BUDOWNICTWO
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
CIVIL ENGINEERING
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
1-B/2009
ZESZYT 5
ROK 106
ISSUE 5
YEAR 106

DARIUSZ HEIM*, JAKUB SAMUSZONEK**

WYKORZYSTANIE TECHNIK SYMULACJI KOMPUTEROWYCH W PROJEKTOWANIU ENERGOOSZCZĘDNEGO BUDYNKU BIUROWEGO

APPLICATION OF SIMULATION TECHNIQUES IN DESIGN OF A LOW ENERGY, OFFICE BUILDING

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki analiz symulacyjnych zapotrzebowania na ciepło i chłód. Analizę prowadzono równolegle z projektem architektonicznym budynku wielofunkcyjnego o przeważającej funkcji biurowej. Otrzymywane wyniki służyły każdorazowo do modyfikacji koncepcji, prowadząc w ten sposób do uzyskania wariantu najkorzystniejszego pod względem charakterystyki energetycznej.

Słowa kluczowe: *symulacje energetyczne, budynek biurowy, energooszczędność*

Abstract

The paper presents simulation results of heating and cooling energy requirements. Analysis was conducted simultaneously with design process of multifunctional building. The obtained results were used to modify previous concept leading to create the best energy efficient solution.

Keywords: *energy simulations, office building, energy savings*

* Dr inż. Dariusz Heim, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechnika Łódzka.

** Mgr inż. Jakub Samuszonek, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechnika Łódzka.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1. Wstęp

Idea budownictwa niskoenergetycznego i pasywnego rozwija się w Europie Zachodniej i na świecie od wielu lat. W obliczu rosnących cen energii, paliw, surowców oraz zanieczyszczenia środowiska racjonalna gospodarka energią w sektorze budownictwa stała się już nie tylko domeną ekscentrycznych ekologów, ale koniecznością ekonomiczną. Nowatorskie budynki pasywne, do tej pory głównie mieszkalne, są realizowane na świecie na coraz większą skalę, wytyczając nowe standardy w zakresie energooszczędności.

Z drugiej strony, wraz z rozwojem cywilizacyjnym i postępem technologicznym zwiększają się wymagania dotyczące komfortu użytkowników budynków. Mogą być one łatwo realizowane na etapie projektu dzięki wykorzystaniu metod symulacji zachowania się budynku i systemu instalacji wewnętrznych. Techniki obliczeniowe opracowane na potrzeby badawcze znajdują coraz szersze zastosowanie również wśród inżynierów, projektantów i konsultantów, do czego zmusza ich właśnie większa dbałość o parametry środowiska wewnętrznego i oszczędność energii [1]. Takie „wirtualne laboratoria badawcze", jakimi są programy symulacyjne budynków, stworzone zostały jednak głównie dla celów naukowych, a ich budowa, obsługa, sposób prezentacji wyników nie zawsze odpowiadają specyfice procesu projektowania. Ale też przy stosowaniu pewnych zasad i wytycznych mogą być pomocne dla inżyniera wspomagającego architekta w projektowaniu teraz już nie tylko elementów konstrukcji czy instalacji, ale całego zintegrowanego środowiska budynku.

Jednym z celów niniejszego artykułu jest określenie wspólnej płaszczyzny, która pozwoli wykorzystać zintegrowane metody symulacyjne w procesie projektowania obiektu. Projektowanie „energetyczne" powinno być prowadzone równocześnie z funkcjonalnym, architektonicznym czy konstrukcyjnym i powinno mieć istotny wpływ na ostateczne rozwiązania. Przedstawione założenia zostały dodatkowo zilustrowane dla projektu budynku wielofunkcyjnego: biurowo-usługowo-mieszkalnego. Przeprowadzone z użyciem metod symulacyjnych „projektowanie energetyczne" stanowi uzupełnienie opracowanego przez studentkę architektury Annę Bąkiewicz dyplomowego projektu architektonicznego [2].

