i wewnętrznych ciepła. Obciążenie cieplne pozwala na zwymiarowanie wybranego przez projektanta systemu klimatyzacji, wentylacji i ogrzewania. Zwymiarowanie rozumiane jest tu jako wyznaczenie ilości powietrza niezbędnego do odebrania zysków ciepła przy założonych parametrach nawiewu i powietrza w pomieszczeniu. Na podstawie wyznaczonego strumienia powietrza dokonywany dobór elementów systemu (chłodnic, nagrzewnic) oraz wymiarowanie źródeł ciepła i chłodu. Dopiero tak złożony system poddawany jest analizie symulacyjnej – pracy w ciągu całego roku. Na podstawie niniejszej symulacji korygowane jest obciążenie cieplne pomieszczeń oraz moce elementów systemu, a także dokonywane jest końcowe zwymiarowanie źródeł oraz obliczenia zużycia energii poszczególnych źródeł. Program dystrybuowany jest jako aplikacja komercyjna – koszt zakupu programu

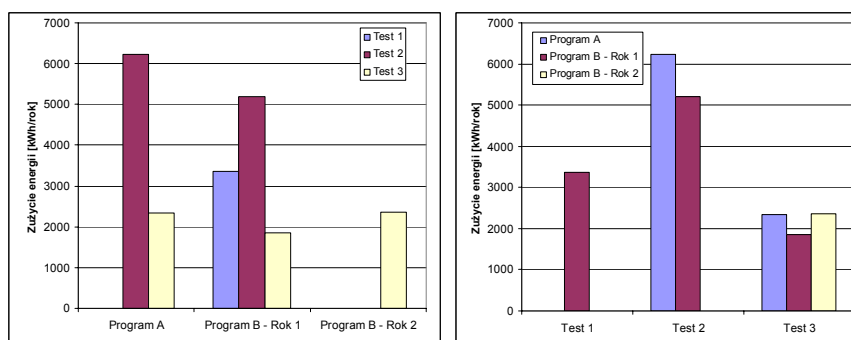
wynosi ok. 7000 zł. Aplikacja wymaga znajomości projektowania systemów HVAC i dedykowana jest inżynierom projektującym systemy wentylacji i klimatyzacji.

5. OPIS SYMULACJI – PROGRAM B

Program B jest aplikacją pozwalającą na dokonanie szerszego zakresu analiz cieplnych i przepływowych budynku. Posiada także możliwość definiowania systemów wentylacji, klimatyzacji i ogrzewania. Program wykorzystuje bazy danych pogodowych, umożliwia zatem dokonanie sprawdzenia dla różnych lat, lub dla roku referencyjnego. Dane do programu wprowadzane są jako składniki budowanego modelu. W tym przypadku wprowadzanie danych – budowanie kompletnego modelu zajmuje ponad dwukrotnie więcej czasu i wymaga znacznie większej precyzji. Przegrody określane są jako składniki modelu – warunki brzegowe o określonej charakterystyce. Dla wprowadzonych precyzyjnych danych o pomieszczeniu i założeniach związanych z wielostrefowym modelem klimatyzacji, wentylacji i ogrzewania dokonywana jest analiza energetyczna pomieszczenia. Program posługuje się znacząco mniejszym krokiem czasowym, co powoduje, że analizy wykonywane są w znacznie dłuższym czasie, lecz dokładność wyników jest także większa. Program dystrybuowany jest jako aplikacja bezpłatna z prawem do rozbudowy kodów źródłowych zawartych w pakiecie. Aplikacja wymaga rozszerzonej wiedzy związanej z wymianą ciepła i mechaniką płynów. Dla inżynierów – projektantów systemów HVAC jest postrzegana jako bardzo zaawansowane, akademickie narzędzie symulacyjne.

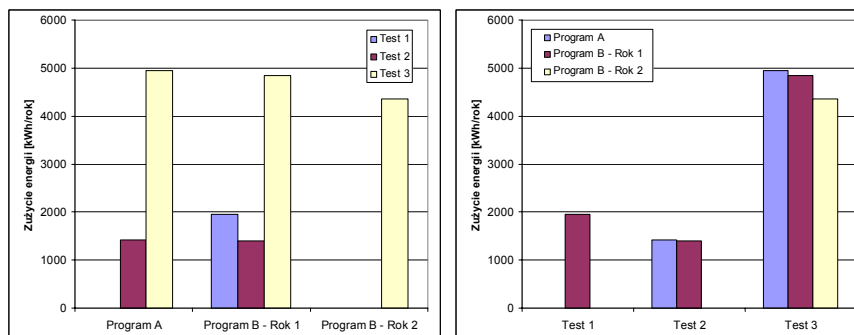
6. WYNIKI SYMULACJI

Wyniki zużycia energii na cele ogrzewania w skali rocznej przedstawiono na Rys. 3.



