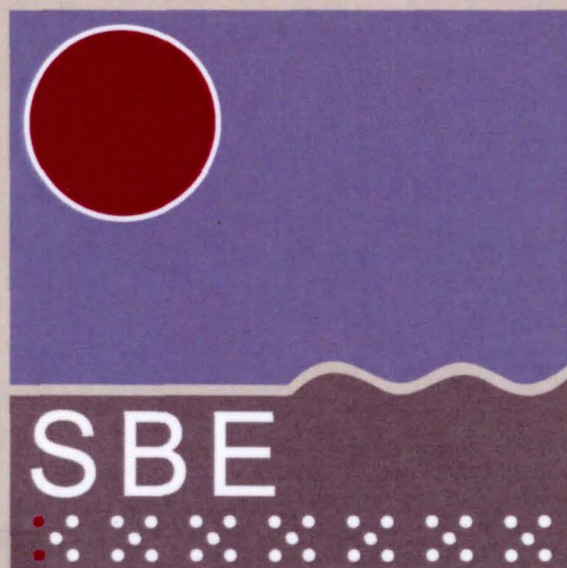


K-02



2005

rownictwo ekologiczne
100084

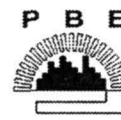
BUDOWNICTWO EKOLOGICZNE

MATERIAŁY II SYMPOZJUM NAUKOWEGO
SZKLARSKA PORĘBA 2005

POD REDAKCJĄ:
Piotra Klemma i Dariusza Heima



PRACOWNIA BUDOWNICTWA EKOLOGICZNEGO
KATEDRA FIZYKI BUDOWLI I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH



BUDOWNICTWO EKOLOGICZNE

MATERIAŁY II SYMPOZJUM NAUKOWEGO

SZKLARSKA PORĘBA 2005

POD REDAKCJĄ:

Piotra KLEMMMA i Dariusza HEIMA

ŁÓDŹ 2005

KATEDRA FIZYKI BUDOWLI I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ
Al. POLITECHNIKI 6, 90-924 ŁÓDŹ



100084

Opublikowane teksty przedstawiają indywidualne
poglądy autorów i zostały opublikowane bez
ingerencji w ich treść merytoryczną.

Przygotowanie do druku: Marek Jabłoński
Projekt okładki: Paweł Kaczmarczyk
Druk: AnnGraf s.c., 90-505 Łódź, ul. M. Skłodowskiej-Curie 11

ISBN 83-88499-15-7

001-001/115/2006

Spis treści

- 5 Przedmowa**
Piotr Klemm, Dariusz Heim
- 7 II Sympozjum Naukowe - Budownictwo Ekologiczne**
Dariusz Heim
- 9 Pracownia Aerodynamiki Obszarów Zabudowanych**
Katarzyna Klemm
- 13 Symulacje energetyczne budynków - rewolucja i ewolucja interfejsu użytkownika**
Piotr Bartkiewicz
- 31 Rozwiązania energooszczędne we współczesnym budownictwie szklarniowym**
Sławomir Grabarczyk
- 43 Zastosowanie materiałów fazowo - zmiennych do niskotemperaturowego magazynowania energii**
Dariusz Heim
- 57 Jak ujarzmiono wiatr jako źródło energii odnawialnej**
Imad El-Dine Ibrahim
- 59 Ocena warunków mikroklimatu wietrznego dla trzech wybranych struktur zabudowy**
Katarzyna Klemm
- 69 Wpływ metylocelulozy na cechy zaczynów gipsowych**
Piotr Konca
- 75 Certyfikat energetyczny budynku z trigeneracją energii - „Berlaymont”**
Commission européenne
Piotr Narowski, Aleksander Panek
- 91 Wentylacja pomieszczeń a oszczędność energii w budynku**
Aleksander Pawłowski
- 97 Wpływ głębokości pomieszczenia na zapotrzebowanie na energię do oświetlenia**
Anna Romanowska

105 Systemy wentylacji hybrydowej w budynkach szkolnych

Jerzy Sowa

121 Parameter des Innenraumkomfort (Glas) - sommerlicher Wärmeschutz

Michael V. Sprysch

125 Problemy związane z zabezpieczeniem wyrobów azbestowo-cementowych

Jan Szulc

129 Biologiczne źródła energii odnawialnej

Maciej Wojtczak

Przedmowa

Niniejsza publikacja będąca zbiorem prac z zakresu Budownictwa Ekologicznego jest efektem działalności specjalistów różnych dyscyplin naukowych. Dotyczą one szeroko rozumianych zagadnień budownictwa opartego na zasadach zrównoważonego rozwoju ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb i wymagań stawianych przez użytkowników budynków. Niezwykle miło jest nam rozpocząć współpracę z autorami spoza grona pracowników Katedry Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych Politechniki Łódzkiej. Dzięki obecności specjalistów innych dziedzin zdecydowanie wzrasta merytoryczna wartość całej książki oraz możliwe jest szersze spojrzenie na prezentowane zagadnienia.

Materiały obrad II Sympozjum Budownictwa Ekologicznego zawierają opracowania z tematyki: poszanowania energii, oświetlenia architektonicznego, inżynierii materiałowej, budownictwa energooszczędnego, systemów ogrzewania i wentylacji w budynkach oraz aerodynamiki w obszarach zabudowanych. Autorami większości zamieszczonych prac są pracownicy Politechniki Łódzkiej i Politechniki Warszawskiej.

Pragniemy złożyć serdeczne podziękowania wszystkim autorom poszczególnych rozdziałów niniejszej książki za trud włożony w ich napisanie oraz pragniemy wyrazić nadzieję, że pozostaną nadal aktywnymi uczestnikami tej formy naukowej działalności.

Jest nam niezmiernie miło, że znaleźliśmy także uznanie wśród przedstawicieli przemysłu. Wydanie niniejszej książki zostało całkowicie sfinansowane przez Firmę Allmendinger Sp. z o.o.

*Piotr Klemm
Dariusz Heim*

II Sympozjum Naukowe Budownictwo Ekologiczne

W dniach 14 – 19 stycznia 2005 roku w Szklarskiej Porębie odbyło się II Sympozjum Naukowe – Budownictwo Ekologiczne. Celem spotkania była wymiana poglądów, informacji i opinii oraz dyskusja na tematy naukowe związane z szeroko rozumianymi zagadnieniami ekologii w budownictwie. Podczas obrad prezentowano tematykę dotyczącą, energooszczędności, certyfikacji energetycznej budynków, sposobów oceny parametrów komfortu wewnętrznego i zewnętrznego, możliwości zastosowania odnawialnych źródeł energii, nowych technologii w inżynierii materiałowej oraz wykorzystania technik komputerowych w projektowaniu budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię.



*Uczestnicy II Sympozjum Naukowego – Budownictwo Ekologiczne 2005,
od lewej: Agnieszka Szulc, Imad Ibrahim, Jerzy Sowa, Jan Szulc, Aleksander Panek,
Michael V. Sprysch, Piotr Bartkiewicz, Piotr Konca, Katarzyna Klemm,
Aleksander Pawłowski, Dariusz Heim, Anna Romanowska, Sławomir Grabarczyk.*

Pierwszego dnia referaty wygłosili m.in. goście z Politechniki Warszawskiej. Dr inż. Jerzy Sowa omówił zagadnienia dotyczące systemów wentylacji hybrydowej w budynkach szkolnych, zaś dr inż. Piotr Bartkiewicz pokazał obecne możliwości programów do symulacji energetycznych budynków. Na koniec dr inż. Dariusz Heim zaprezentował efekty zastosowania w budynkach kompozytów modyfikowanych materiałem fazowo-zmiennym.

W kolejnym dniu obrad prof. Michał Sprysch przedstawił przykłady rozwiązań architektonicznych w Niemczech z zastosowaniem pasywnych systemów słonecznych, dr inż. Aleksander Panek zaprezentował opracowany przez polski zespół certyfikat energetyczny budynku Komisji Europejskiej, zaś dr Katarzyna Klemm omówiła metody oceny mikroklimatu wietrznego.

Podczas trzeciego dnia obrad dr inż. Sławomir Grabarczyk wygłosił referat o rozwiązaniach energooszczędnych we współczesnym budownictwie szklarniowym, zaś w drugiej części dr inż. Maciej Wojtczak przedstawił obecne możliwości wykorzystania biologicznych źródeł energii odnawialnej. Poniedziałkowe obrady zakończyła dr inż. Anna Romanowska referatem dotyczącym analiz energetycznych dla systemów oświetlenia mieszanego.

Ostatniego dnia Sympozjum mgr inż. Jan Szulc zapoznał uczestników z problematyką postępowania i utylizacji azbestowych wyrobów budowlanych, dr inż. Piotr Konca omówił wpływ metylocelulozy na cechy zaczynów gipsowych, zaś mgr inż. Aleksander Pawłowski zaprezentował istniejące realizacje gruntowych wymienników ciepła i sposoby ich projektowania. Jako ostatni wystąpił Imad El-Dine Ibrahim, który wprowadził uczestników w tematykę pierwszych siłowni wiatrowych wybudowanych na obszarze Bliskiego Wschodu.

Podczas Sympozjum odbyła się uroczysta kolacja, w czasie której w swobodnej atmosferze wymieniono poglądy i opinie na temat zagadnień poruszanych podczas obrad, a także planów dotyczących przyszłej współpracy.

Sympozjum w Szklarskiej Porębie było drugim z serii coroczny spotkań, które powoli wpisuje się do harmonogramu krajowych imprez naukowych. Kolejne, III Sympozjum Naukowe zaplanowano na przełomie stycznia i lutego 2006 roku.

Dariusz Heim

Pracownia Aerodynamiki Obszarów Zabudowanych

przy Katedrze Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych
Politechniki Łódzkiej

Katarzyna Klemm

Politechnika Łódzka, Instytut Architektury i Urbanistyki

1. WSTĘP

W 1999 roku przy Katedrze Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych powstała Pracownia Aerodynamiki Obszarów Zabudowanych. Kierownikiem pracowni została dr Katarzyna Klemm (zatrudniona w Instytucie Architektury i Urbanistyki), zaś w skład zespołu weszli: prof. dr hab. inż. Piotr Klemm, dr inż. Marek Jabłoński oraz dwóch pracowników Instytutu Fizyki Politechniki Łódzkiej, dr Kazimierz Roźniakowski i dr inż. Tomasz W. Wojtatowicz.

Działalność naukowa i dydaktyczna prowadzona jest we współpracy z ośrodkami zagranicznymi:

- Technical University of Eindhoven – Holandia
- Glasgow Caledonian University – Wielka Brytania

2. DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA

Rok rocznie na kierunku dyplomowania Budownictwo Ekologiczne powstaje kilka prac z zakresu aerodynamiki obszarów zabudowanych. W latach ubiegłych powstały między innymi prace dotyczące analiz przepływu wiatru wokół pojedynczych budynków jak również w złożonych strukturach zabudowy, pod kątem zapewnienia odpowiednich warunków mikroklimatycznych i komfortu wietrznego (rys. 1). Wyniki prac dyplomowych prezentowane były na konferencjach naukowych.

W ramach przedmiotu podstawy inżynierii wiatrowej studenci mają możliwość zapoznania się z metodami badawczymi stosowanymi w dziedzinie aerodynamiki obszarów zabudowanych (metody symulacyjne, badania tunelowe). Do analiz przepływu powietrza wokół zabudowy wykorzystywany jest, szeroko stosowany na świecie program symulacyjny FLUENT, oparty na modelach turbulencyjnego przepływu powietrza. Studenci biorą również czynny udział w badaniach eksperymentalnych w tunelu aerodynamicznym, mających na celu określenie strat cieplnych człowieka na skutek oddziaływania przepływu powietrza o różnych parametrach (rys. 2).

3. DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWA

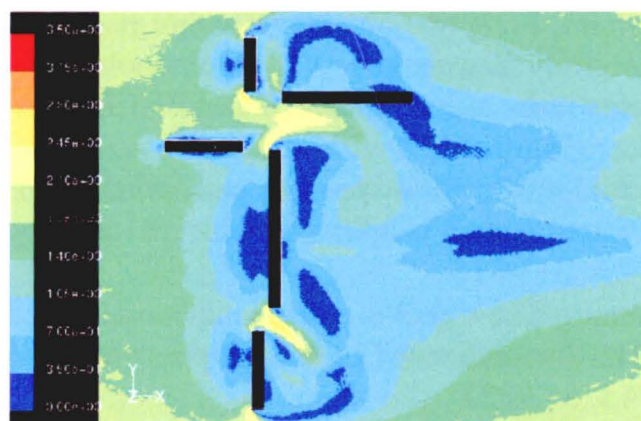
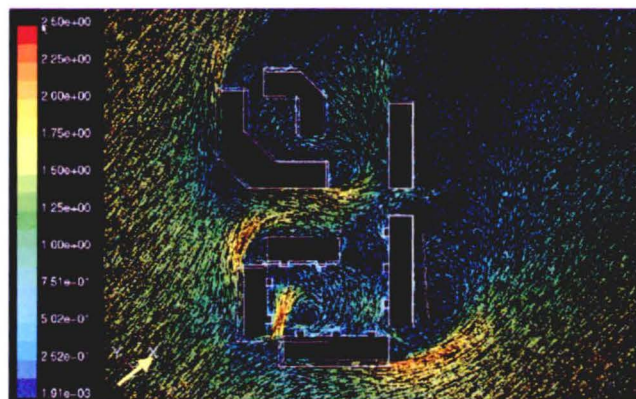
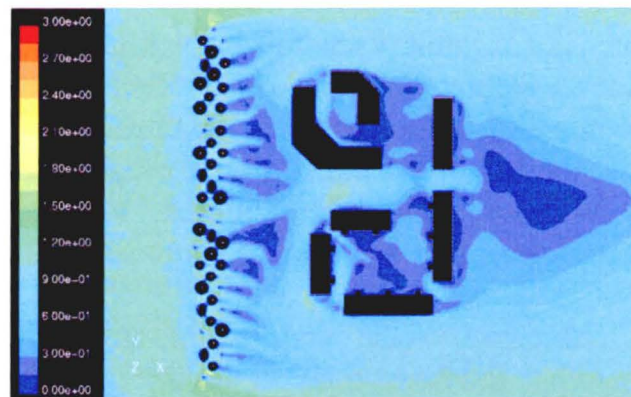
Działalność naukowa pracowni skupia się wokół zagadnień związanych z oddziaływaniem wiatru na budynki oraz człowieka w środowisku zabudowanym. W obrębie zainteresowań znajdują się również problemy dotyczące turbulentnego przepływu powietrza w warstwach brzegowych oraz metody ich analizy. Aktualnie prowadzone badania dotyczą poniższych tematów:

- Trójwymiarowa symulacja numeryczna przepływu turbulentnego wokół budynków z wykorzystaniem modelu $K - \epsilon$, RNG $K - \epsilon$, LES.
- Warunki wietrzności w wybranych strukturach urbanistycznych.
- Wpływ wiatru na komfort pieszych.
- Wykorzystanie optymalizacji wielokryterialnej przy kształtowaniu klimatu wietrznego w prostych strukturach zabudowy.
- Waloryzacja mikroklimatu wietrznego obszarów zabudowanych.
- Przepływ powietrza wokół budynków a straty ciepła przez przegrody zewnętrzne.
- Wykorzystanie metody laserowej do badania intensywności turbulentnego przepływu powietrza.
- Badania symulacyjne i tunelowe przepływu powietrza wokół człowieka pod kątem utraty ciepła.
- Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do przewidywania przepływu powietrza w strukturach zabudowy.

Prace naukowe z zakresu aerodynamiki obszarów zabudowanych prezentowane były na licznych konferencjach krajowych i zagranicznych, między innymi w Leuven, Eindhoven, Wiedniu i Tokio. Wyniki badań zostały opublikowane w książkach, czasopiśmie i materiałach konferencyjnych. Do najważniejszych pozycji opublikowanych w ostatnich latach należą:

- K. Klemm, M. Jabłoński, P. Klemm, Wpływ wiatru na komfort pieszych, VII Konferencja Naukowo – Techniczna Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Łódź, 1999
- K. Klemm, M. Jabłoński, P. Klemm, Turbulentny przepływ wokół dwóch sąsiadujących ze sobą budynków, „Procesy Budowlane’2000”, Politechnika Śląska, Gliwice, 2000
- K. Klemm, W. Marks, A.J. Klemm, Multicriteria optimisation of the building arrangement with application of numerical simulation, Building and Environment, 35, 2000, str.537 – 544
- K. Klemm, Wind conditions in the selected urban structures and the selection of the optimal solutions, 3rd International PhD Symposium in Civil Engineering, Institute of Structural Engineering, University of Applied Sciences Vienna, 2000
- P. Klemm, K. Roźniakowski, T.W. Wojtatowicz, K. Klemm, Wpływ turbulencji powietrza na speckle laserowe, VIII Konferencja Naukowo Techniczna Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Słok, 2001
- K. Klemm, Optymalizacja struktury zabudowy. W: Optymalizacja w Fizyce Budowli, pod redakcją Wojciecha Marksa, Sekcja Fizyki Budowli Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Łódź 2001

- K. Klemm, Wiatr jako czynnik kształtujący bioklimat obszarów zabudowanych, XV Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna Inżynieria Środowiska w Eksploatacji Kompleksów Wojskowych, Zakopane, 2001
- K. Klemm, M. Jabłoński, Ocena klimatu wietrznego grupy budynków w osiedlu mieszkaniowym Widzew – Wschód w Łodzi, VI Ogólnopolska Konferencja Naukowo – Techniczna Budownictwo Energooszczędne „Energodom“ 2002, s.153-160
- K. Klemm, M. Jabłoński, Wind comfort in an offshore urban area, IV-th International Youth Environmental Forum „ECOBALTICA’2002“, ST.-Petersburg, Russia 2002, s.146-148
- P. Klemm, K. Roźniakowski, M. Jabłoński, K. Klemm, O pewnych możliwościach pomiaru prędkości przepływu powietrza przy wykorzystaniu speklu światła laserowego, IX Konferencja Naukowo Techniczna Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Słok, 2003, s.287-294
- K. Klemm, Application of CFD to urban wind climate, V-th International Conference on Urban Climate, Department of Meteorology and Climatology, University of Łódź, 2003, s.238,CD
- K. Klemm, M. Jabłoński, Effect of windbreak on the wind flow in a small existing urban structure, Second International Building Physics Conference, Leuven, 2003, s.973-980
- K. Klemm, D. Heim, Przepływ powietrza wokół pojedynczego budynku a straty ciepła przez przegrody zewnętrzne, VII Ogólnopolska Konferencja Naukowo – Techniczna Budownictwo Energooszczędne ENERGODOM 2004, Kraków – Zakopane, 2004, Tom I s. 137 – 144
- K. Klemm, M. Jabłoński, Wind speed at pedestrian level in residential building complex, 21st International Conference passive and low energy architecture, Eindhoven, 2004, s. 311-316
- D. Heim, K. Klemm, The effect of wind loads on conduction heat losses in high rise buildings, 21st International Conference passive and low energy architecture, Eindhoven, 2004, s. 317-322
- Klemm Katarzyna: Profil prędkości strumienia powietrza w warstwie brzegowej powierzchni o niskim współczynniku szorstkości. W: Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym – Częstochowa 2004, s.163-168
- Klemm Katarzyna, Jabłoński Marek: Symulacja numeryczna ruchu powietrza w otoczeniu odsłoniętych części ciała człowieka. W: X Konferencja Naukowo Techniczna Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Słok, 2005, s.177-182
- Klemm Katarzyna, Jabłoński Marek, Konca Piotr: Ocena utraty ciepła z odsłoniętych części ciała człowieka przy różnych prędkościach strumienia powietrza. W: X Konferencja Naukowo Techniczna Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Słok, 2005, s.183-189
- K. Klemm, D. Heim, Wind flow aspects in the renovated, post – industrial urban area, Action for Sustainability. The 2005 World Sustainable Building Conference in Tokyo, Book of Abstracts Tokyo, 2005, s. 273. CBO5 Tokyo Proceedings CD-ROM



Rys. 1. Przykładowe wyniki analiz symulacyjnych.



Rys. 2. Przykładowe badania laboratoryjne.

Symulacje energetyczne budynków – rewolucja i ewolucja interfejsu użytkownika

Piotr Bartkiewicz

Politechnika Warszawska, Instytut Ogrzewnictwa i Wentylacji

1. WSTĘP

Projektanci budynków – architekci, konstruktorzy, projektanci systemów wentylacji i klimatyzacji korzystają obecnie z szeregu narzędzi komputerowego wspomaganie projektowania. Ich zakres stosowania obejmuje przede wszystkim programy wspomagające opracowanie dokumentacji rysunkowej, aplikacje obliczeniowe, programy wymiarujące systemy, urządzenia i elementy systemów oraz zestawienia materiałów. Ich wybór i sposób wykorzystania jest ściśle związane z bieżącymi potrzebami projektantów i możliwościami biura projektów.

Z drugiej strony współczesne prace badawcze prowadzone przez środowiska akademickie owocują powstawaniem nowych modeli i programów symulacyjnych. Ponieważ w większości są to programy rozwiązujące szczegółowe zagadnienia związane ze zużyciem energii w budynku, a zarazem stanowią prace autorskie wymagające ogromnej wiedzy ich wykorzystanie przez projektantów jest nadal szczątkowe.

W niniejszym referacie przedstawiono zakres zagadnień energetycznych, w rozwiązaniu których dostępne są aplikacje symulacyjne. Omówiono możliwości programów na tle wzrastającego zainteresowania tą gałęzią oprogramowania pod kątem możliwości szerszego wykorzystania istniejących aplikacji. Ponieważ jednym z najważniejszych elementów decydujących o możliwości praktycznego wykorzystania programu jest prostota wpisywania danych i możliwość prostego dostępu do wyników skupiono się na zmianach interfejsu graficznego programów symulacyjnych wskazując na ogromny postęp w tej dziedzinie oraz wytyczając kierunki rozwoju tej gałęzi aplikacji.

Ponieważ upowszechnienie aplikacji symulacyjnych wiąże się przede wszystkim z praktycznym wykorzystaniem ich już podczas projektowania celowym wydaje się przeanalizowanie potrzeb projektanta związanych z programami wspomagającymi jego pracę oraz mechanizmów rządzących procesem projektowym pod kątem realizacji tych potrzeb.

2. PROCES PROJEKTOWY

Można przyjąć, iż projektowaniem nazywać będziemy ogół działań koniecznych do stworzenia, zgodnie z arkanami sztuki inżynierskiej projektu określonego systemu

Symulacje energetyczne budynków – rewolucja i ewolucja interfejsu użytkownika

Piotr Bartkiewicz

Politechnika Warszawska, Instytut Ogrzewnictwa i Wentylacji

1. WSTĘP

Projektanci budynków – architekci, konstruktorzy, projektanci systemów wentylacji i klimatyzacji korzystają obecnie z szeregu narzędzi komputerowego wspomagania projektowania. Ich zakres stosowania obejmuje przede wszystkim programy wspomagające opracowanie dokumentacji rysunkowej, aplikacje obliczeniowe, programy wymiarujące systemy, urządzenia i elementy systemów oraz zestawienia materiałów. Ich wybór i sposób wykorzystania jest ściśle związane z bieżącymi potrzebami projektantów i możliwościami biura projektów.