2. Koncepcja architektoniczna

Idee energooszczędnego budynku biurowego realizowano równolegle do projektu architektonicznego. Wykorzystując wyniki symulacji wykonanych na potrzeby niniejszego artykułu, zaproponowano rozwiązania, które miały wpływ na późniejsze rozwiązania architektoniczne. Z założenia omawiany budynek zlokalizowany jest w centrum Łodzi. Zaprojektowano go jako uzupełnienie istniejącej zabudowy śródmiejskiej, zaś forma bryły budynku wynika głównie z uwarunkowań urbanistycznych. Sama lokalizacja z odsłoniętą południową fasadą sugeruje i umożliwia zastosowanie pasywnego systemu pozyskiwania energii promieniowania słonecznego.

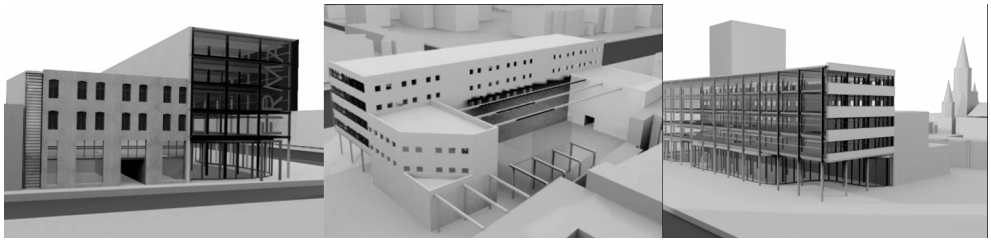
Koncepcja architektoniczna została oparta na następujących założeniach:

- charakter publiczny budynku, brak granicy między zewnętrzem a wnętrzem funkcji publicznej,
- ochrona i oddzielenie przestrzeni prywatnej (siedziby biura),
- demokratyzacja i elastyczność przestrzeni biurowej,
- jednolita struktura przestrzenno-funkcjonalna,

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

– wzajemna otwartość wnętrz i w relacji z otoczeniem,
– wprowadzenie przyjaznego mikroklimatu – zieleń.

Budynek podzielony jest na trzy główne części, otaczające od wschodu, zachodu i południa wewnętrzny półpubliczny dziedziniec.



Rys. 1. Wizualizacja budynku (wizualizacja – Anna Bąkiewicz)
Fig. 1. Visualisation of the building (visualisation by Anna Bąkiewicz)

Koncepcja fizykobudowlana obejmuje również wykorzystanie zróżnicowania funkcjonalnego obiektu. Różne, ściśle określone pory użytkowania poszczególnych części umożliwiły okresowe obniżanie parametrów komfortu, ogrzewanie sąsiadujących stref przez stosowanie przegród wewnętrznych o niewielkich oporach cieplnych lub przez kierowanie do nich poza porami użytkowania zużytego powietrza wentylacyjnego.

3. Symulacje numeryczne – układ funkcjonalno-przestrzenny

Analizy numeryczne poprzedzono sprawdzeniem za pomocą modelu z wykorzystaniem stołu słonecznego rozkładu nasłonecznienia w poszczególnych porach dnia i roku. Natomiast w zasadniczym etapie projektowania budynku przeprowadzono analizę wpływu rozmieszczenia poszczególnych funkcji wewnątrz budynku. W tym celu do programu symulacyjnego [1] wprowadzono model budynku składający się z dwudziestu siedmiu stref, w ramach których wydzielono: parking, sport (kondygnacja podziemna), pomieszczenia przeznaczone na pobyt osób (parter–V piętro), atrium (do wysokości I piętra) oraz przestrzeń fasady podwójnej od strony południowej i zachodniej.