*Rys. 3 – Zużycie energii na potrzeby ogrzewania
Pic. 3 – Heating energy consumption*

Wyniki zużycia energii na cele chłodzenia w skali rocznej przedstawiono na Rys. 4.



Rys. 4 – Zużycie energii na potrzeby chłodzenia
 Pic. 4 – Cooling energy consumption

7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie przedstawionych symulacji możliwe jest sprecyzowanie następujących wniosków:

- Modelowanie za pomocą uproszczonych, zwalidowanych metod symulacyjnych daje zadowalające wyniki (max błąd 12%) na poziomie analiz inżynierskich.
- Przeprowadzone symulacje zużycia energii na cele chłodzenia (Test 3) obciążone są porównywalnym największym błędem (max błąd 12 %) z symulacjami zużycia energii na cele ogrzewania (max błąd 10%).
- Precyzyjne uwzględnienie zysków ciepła przy zużyciu energii jest kluczowym zagadnieniem oszacowań energetycznych - różnice w oszacowaniu dla ogrzewania mogą sięgać 280%, przy chłodzeniu zaś nawet 350%.
- Uwzględnienie systemów HVAC ma decydujące znaczenie przy symulacjach zużycia energii – różnice mogą sięgać nawet 86%.
- Wariancja w przypadku obu systemów HVAC jest porównywalna i wynosi ok. 90000 (83000 i 102000), zaś odchylenie standardowe ok. 305 (290 i 320).
- Wybór warunków pogodowych ma większe znaczenie (max. 10%) niż sposób modelowania systemu HVAC (max. 2-9%).
- Zużycie energii na potrzeby chłodzenia (4715 kWh/rok) jest większe w omawianym przypadku niż zużycie energii na potrzeby ogrzewania (2183 kWh/rok).
- Wyniki uzyskane w niniejszej analizie pokrywają się jakościowo z wynikami testów BESTTEST przy uwzględnieniu innej lokalizacji badanego obiektu.
- Celowym wydaje się rozszerzenie analiz związanych z symulacjami na analizę wrażliwości poszczególnych modeli.
- Przeprowadzone analizy potwierdziły konieczność interdyscyplinarnego podejścia do zagadnień modelowania obudowy budynku wraz z funkcjonowaniem systemów HVAC. Tworzenie i rozwijanie współpracy między ośrodkami naukowymi zajmującymi się poszczególnymi zagadnieniami wydaje się jedynym sposobem na rozwiązywanie złożonych zagadnień współczesnego budownictwa.

Przedstawione badania wykazały znaczenie symulacji funkcjonowania systemów HVAC przy analizach zużycia energii w budynkach. Uwzględnienie prawidłowo funkcjonującego systemu wentylacji, klimatyzacji i ogrzewania znacząco wpływa na wyniki zużycia energii. Wybór narzędzia symulacyjnego może mieć znaczący wpływ na uzyskane rezultaty, choć w przypadku zweryfikowanych modeli różnice wyników odniesione do dokładności wprowadzanych danych i niepewności projektowania inżynierskiego mogą już nie mieć praktycznego znaczenia.

8. LITERATURA

1. DYREKTYWA 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej z dnia 16 grudnia 2002 r w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
2. „Explanation of the general relationship between various CEN standards and the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) („Umbrella document”) – CEN/BT WG 173 EPBD N 15 rev
3. BARTKIEWICZ P. – “Symulacje zużycia energii w budynku z uwzględnieniem instalacji wentylacyjnych i klimatyzacyjnych” – Forum Wentylacji 2005, Warszawa
4. ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment 2004, ASHRAE, 2004
5. SAHIN P. – “Building Energy Simulation – an overview of methods and challenges”, REHVA General Assembly, EQUA Simulation AB
6. “EnergyPlus Testing with ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 (BESTTEST)” - Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California



dr inż. Piotr Bartkiewicz

Adiunkt

Instytut Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Warszawskiej

ul. Nowowiejska 20

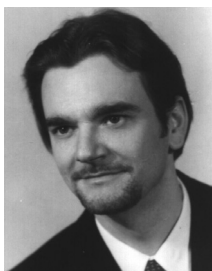
00-653 Warszawa

e-mail: Piotr.Bartkiewicz@is.pw.edu.pl

www: <http://www.iow.is.pw.edu.pl/bartek>

Zainteresowania:

- komputerowe wspomaganie procesów projektowania
- modelowanie systemów wentylacji
- symulacje energetyczne



Dr inż. Dariusz Heim, adiunkt w Katedrze Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych Politechniki Łódzkiej.

Tematyka zainteresowań: modelowanie i komputerowa symulacja procesów transportu masy i energii w budynkach oraz procesów cieplno-wilgotnościowych w jego elementach, modelowanie i komputerowa symulacja zintegrowanych systemów energetycznych z uwzględnieniem odnawialnych źródeł energii, budownictwo ekologiczne i architektura bioklimatyczna, oświetlenie architektoniczne i urbanistyczne.

darkheim@p.lodz.pl