Z drugiej strony współczesne prace badawcze prowadzone przez środowiska akademickie owocują powstawaniem nowych modeli i programów symulacyjnych. Ponieważ w większości są to programy rozwiązujące szczegółowe zagadnienia związane ze zużyciem energii w budynku, a zarazem stanowią prace autorskie wymagające ogromnej wiedzy ich wykorzystanie przez projektantów jest nadal szczątkowe.

W niniejszym referacie przedstawiono zakres zagadnień energetycznych, w rozwiązaniu których dostępne są aplikacje symulacyjne. Omówiono możliwości programów na tle wzrastającego zainteresowania tą gałęzią oprogramowania pod kątem możliwości szerszego wykorzystania istniejących aplikacji. Ponieważ jednym z najważniejszych elementów decydujących o możliwości praktycznego wykorzystania programu jest prostota wpisywania danych i możliwość prostego dostępu do wyników skupiono się na zmianach interfejsu graficznego programów symulacyjnych wskazując na ogromny postęp w tej dziedzinie oraz wytyczając kierunki rozwoju tej gałęzi aplikacji.

Ponieważ upowszechnienie aplikacji symulacyjnych wiąże się przede wszystkim z praktycznym wykorzystaniem ich już podczas projektowania celowym wydaje się przeanalizowanie potrzeb projektanta związanych z programami wspomagającymi jego pracę oraz mechanizmów rządzących procesem projektowym pod kątem realizacji tych potrzeb.

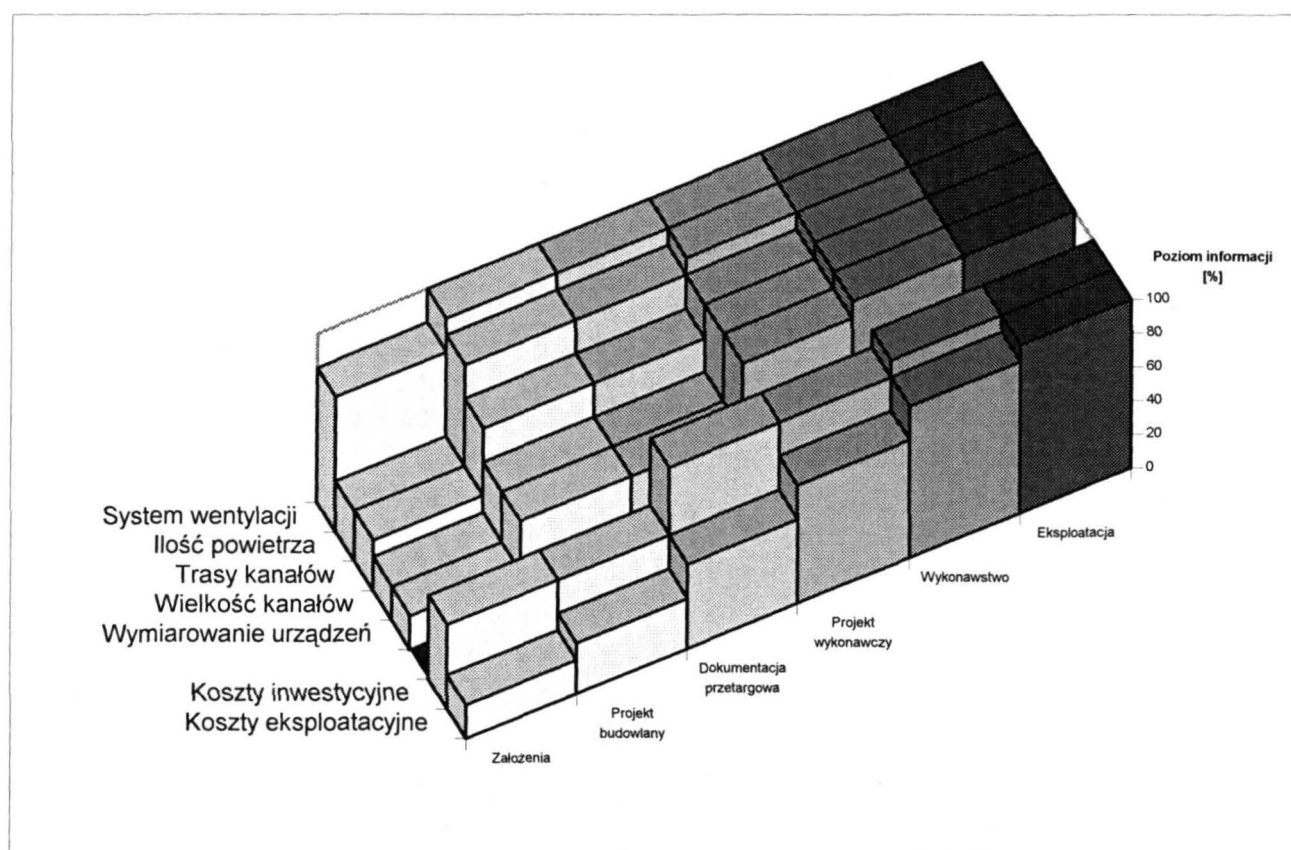
2. PROCES PROJEKTOWY

Można przyjąć, iż projektowaniem nazywać będziemy ogół działań koniecznych do stworzenia, zgodnie z arkanami sztuki inżynierskiej projektu określonego systemu

inżynierskiego. Na tej zasadzie bazuje pojęcie projektu jako zespołu dokumentów dotyczących danego systemu inżynierskiego. W miarę trwania procesu projektowania tworzone jest odwzorowanie przyszłej rzeczywistości w postaci opisanej różnymi metodami informacji. Warto w tym miejscu podkreślić, że proces projektowy stanowi pozyskiwanie i uporządkowanie informacji o budynku i znajdujących się w nim systemach. Oznacza to, że w trakcie projektowania rozwiązuje się szereg zagadnień elementarnych przybliżając się do ich pełnego opisu.

Coraz szerszy i bardziej dokładny zakres formułowanych wymagań sprawia, że struktura budynku i systemy mające wpływ na zużycie energii w budynku muszą stawać się przedmiotem starannego i przemyślanego doboru. Tak wiele aspektów projektowania budynku pod kątem racjonalnego zużycia energii sprawia, że sukcesywnie rosnąć musi liczba wykonywanych elementarnych projektów, służących rozwiązywaniu poszczególnych zagadnień. Ścisła współzależność wielu z wymienionych problemów zdecydowanie utrudnia zarówno koordynację jak i wybór rozwiązań optymalnych.

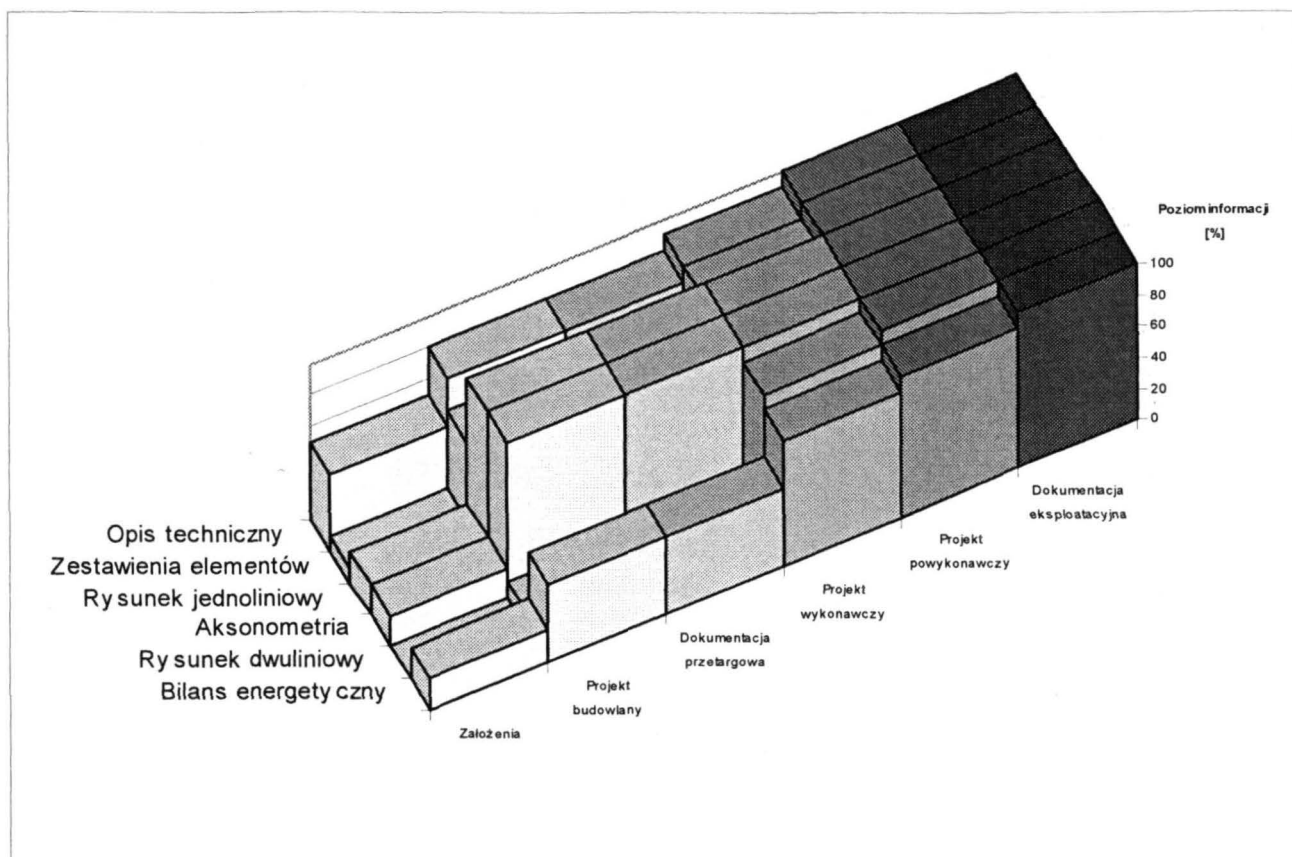
Modele wykorzystywane w projektowaniu powinny posiadać możliwość opisywania rzeczywistości lub rzeczywistości projektowanej w różnych stadiach wiedzy. Przykładem może być projekt instalacji klimatyzacyjnych mających na celu zapewnienie optymalnych warunków w pomieszczeniach który zawiera konieczność rozwiązania szeregu zagadnień na poszczególnych etapach projektowania (Rysunek 1).



Rys. 1. Poziom informacji o systemie w procesie inwestycyjnym.

Wraz z pozyskiwaniem wiedzy o danym systemie projektant zobowiązany jest do wykonywania określonych czynności projektowych, których fragment przedstawia rysunek 2.

Należy zaznaczyć, iż czynności te wymuszone są procedurą prawną opracowywanego projektu jako fragmentu procesu inwestycyjnego. Stanowią one zarazem element powiększający wiedzę projektanta o systemie wentylacji.



Rys. 2. Poziom informacji o systemie w trakcie projektowania.

Analiza powyższego wykresu pokazuje iż w trakcie projektowania istnieje szereg zagadnień, których precyzyjne obliczenie nie jest możliwe (np. zużycie energii, całkowity koszt instalacji). Zagadnienia te poznane zostaną dopiero po zakończeniu procesu inwestycyjnego, a projektant powinien doprowadzić do jak najdokładniejszego ich oszacowania.

Należy przy tym podkreślić, iż modele opisujące instalację wentylacyjną w zależności od przeznaczenia mogą charakteryzować się różną dokładnością. Wraz ze wzrastającą dokładnością obliczeń zwiększa się także czas ich wykonania. I tak dysponujący wiedzą i doświadczeniem projektant jest w stanie przeprowadzić zgrubne obliczenia niemal natychmiast, tak obliczenia wymagające wykorzystania zaawansowanych technik obliczeniowych mogą zająć tygodnie lub miesiące.

Powyższe czynniki mają ogromny wpływ na koszt wykonywanego projektu. Wykonanie obliczeń z dużą dokładnością powoduje konieczność zaangażowania licznego zespołu pracującego przez dłuższy czas i wykorzystującego zaawansowane, a zatem nierzadko drogie narzędzia wspomagające projektowanie.