W pierwszym etapie przeprowadzono symulacje dla wariantu „zerowego”. Przyjęto zyski ciepła od urządzeń, oświetlenia i osób. Oszacowane dla całego budynku zyski rozłożono równomiernie na każdy metr kwadratowy powierzchni budynku. Kolejne symulacje wykonano dla typowego tygodnia zimy (9–15 stycznia), typowego tygodnia lata (11–17 lipca), uwzględniając swobodny przepływ powietrza wewnątrz budynku przy wyłączonym systemie ogrzewania i chłodzenia. Wyznaczono temperatury powietrza w poszczególnych strefach. Uśredniając godzinowe temperatury dla charakterystycznych godzin: 7:30, 13:30, 18:30 i 1:30, obliczone dla całego tygodnia, sporządzono płaszczyznowe rozkłady temperatur (mapy rozkładu) w konkretnych strefach. Na podstawie map otrzymanych dla zimy i lata ustalono wytyczne dla dalszego projektowania architektonicznego, głównie dla rozkładu funkcji i poszczególnych pomieszczeń. Następnie przeprowadzono kolejne symulacje dla różnych opcji rozkładu pomieszczeń, sposobu ich użytkowania. Dla wszystkich wariantów zachowano stałą sumę tygodniowych (a co za tym idzie – także rocznych) zysków ciepła od osób urządzeń i oświetlenia. We wszystkich wariantach

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

projektowych zróżnicowano jedynie rozkład zysków od promieniowania słonecznego i ich rozdział w obszarze budynku.

4. Symulacje numeryczne – konstrukcja i sterowanie

W celu przeanalizowania wpływu bezwładności cieplnej na zapotrzebowanie na energię wszystkie obliczenia przeprowadzono dla dwóch typów konstrukcji: lekkiej i ciężkiej. Jako konstrukcje typu ciężkiego przyjęto żelbetowy system płyta–słup ze ścianami osłonowymi oraz wewnętrznymi wykonanymi z cegieł silikatowych. W konstrukcji lekkiej masywne przegrody żelbetowe zastąpiono stalowo-żelbetowymi stropami oraz lekkimi ścianami osłonowymi zewnętrznymi typu „sandwicz". Aby zbadać jedynie wpływ masy termicznej w obydwu typach konstrukcji, zachowano identyczne parametry izolacyjności cieplnej przegród (współczynniki U).

Wariant wstępny („zerowy") pracy systemu grzewczo-chłodniczego

We wszystkich strefach przyjęto hipotetyczne ogrzewanie i chłodzenie o nieograniczonej praktycznie mocy systemu. Ten sposób kontroli zapewnił chłodzenie, gdy temperatura przekroczyła 26°C i ogrzewanie przy spadku poniżej 20°C. Powyższe warunki utrzymywane były przez cały rok i przez cała dobę. W atrium oraz w nieogrzewanej strefie parkingu podziemnego przyjęto brak ogrzewania/chłodzenia. Przeprowadzono symulacje dla pełnego roku kalendarzowego. W obliczeniach uzyskano roczne zużycie energii na ogrzewanie budynku na poziomie 747 MWh oraz na chłodzenie w wysokości 180 MWh, co daje łącznie **927 MWh**. Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię na ogrzanie 1 m^2 powierzchni użytkowej wyniósł **88,8 kWh/m^2a**. Ze względu na czasochłonność obliczeń już znacznie skomplikowanego na tym etapie modelu dalsze symulacje prowadzono najpierw dla typowych tygodni – lata, zimy oraz wiosny i jesieni. Tygodniowe łączne zyski ciepła wyniosły 24 206 kWh.

Wariant I pracy systemu grzewczo-chłodniczego

Do modelu wprowadzono zróżnicowanie sposobów użytkowania dla poszczególnych stref, wynikające z różnych zysków ciepła oraz założonych parametrów ogrzewania i chłodzenia:

- sklep – użytkowany w dni robocze i soboty, w niedziele jedynie stała część zysków od wyposażenia oraz nocne oświetlenie witryn,
- bistro – użytkowane w dni robocze i soboty, w niedziele jedynie stała część zysków od wyposażenia,
- biuro II (typu mieszanego, z serwerownią), biuro I (typu *open space*) oraz biuro II (typu mieszanego, bez serwerowni), biuro III (typu „celkowego") – użytkowane w dni robocze, w weekendy jedynie stała część zysków od wyposażenia i ochrony obiektu,
- audytorium – użytkowane w dni robocze rano i po południu,
- gabinety – użytkowane w dni robocze, w weekendy jedynie stała część zysków od wyposażenia i ochrony obiektu,
- mieszkania – użytkowane codziennie w nocy, rano i wieczorem, w ciągu dnia jedynie stała część zysków od wyposażenia,
- parking – użytkowany codziennie
- sala gimnastyczna – użytkowana w dni robocze i soboty, w niedziele jedynie stała część zysków od urządzeń.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Zyski ciepła od serwerowni o powierzchni 10 m^2 w wysokości 1000 W/m^2 (łącznie 10 kW) uwzględniono jako rozmieszczone równomiernie w pomieszczeniach biura I. Zachowano hipotetyczny system ogrzewania i chłodzenia o nieograniczonej mocy utrzymujący temperaturę pomiędzy 20 a 26ºC w każdym pomieszczeniu przez cała dobę. Otrzymano łączne tygodniowe zyski ciepła równe 17265 kWh. Wskaźnik zużycia energii dla całego roku wyniósł **78,7 kWh/m^2a** dla konstrukcji ciężkiej oraz **82,6 kWh/m^2a** dla konstrukcji lekkiej, a więc zmniejszył się o – odpowiednio – **11%** i **8,5%**.

Następnie do każdej strefy przyporządkowano podstawowy system ogrzewania i chłodzenia o nieograniczonej mocy, utrzymujący temperaturę pomieszczeń pomiędzy 20 a 26ºC w ciągu dnia, gdy przebywają w nich pracownicy (brak sterowania temperaturą poza okresem użytkowania). Wariant ten oznaczono „ctrl". Wskaźnik zużycia energii dla całego roku wyniósł **60,8 kWh/m^2a** dla konstrukcji ciężkiej oraz **62,7 kWh/ m^2a** dla konstrukcji lekkiej, a więc zmniejszył się o – odpowiednio – **31%** i **30%**. Szczegółowe wyniki przedstawiono w tab. 1.

Wariant II pracy systemu grzewczo-chłodniczego

Do modelu wprowadzono inny układ pomieszczeń i co za tym idzie – schematów zysków ciepła oraz ogrzewania i chłodzenia. Zachowano zbliżony program budynku oraz sumaryczne zyski ciepła. Zastosowano analogiczne jak w wariancie I schematy zysków ciepła. Ze względu na inne powierzchnie użytkowe poszczególnych pomieszczeń zmieniły się nieco ich wartości. Pozostały one jedynie niezmienione dla parkingu podziemnego i pomieszczeń sportowych. Zyski ciepła od serwerowni o powierzchni 10 m^2 w wysokości 1000 W/m^2 (łącznie 10 kW) uwzględniono jako rozmieszczone równomiernie w pomieszczeniach biura typu *open space*.

Do każdej strefy przyporządkowano podstawowy system ogrzewania i chłodzenia jak w wariancie I „ctrl". Przeprowadzono obliczenia dla typowych tygodni zimy, lata, wiosny i jesieni. Otrzymano łączne tygodniowe zyski ciepła równe 18 896 kWh. Wskaźnik zapotrzebowania na energię wyniósł **56,5 kWh/m^2a** dla konstrukcji ciężkiej oraz **57,9 kWh/m^2a** dla konstrukcji lekkiej, a wiec zmniejszył się o **35%** i **34%** w stosunku do wariantu referencyjnego („zerowego"). Szczegółowe wyniki przedstawiono w tab. 1.

Na podstawie sporządzonych w początkowym etapie pracy map rozkładu temperatur dla modelu z równomiernie rozmieszczonymi zyskami ciepła przygotowano wariant projektowy III L. Rozmieszczono odpowiednie funkcje w miejscach, gdzie wystąpiły warunki najbardziej zbliżone do wymaganych w ciągu dnia odpowiadającym okresowi użytkowania danej funkcji (np. pomieszczenia o najwyższej temperaturze w ciągu nocy zimą przeznaczono na mieszkania służbowe użytkowane w tym okresie). Ponadto wprowadzono dodatkową funkcję – bibliotekę. Podobnie jak w poprzednim wariancie schematy zysków ciepła pozostały niezmienione (z wyjątkiem wspomnianej już biblioteki). Zyski ciepła w serwerowni uwzględniono jako rozłożone równomiernie w pomieszczeniach biura I (typu *open space*).