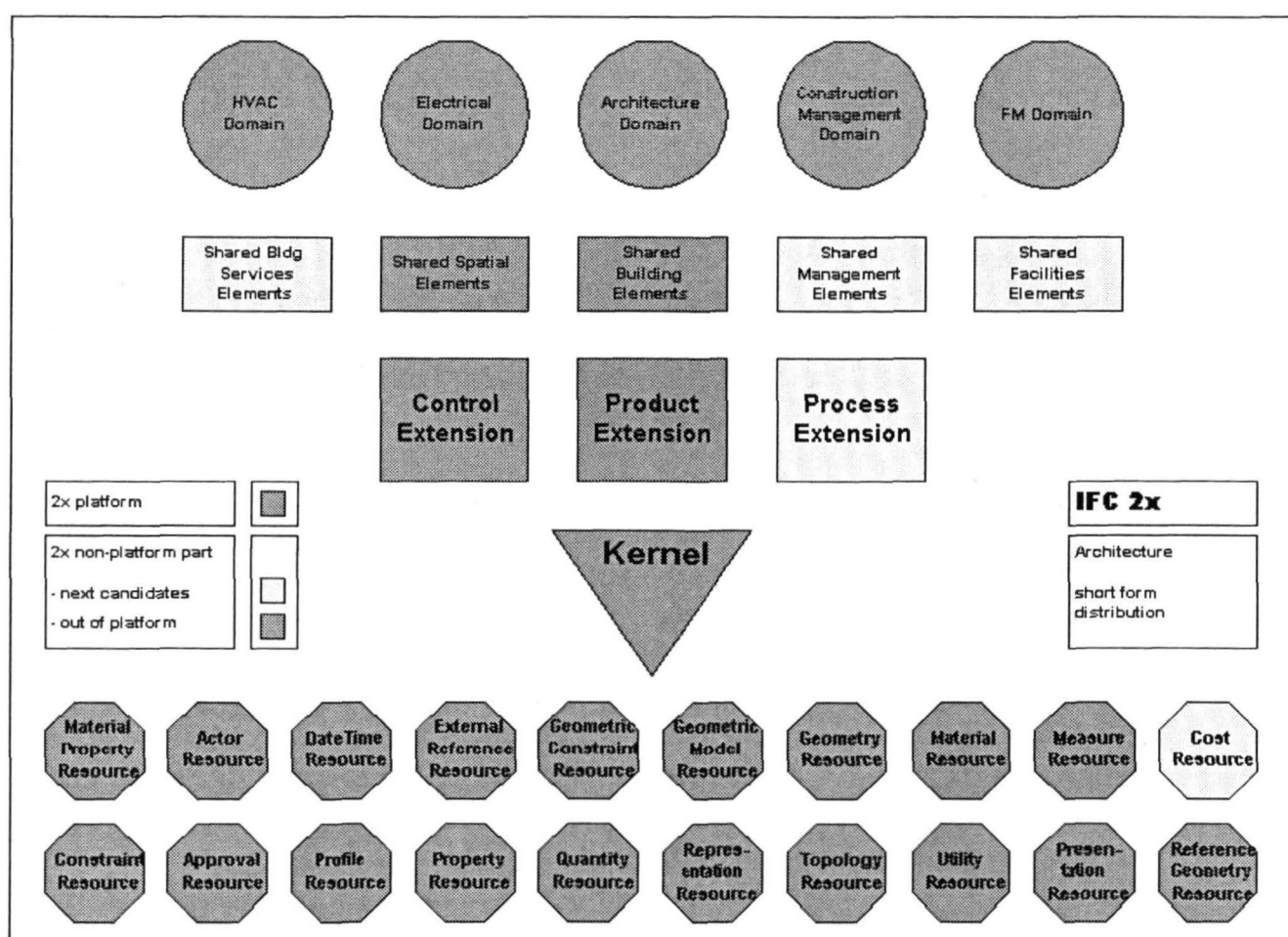
Przedstawiając powyższe zagadnienia z którymi projektant musi borykać się na co dzień i stawiając jako optymalizacyjną funkcję celu wykonanie projektu z określoną dokładnością w możliwie krótkim czasie, przy zaangażowaniu możliwie najtańszych

rozwiązań naturalnym staje się coraz szersze wykorzystanie narzędzi komputerowego wspomagania projektowania. Ich praktyczne wykorzystanie wiąże się nierozdzielnie z tym w jaki sposób aplikacje pozwolą na przyspieszenie prac projektowych. Owego przyspieszenia można poszukiwać poprzez wykorzystanie programów realizujących na przykład:

- skrócenie czasu opracowania dokumentacji - automatyzację prac projektowych
- zwiększenie dokładności obliczeń
- przenoszenie informacji projektowej na różne etapy opracowania
- wymianę danych pomiędzy obliczeniami, rysunkami i opisami
- udostępnianie informacji międzybranżowej

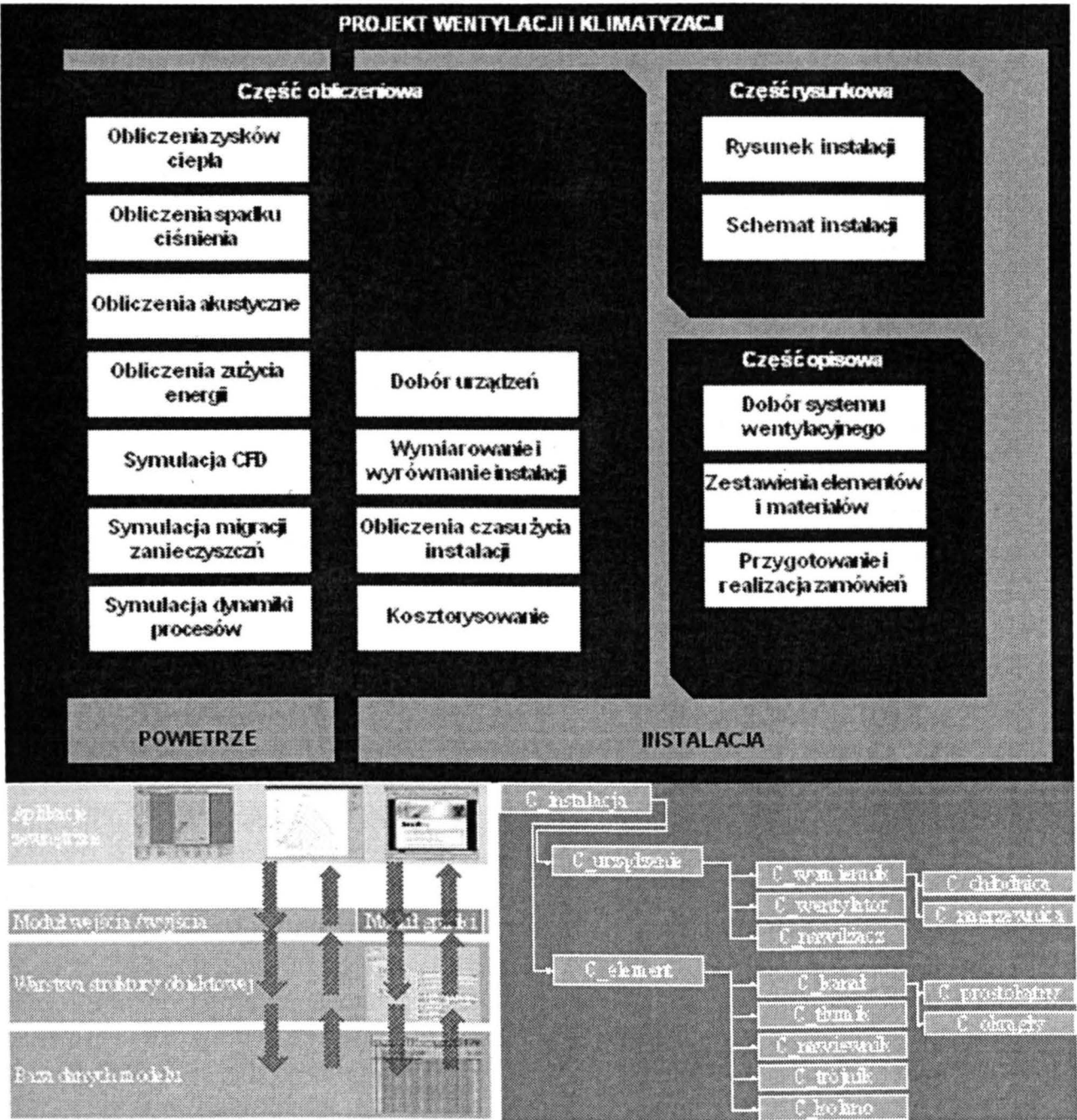
3. NOWE TECHNOLOGIE INFORMATYCZNE W PROGRAMACH SYMULACYJNYCH

Prace prowadzone obecnie nad wykorzystaniem wspólnej platformy wymiany danych dla budynku czyli kompleksowego opisu budynku umożliwiają znacznie łatwiejsze przekazywanie danych pomiędzy branżami. W przypadku uporządkowanego opisu wszystkich elementów obiektu budowlanego dodatkowo otrzymujemy możliwość spójnego opisu całego budynku (Rysunek 3).



Rys. 3. Kompleksowy opis budynku wg specyfikacji IFC (IAI).

Podobnie prace nad modelami opisu budynku wykorzystujące opis obiektowy (Rysunek 4) pozwalają na stworzenie platformy wymiany danych wykorzystywanych podczas opracowywania dokumentacji projektowej. Obiektowe podejście do opisu umożliwia integrację informacji o elementach budynku z procedurami opisującymi zachowanie elementów.



Rys. 4. Kompleksowy opis budynku wg technologii obiektowej.

Kolejnym sposobem przyspieszenia prac jest wykorzystanie nowych formatów danych. Powstanie nowych formatów wymiany informacji o elementach budowlanych jest odpowiedzią na dynamiczny rozwój technologii Internetowych. Wykorzystują one nowe języki lub formaty np. XML. Nowe sposoby zapisu danych o instalacjach pozwalają na łatwiejszy i szybszy transfer danych (Rysunek 5).

= name	IfcAirFilter	
= content	empty	
= model	open	
▲ attribute (23)		
	= type	= required
1	XMLID	yes
2	GlobalId	yes
3	OwnerHistory	yes
4	Name	no
5	Description	no
6	ObjectType	no
7	IsDefinedBy	no
8	HasAssociations	no
9	HasAssignments	no
10	Decomposes	no
11	IsDecomposedBy	no
12	ObjectPlacement	no
13	Representation	no
14	ReferencedBy	no
15	Tag	no
16	ConnectedTo	no
17	ConnectedFrom	no
18	ContainedInStructure	no
19	FlowElementType	yes
20	HasControlElements	no
21	DirtyPressureDrop	no
22	CleanPressureDrop	no
23	Efficiency	no

Rys. 5. Zapis danych w formacie XML pozwala na szybsze operowanie dużymi ilościami danych.

4. DOSTĘPNOŚĆ PROGRAMÓW SYMULACYJNYCH

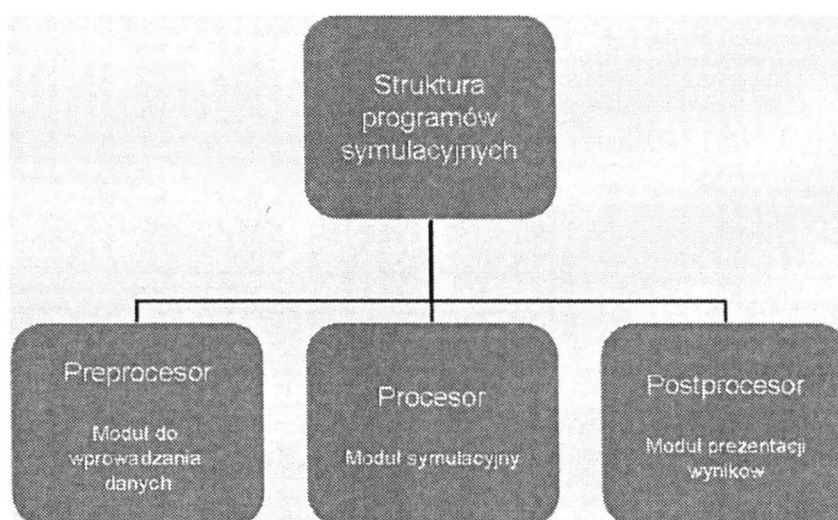
Liczba dostępnych aplikacji symulacyjnych związanych z oszacowaniem energii w budynku jest obecnie olbrzymia. Już samo zestawienie dokonane na podstawie informacji pochodzących z Internetu robi wrażenie, a zarazem stawia przed dylematem wyboru odpowiedniego programu do konkretnych potrzeb projektowych (Rysunek 6). Aby możliwym stało się zebranie informacji na temat dostępnego oprogramowania opracowano projekt „Wirtualna Wentylacja”, którego zadaniem będzie skatalogowanie i przetworzenie informacji dotyczącej aplikacji inżynierskich w zakresie wentylacji i klimatyzacji, w tym także programów symulacyjnych. Już samo zestawienie programów symulacyjnych pokazuje ogrom zagadnienia stojącego przed właściwym wyborem odpowiedniego programu. Jednym z ważniejszych kryteriów jest możliwość sprawnego wprowadzania danych i prezentacji otrzymanych rezultatów. Za tą funkcjonalność programu w znacznej mierze odpowiedzialnym staje się graficzny interfejs użytkownika.

1D-HAM	CL4M Commercial	Energy CAP	GIHMS	LESOSAI	Radiance Control Panel	SunPosition
3E Plus	Cooling and Heating	Professional	Green Building	LESO-SHADE	Radiance Interface	Surpoc
AAMASKY	Loads	Energy Estimator	Advisor	LifeCycle	RadTherm	SuperLite
ABACODE	CLIMATE 1	Energy Profile Tool	GS2000	Lighting Boy	REEP	System Analyzer
ACOUSALLE	Climate Consultant	Energy Profiler	HAP	LISA	REM/Design	T*SOL
Acoustics Program	C-MAX	Energy Profiler Online	HAP System Design	Load Express	REM/Rate	TAPS
ADELINE	CostWorks98	Energy Scheduling	Load	Look3D	RESCheck	Tanff Analysis Project
AFT Fathom	Cold Room Calc	Energy Trainer for	HBLC	LoopDA	RESEM	TAS
AFT Mercury	COMcheck-EZ	Energy Managers	Heat Pump Design	Macromodel for	RESFEN	The Athena Model
AG132	COMcheck-Plus	HVAC Module	Model	Assessing Residential	RHVAC	The Lightswitch
AIRPAK	COMFIE	Energy WorkSite	HEAT2	Concentrations of	Right-Suite Residential	Wizard
AkWarm	COMIS	Energy-10	HEAT3	Combustion Generated	for Windows	Therm
Analysis Platform	CONTAM	EnergyAide	HEED	Pollutants	RIUSKA	Thermal Comfort
Animate	Cool Roof Calculator	EnergyGauge USA	HiLight	MarketManager	RLSM	ThermoSun
APACHE	CtrlSpecBuilder	EnergyPlus	Home Energy Saver	METRIX	SenseDat Analyzer	Toolkit for Building
APACHE-HVAC	Dataplus-online	EnergyPro	HOMER	MHEA	SERIRES	Load Calculations
ASEAM	DAYSIM	EnergyShape	HOT2 XP	Microflo	ShadowFX	TownScope II
AUDIT	DD4M Air Duct	ENERPASS	HOT2000	Micropass6	SIMBAD Building and	TRACE 700
Awntshade	Design	ENER-WIN	HOUSE	MOIST	HVAC Toolbox	TRACE Load 700
BASECALC	DEROB-LTH	ENFORMA	HPSIM	MotorMaster+	SIP Scheduling	TREAT
BEST	DesiCalc	Engineering Toolbox	HVAC 1 Toolkit	myupgrades.com	Site Analysis	TRANSYS
BEACON	D-Gen PRO	Envest	HVAC Solution	National Energy Audit	SkyVision	tsbi3
BEES	Discount	ENVSTD and	HVACSIM+	(NEAT)	SLAB	UMIDUS
BESTEST	DOE-2	LTGSTD	Hydronics Design	NewQUICK	SMILE	Vantrane Duct
BinMaker Pro	DPCLima	EQUER	Studio	OHVAP	SMOC-ERS	Designer
BLAST	Duct Calculator	ERATES	IAQ-Tools	Opaque	SMOG	VentAir 62
BLCC	DUCTSIZE	ESP-r	IDA Indoor Climate	Overhang Design	solacalc	VISION4
BSim2002	EA-QUIP	EXTREMES	and Energy	PASSPORT	Solar Benefits Model	VisualDOE
BTU Analysis Plus	EASY Whole House	E-Z Heatloss	IDEAL	PEAR	Solar Tool	Visualize-IT Energy
BTU Analysis REG	Energy Audit	EZ Sim	Indoor Humidity Tools	Pervidi	SOLAR-2	Information and
BuilderGuide	e-Bench	EZDOE	INDUS	Physibel	SOLAR-5	Analysis Tool
Building Design	ecasy5	FASER	InterLane Power	Pipe Designer	SolArch	WaterAide
Advisor	Eco Lumen	FEDS	Manager	Piscas	SolarPro 2.0	WATERGY
Building Energy	EcoAdvisor	FenSpec	ION Enterprise	PocketControls	SolDesigner	Weather Data Viewer
Analyzer	ECOTECT	FLEX	IPSE	PRISM	Sombrero 3.01	Weather Tool
Building Energy	EE4 CBIP	FLOVENT	ISE	Prophet Load Profiler	SPARK	Weather Year for
Modelling and	EE4 CODE	FLUCS	IWEC	PsyCalc	Star Performer	Energy Calculations 2
Simulation - Self-	EED	foAudits	IWRAPS	PV*SOL	Streamline	Window
Learning Modules	EMISS	FRAME4	IWR-MAIN	PVcad	Sun Path	Window Heat Gain
Building	EMODEL	FRAMEplus	J-Works	PV-DesignPro	SUN_CHART Solar	WISE
Greenhouse Rating	EN4M Energy in	FRESA	KCL-ECO	PVSYST	Design Software	WUFI-ORN/IBP
BUS++	Commercial Buildings	FSEC 3.0	LCCID	Quick BLCC	SunAngle	ZIP
CATALOGUE	EnterCAD	GaBi 4	LESO-COMFORT	QuickChill	SunCast	
CELLAR	Energy CAP	Gas Cooling Guide	LESOCOOL	QuickFan	SUNDAY	
CHVAC	Enterprise	PRO	LESODIAL	QuickPlan	SUNDI	
		GenOpt	LESOKAI	Radiance	SunPath	

Rys. 6. Zestawienie aplikacji symulacyjnych opracowane w ramach projektu „Wirtualna Wentylacja”

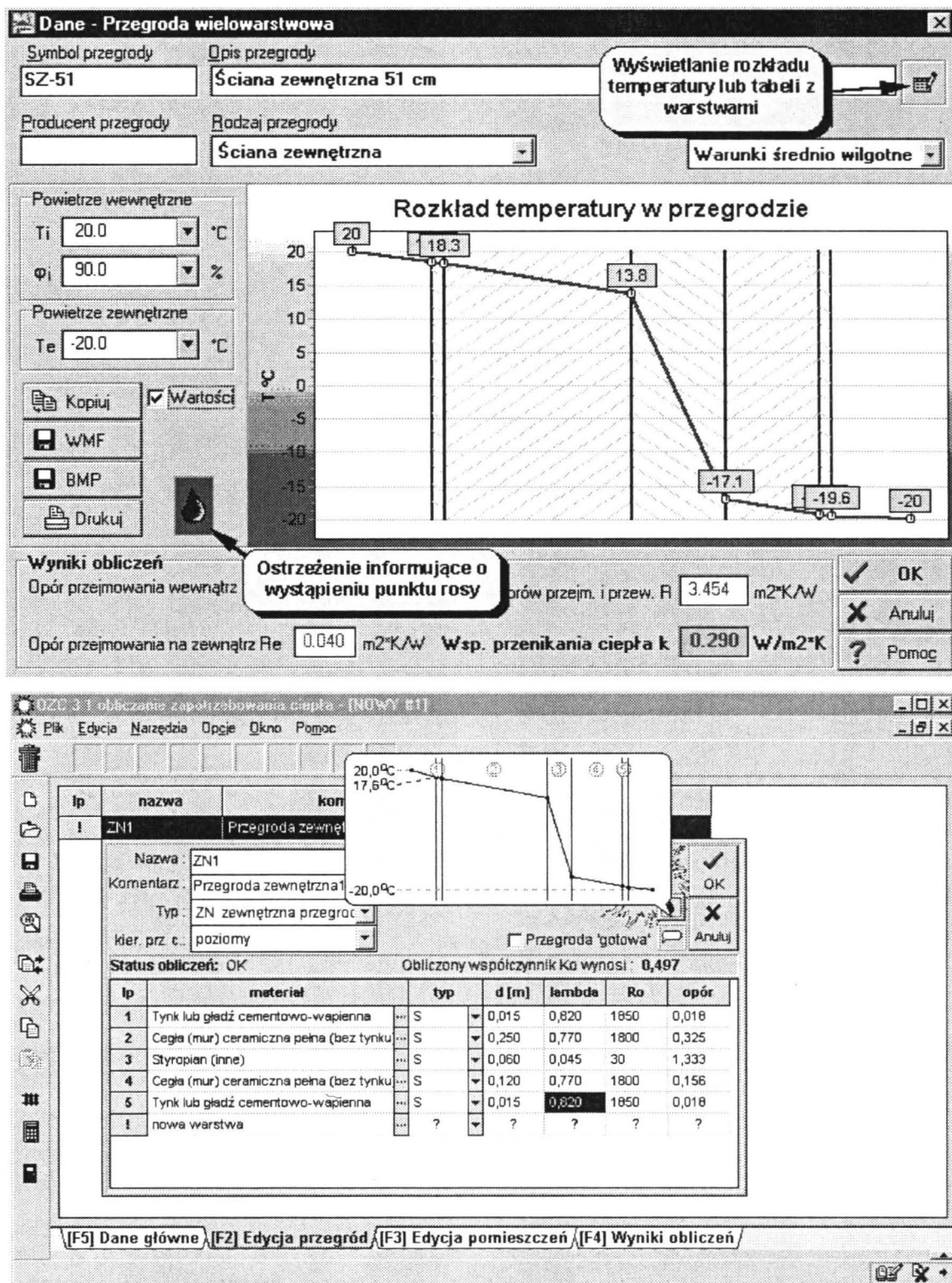
5. GRAFICZNY INTERFEJS UŻYTKOWNIKA

Ponieważ typowy program symulacyjny składa się z 3 modułów – preprocesora, procesora i postprocesora szczególne znaczenie w kontekście interfejsu użytkownika ma optymalne wykorzystanie go podczas wprowadzania danych (preprocesor) oraz prezentacji wyników (postprocesor) – Rysunek 7.



Rys. 7. Struktura typowego programu symulacyjnego.