Do każdej strefy przyporządkowano podstawowy system ogrzewania i chłodzenia jak w wariancie I „ctrl". Przeprowadzono obliczenia dla typowych tygodni zimy, lata, wiosny i jesieni oraz dla całego roku. Otrzymano łączne tygodniowe zyski ciepła równe 22 480 kWh. Wskaźnik zapotrzebowania na energię dla całego roku wyniósł **63,3 kWh/m^2a**, a więc zmniejszył się o **30%** w stosunku do wariantu referencyjnego („zerowego"). Szczegółowe wyniki przedstawiono w tab. 1.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

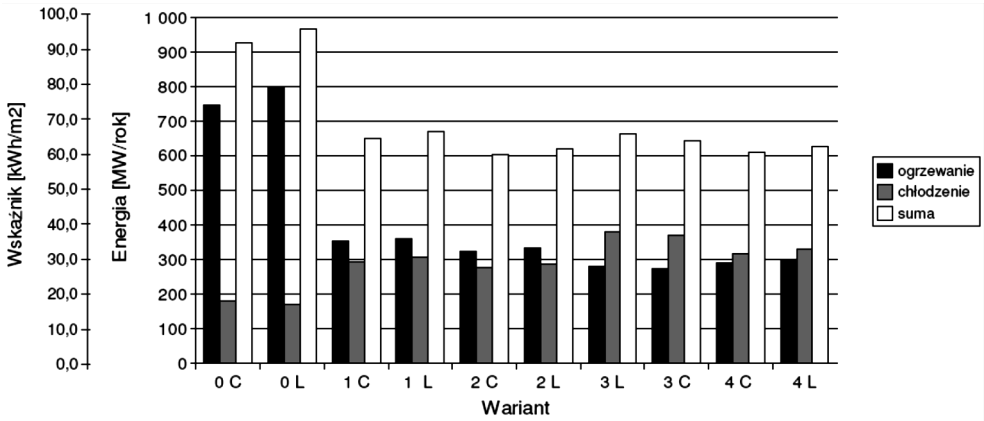
Wariant projektowy IV C przygotowano również na podstawie sporządzonych w początkowym etapie pracy map rozkładu temperatur dla modelu o konstrukcji ciężkiej z równomiernie rozłożonymi zyskami ciepła. Funkcje rozmieszczono przy podobnych założeniach jak w wariancie poprzednim. Zyski ciepła w serwerowni uwzględniono jako rozłożone równomiernie w pomieszczeniach biura I (typu *open space*).

Do każdej strefy przyporządkowano podstawowy system ogrzewania i chłodzenia jak w wariancie I „ctrl". Przeprowadzono obliczenia dla typowych tygodni zimy, lata, wiosny i jesieni oraz dla całego roku. Otrzymano łączne tygodniowe zyski ciepła równe 19 934 kWh. Wskaźnik zużycia energii dla całego roku wyniósł **58,1** kWh/m^{2}a, a więc zmniejszył się o **35%** w stosunku do wariantu referencyjnego („zerowego"). Szczegółowe wyniki przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1