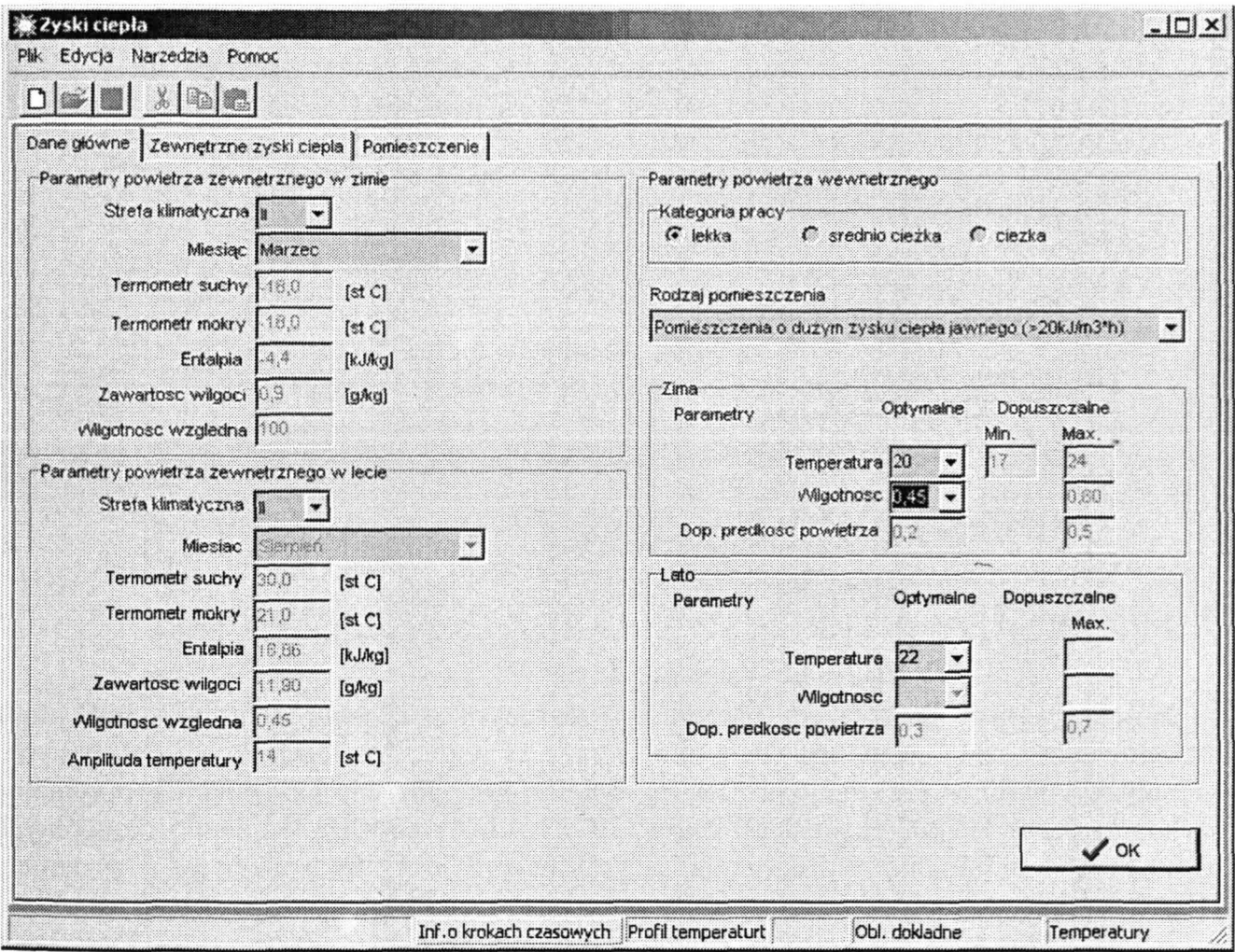
6. PRZYKŁADY PROSTYCH INTERFEJSÓW APLIKACJI SYMULACYJNYCH



Rys. 8. Obliczenia termiczne przegród są obecnie szeroko wykorzystywane w codziennym projektowaniu.

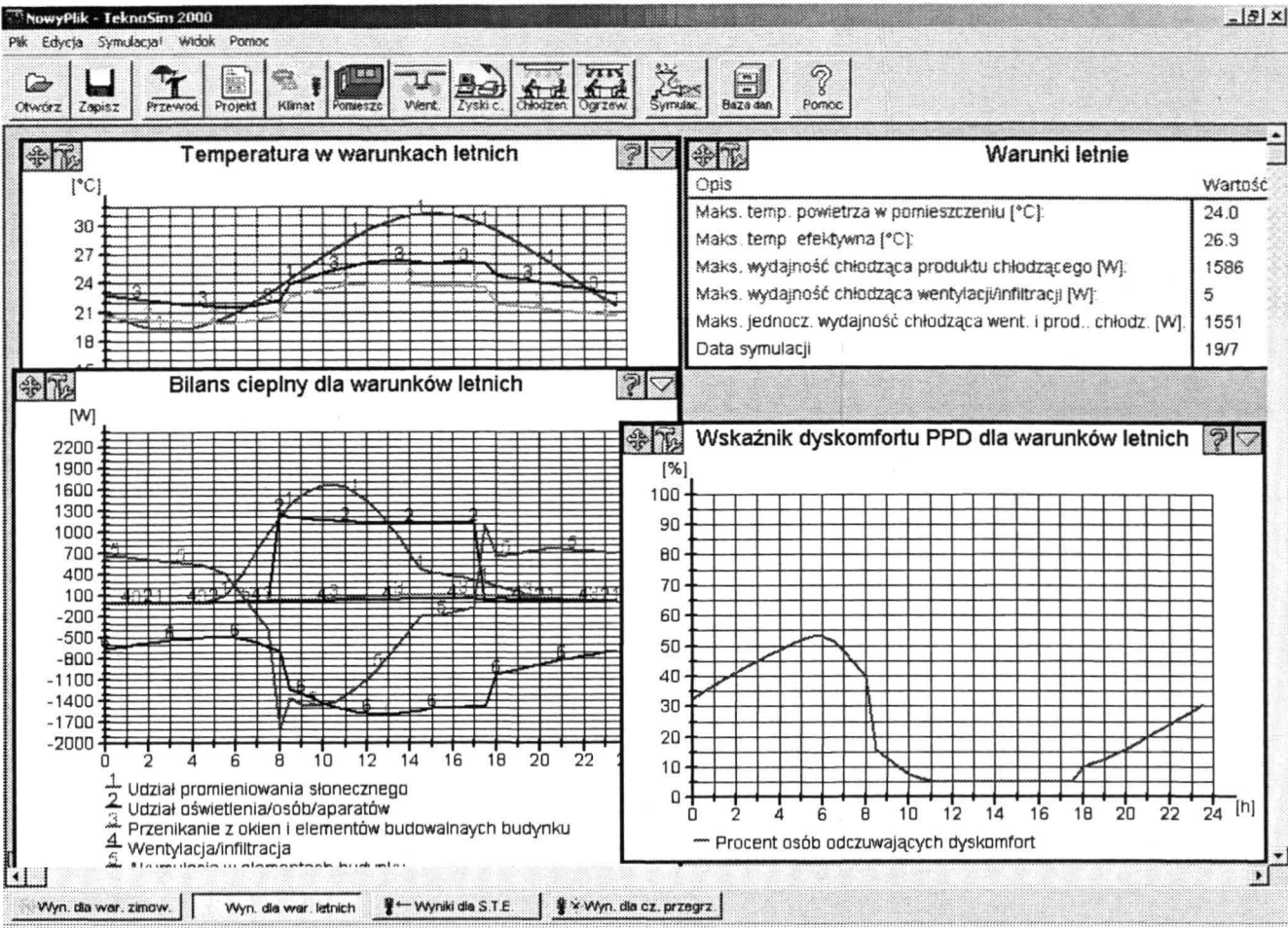
Szerokie zastosowanie znalazły w ostatnich latach programy symulacyjne umożliwiające modelowanie zjawisk związanych z przepływami oraz wymianą ciepła i energii. Do najprostszych z nich, pozwalających na modelowanie zjawisk występujących w przegrodach budowlanych projektanci zdążyli się już przyzwyczaić. Programy te są na ogół aplikacjami pisanymi pod kątem końcowych użytkowników, bazują zatem na założeniach ogólnych środowiska Windows, wykorzystując dostępne dla programistów technologie informatyczne, w postaci elementów okienek, takich jak wycinki edycyjne, listy rozwijalne, przyciski, pola typu combo i szereg obiektów typu ActivX (Rysunek 8).

Aplikacje posiadające nieco bardziej złożone modele, tworzone na uczelniach posiadają na ogół nieco prostszy interfejs, niemniej wykorzystują bardziej skomplikowany procesor. Należą do nich na przykład programy, które pozwalają na obliczenia i symulacje uwzględniające dynamikę zjawisk zachodzących w przegrodach. Pozwala to na pełniejsze wykorzystanie ich do akumulacji ciepła, a zatem i do precyzyjniejszego wyznaczenia obciążeń cieplnych pomieszczeń (Rysunek 9).



Rys. 9. Dynamika zjawisk cieplnych w przegrodach budowlanych pozwala na precyzyjniejsze oszacowanie obciążeń cieplnych pomieszczeń.

Coraz częściej wykorzystuje się programy symulacyjne do obliczeń zysków i strat ciepła w pomieszczeniach. Programy te mogą bazować na złożonych modelach symulacyjnych, a zatem precyzyjniej opisywać niniejsze zjawiska przy wykorzystaniu bardzo prostego dla użytkownika sposobu wprowadzania danych i prezentacji wyników (Rysunek 10).



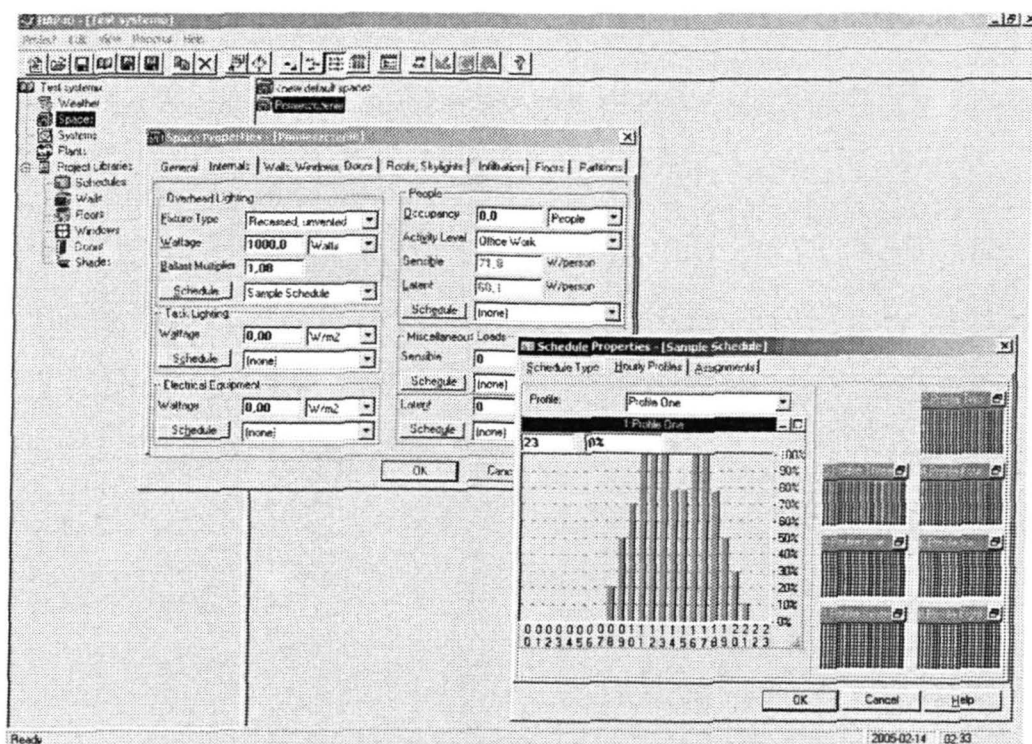
Rys. 10. Symulacja zysków ciepła w pomieszczeniach.

7. PRZYKŁADY INTERFEJSÓW BARDZIEJ ZŁOŻONYCH APLIKACJI SYMULACYJNYCH

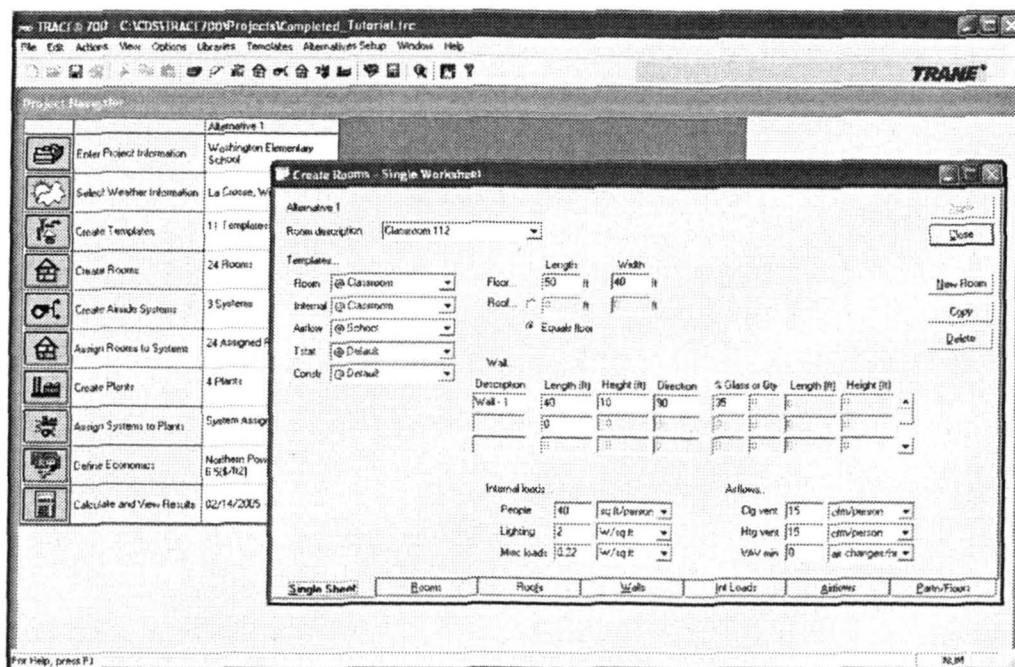
Najciekawszym, a zarazem najbardziej złożonym sposobem symulacji jest próba modelowania całej struktury budynku wraz z jego instalacjami wentylacyjnymi, klimatyzacyjnymi i grzewczymi. Tak kompleksowe podejście pozwala na optymalny wybór systemu HVAC dla całego budynku, właściwe zwymiarowanie poszczególnych elementów systemu oraz wyznaczenie zużycia energii przez budynek wraz z systemem HVAC.

W tej grupie aplikacji można wyodrębnić dwie główne grupy programów. Pierwszą z nich reprezentują aplikacje przeznaczone dla inżynierów, wspomagające prace związane z projektowaniem i eksploatacją systemów. Druga natomiast ma bardziej charakter konsultingowy pozwalając na nieco bardziej złożone, lecz i bardziej pracochłonne i czasochłonne analizy.

Do programów wykorzystywanych na świecie przez inżynierów zaliczyć można przede wszystkim programy HAP E-20 II firmy Carrier (Rysunek 11, 13, 16) i Trace 700 firmy Trane (Rysunek 12, 14, 15). Cechuje je znaczna dbałość o interfejs użytkownika przy zachowaniu daleko idącej funkcjonalności. Programy te pozwalają na wprowadzenie danych o budynku – geometria, architektura, materiały.



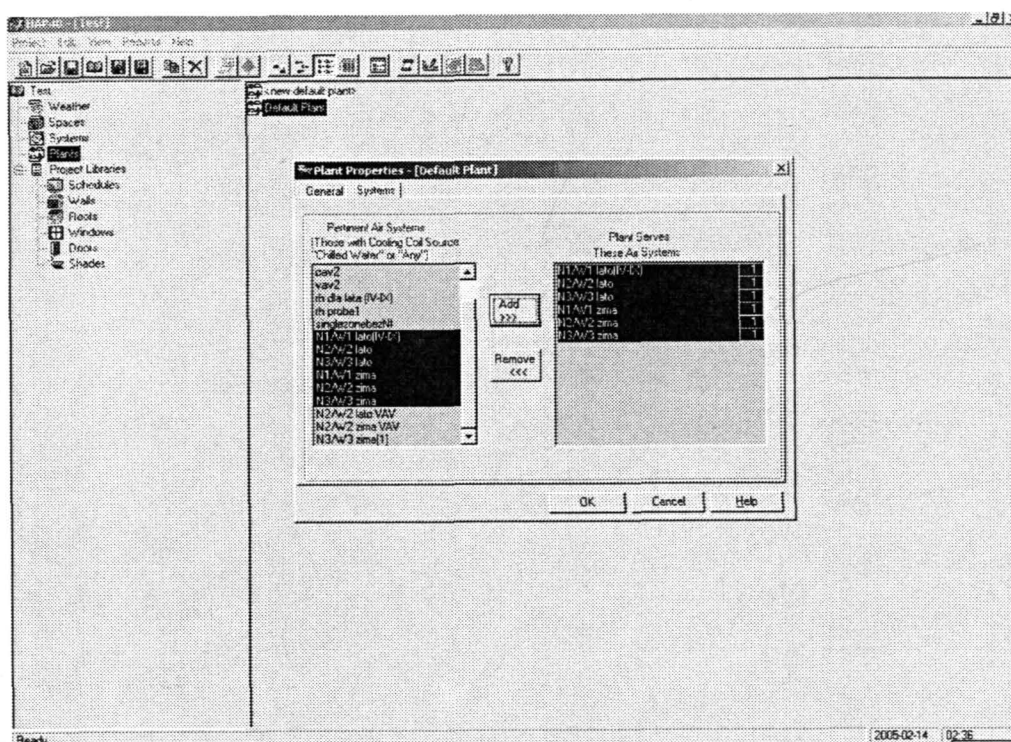
Rys. 11. Wprowadzanie danych o geometrii układu wraz ze sposobem wykorzystania pomieszczeń.



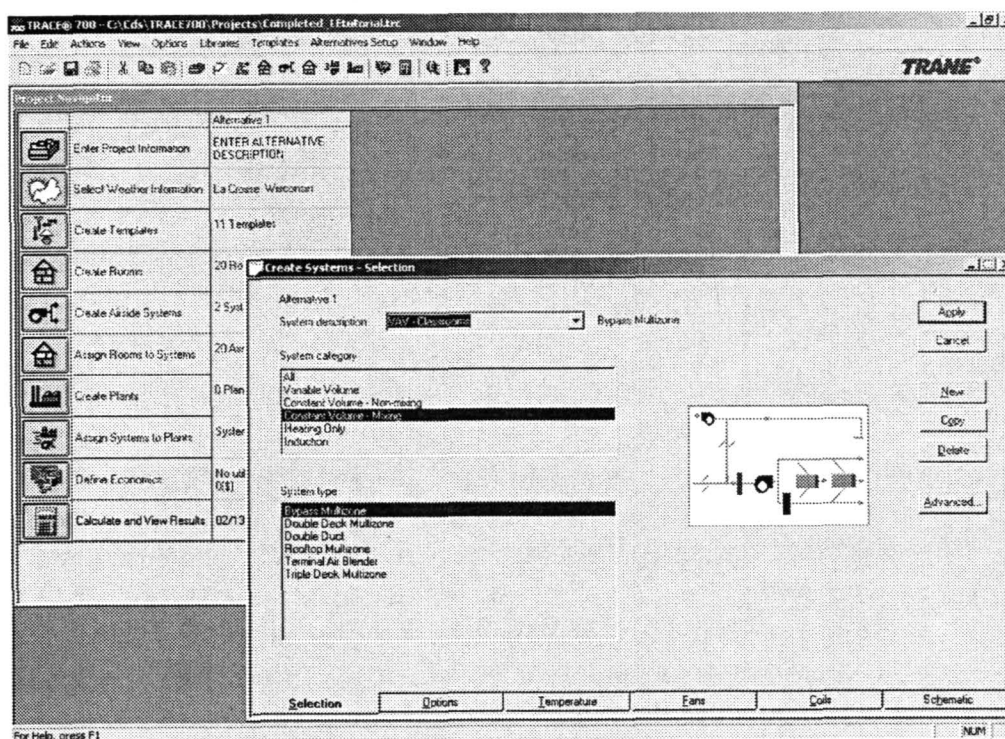
Rys. 12. Dane do kompleksowego bilansu cieplnego pomieszczenia.

Na podstawie szczegółowych danych dotyczących poszczególnych pomieszczeń możliwe jest określenie kompleksowego bilansu cieplnego pomieszczenia

Kolejnym krokiem jest zdefiniowanie stref, będących grupą pomieszczeń które są obsługiwane przez wybrany system HVAC.



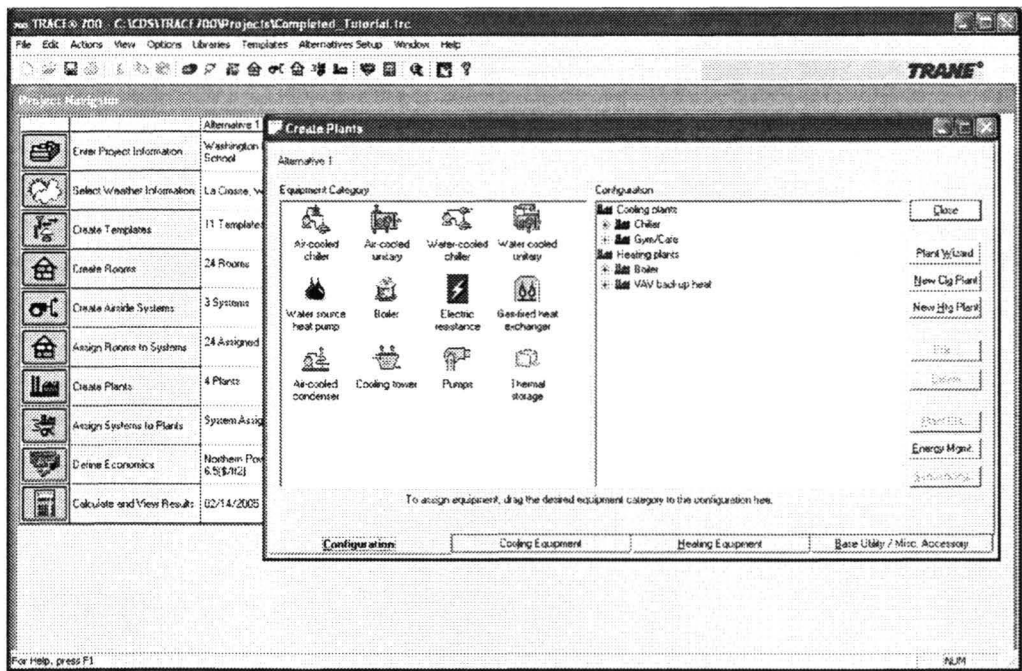
Rys. 13. Definiowanie stref budynku.