Charakterystyki energetyczne dla poszczególnych wariantów

wariant	P.u. [m^2]	Zużycie energii [MWh/rok]			Wskaźnik zużycia energii [kWh/m^2]			Zmiana względem O C/L [%]	Zyski ciepła	
		ogrzewanie	chłodzenie	suma	ogrzewanie	chłodzenie	suma		[MWh/tydz]	[MWh/rok]
0 C	10456	747	180	927	71,5	17,2	**88,7**		24,2	1262
0 L	10456	795	171	967	76,1	16,4	**92,5**		24,2	1262
1 C	10495	354	296	650	33,8	28,2	**61,9**	30%	18,9	988
1 L	10495	360	309	669	34,3	29,5	**63,8**	31%	18,9	988
2 C	10446	326	278	603	31,2	26,6	**57,8**	35%	18,9	985
2 L	10446	333	288	620	31,8	27,5	**59,4**	36%	18,9	985
3 L	10415	281	380	662	27,0	36,5	**63,5**	28%	22,5	1172
3 C	10415	273	370	643	26,2	35,5	**61,8**	33%	22,5	1172
4 C	10487	290	319	609	27,7	30,4	**58,1**	35%	19,9	1039
4 L	10487	297	329	627	28,4	28,4	**59,7**	35%	19,9	1039



Rys. 2. Porównanie zapotrzebowanie na energię dla wariantów 0–IV
Fig. 2. Results comparison for cases 0–IV

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Tabela 2

Oszczędności energii w zależności od rodzaju konstrukcji (ciężka/lekka)

wariant	ogrzewanie	chłodzenie	suma
0	6,1%	5,0%	4,1%
1	1,6%	4,4%	2,9%
2	2,0%	3,6%	2,7%
3	2,9%	2,7%	2,8%
4	2,4%	3,1%	2,8%

5. Podsumowanie

W przeprowadzonej analizie obok wyboru najlepszego z wariantów projektowych porównano wpływ dwóch czynników na roczne zapotrzebowanie na energię budynku wielofunkcyjnego. Pierwszy to układ funkcjonalno-przestrzenny budynku. Obliczenia wykazały, że rozmieszczenie to może mieć istotny wpływ na zużycie energii, co wynika głównie z lepszego wykorzystania zysków ciepła. Po części jest to związane z rozmieszczeniem poszczególnych pomieszczeń względem stron świata. W wariancie II kluczowe okazało się umieszczenie mieszkań użytkowanych głównie w godz. 20–7 we wschodniej części obiektu. Takie położenie ograniczyło zużycie energii na chłodzenie tych stref narażonych na znaczne nagrzewanie od promieniowania słonecznego już od wczesnych godzin porannych.

Kolejny efekt uzyskano przez prawidłowe usytuowanie strefy – źródła znacznych zysków ciepła, jakim jest serwerownia. Zarówno w wariancie II, jak i w IV umieszczenie jej w pobliżu mieszkań pozwoliło doprowadzić do oszczędności energii. Zyski ciepła z serwerowni emitowane przez cała dobę zostały wykorzystane do ogrzania użytkowanych nocą mieszkań. Było to możliwe, ponieważ w przeciwieństwie do wariantu III L w wariantach II i IV C obydwa pomieszczenia były jedynie oddzielone przegrodą o niewielkim oporze cieplnym.

Wykorzystanie w procesie projektowania wykonanych wcześniej map rozkładu temperatur nie dało spodziewanego efektu. Sporządzony na ich podstawie wariant IV C co prawda okazał się jednym z najlepszych, jednak zużycie energii było nieznacznie niższe niż w wariancie II stworzonym tylko na podstawie logicznej analizy występujących zjawisk i pewnego doświadczenia. Potwierdza to podstawową zasadę, że wykorzystanie zaawansowanych narzędzi symulacyjnych uzasadnione jest jedynie wtedy, gdy niemożliwe jest rozwiązanie problemu z użyciem prostszych metod. Całościowa analiza pozwoliła jednak wykazać konkretne oszczędności energii wynikające z rozwiązań architektoniczno-budowlanych w budynku o złożonej funkcji i istotnie wpłynąć na ostateczną formę budynku.

Literatura

[1] Clarke J.A., *Energy simulation in building design*, 2nd edition, Butterworth–Heinemann, Oxford 2001.

[2] Bąkiewicz A., Samuszonek J., *Pasywny budynek biurowy*, materiały I sympozjum studenckich kół naukowych – Szklarska Poręba 2006, opiekun D. Heim, Politechnika Łódzka, Łódź 2006.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