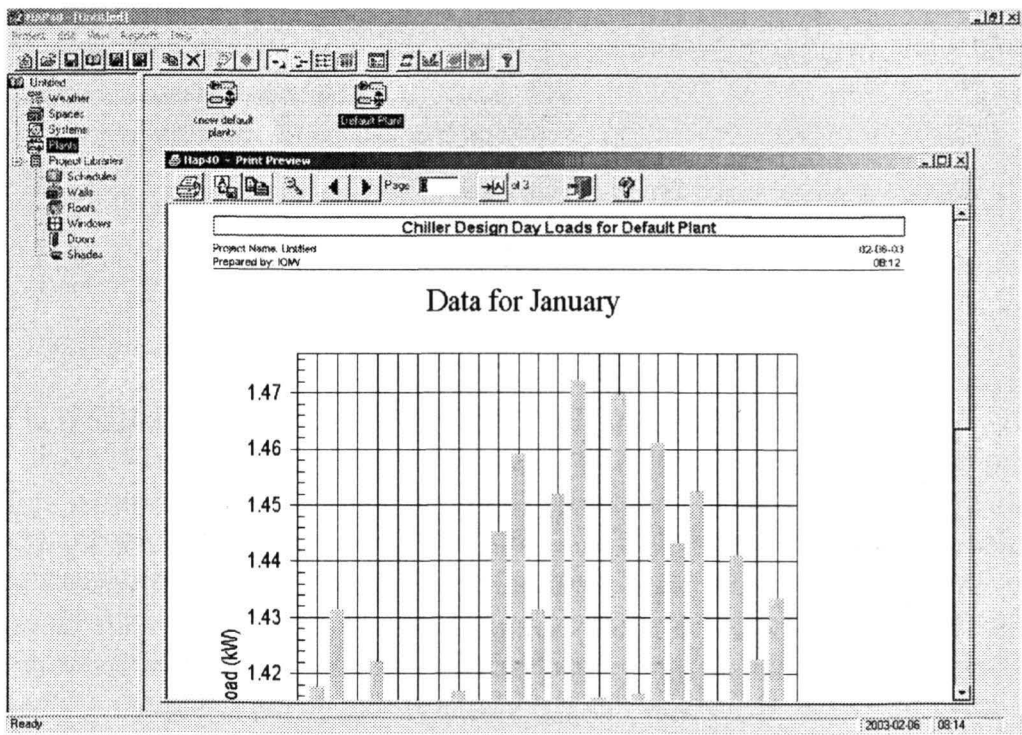
Rys. 14. Wybór systemu klimatyzacji.

Dla poszczególnych stref wybierany jest system wentylacyjny i klimatyzacyjny. Ogromną zaletą powyższych aplikacji jest możliwość wyboru systemu z bogatej biblioteki dostępnych systemów HVAC oraz precyzyjne opisanie jego założeń ilościowych i jakościowych.

Systemy zostają połączone w grupy systemów wraz z określeniem instalacji związanych, np. źródłem ciepła, źródłem chłodu, instalacją chłodniczą i instalacją grzewczą.



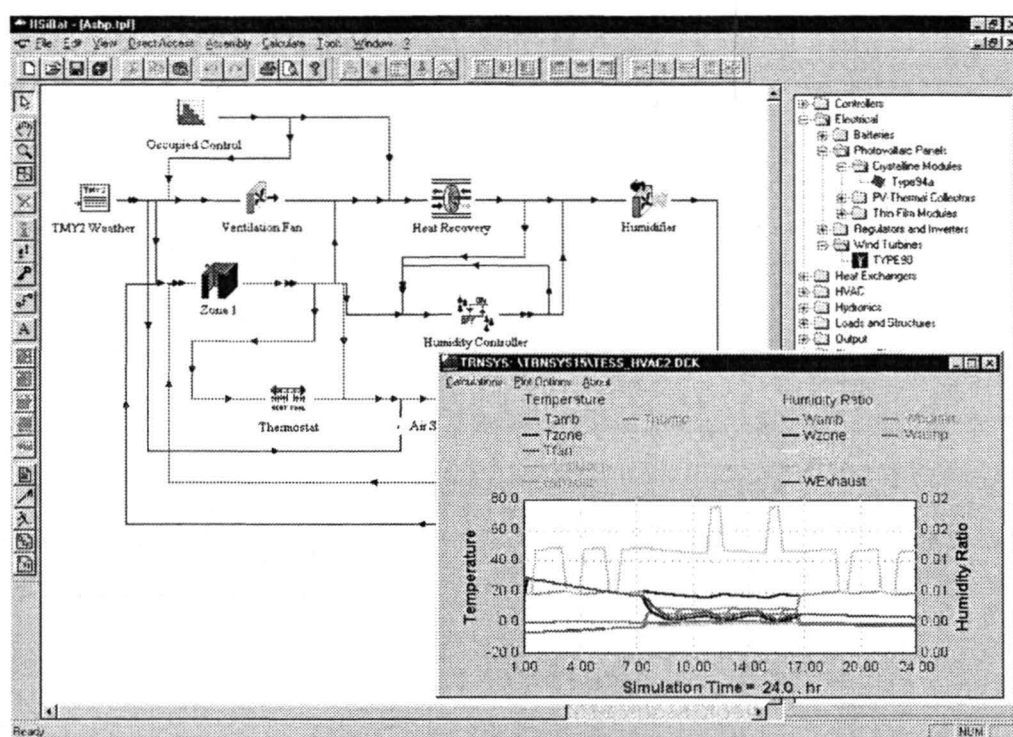
Rys. 15. Połączenie systemu klimatyzacji do systemów ogrzewania i chłodzenia.



Rys. 16. Obciążenie chiller’a jako elementu kompleksowej instalacji HVAC.

Dla tak kompleksowo opisanego systemu przeprowadzane zostają symulacje i obliczenia wymiarujące, pozwalające na uzyskanie pełnej informacji o zużyciu energii przez poszczególne urządzenia, elementy i całe systemy. Za pomocą złożonych systemów możliwa staje się zatem ocena funkcjonalna całego systemu jak i warunków dotrzymania projektowanych parametrów w poszczególnych strefach czy pomieszczeniach. Należy podkreślić, iż prezentowane powyżej programy tworzą kanon obliczeń inżynierskich w szeregu krajach na świecie i dla potrzeb współczesnej inżynierii wentylacyjno – klimatyzacyjnej stanowią znakomite rozwiązanie wspomagające prace projektowe.

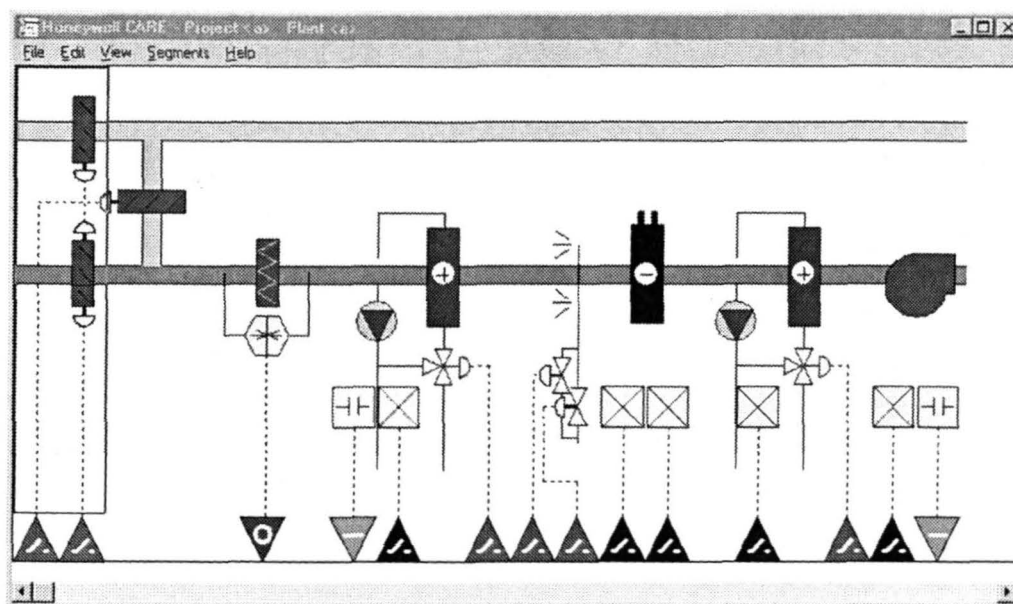
Nieco bardziej zaawansowane modele wykorzystujące symulacje poszczególnych elementów systemu wykorzystywane są przez programy mające charakter bardziej konsultingowy. Przy wykorzystaniu poniższych aplikacji możliwe jest wykonanie symulacji z uwzględnieniem bardzo szczegółowych danych, w tym funkcjonowania dynamicznego urządzeń i elementów oraz układów automatyki i sterowania. Przykładem programu tej grupy jest Trnsys (Rysunek 17).



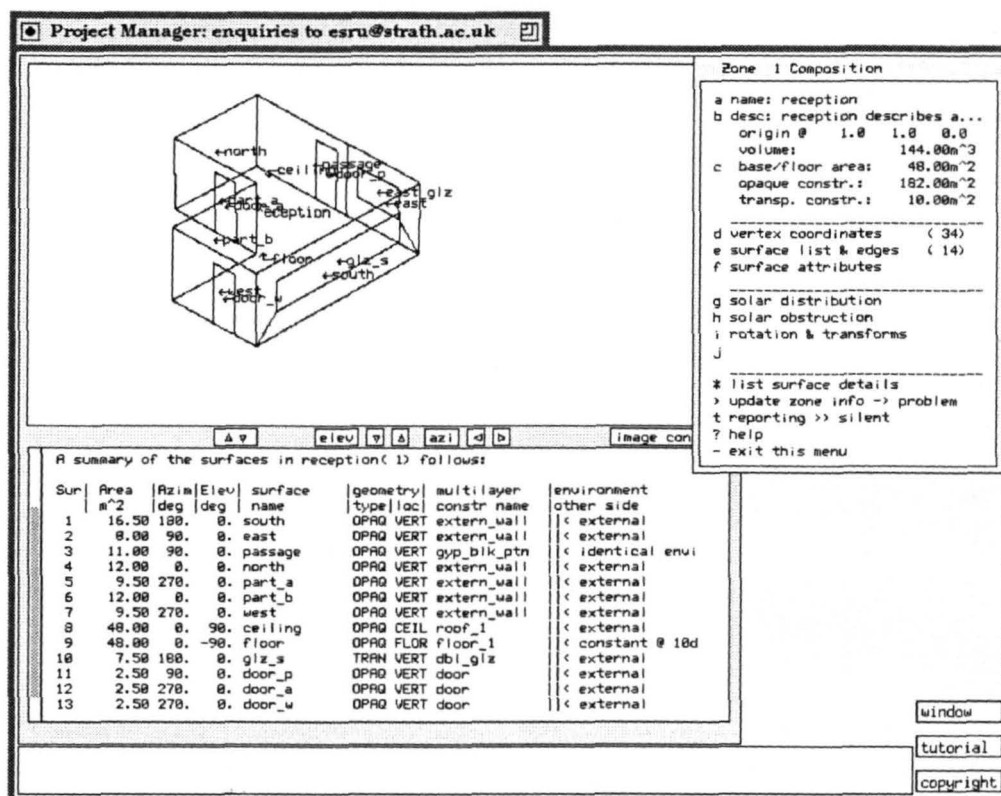
Rys. 17. Modelowanie pracy poszczególnych urządzeń systemu wentylacji i klimatyzacji.

Działanie systemu wentylacji i klimatyzacji jest ściśle związane z funkcjonowaniem układu automatycznej regulacji i sterowania. Ważnym w tym kontekście staje się zatem możliwość symulowania projektowanego układu automatyki zastosowanego w konkretnym rozwiązaniu projektowym (Rysunek 18).

Od połowy lat 80-tych należy wskazać na dynamiczny rozwój narzędzi symulacyjnych umożliwiających opis charakterystyki cieplnej całego budynku wraz z jego instalacjami. Programy te pozwalają na opis funkcjonowania całego budynku, jego strefy, poszczególnych pomieszczeń ale także poszczególnych elementów tych pomieszczeń np. obudowy, ścian itp. Do tak przygotowanej struktury geometrycznej wprowadzane są dane dotyczące systemów w tym wentylacji, klimatyzacji i ogrzewania. Całość symulacji przeprowadzana jest zatem dla pełnego obiektu wraz z instalacjami.



Rys. 18 .Modelowanie pracy układu automatyki.

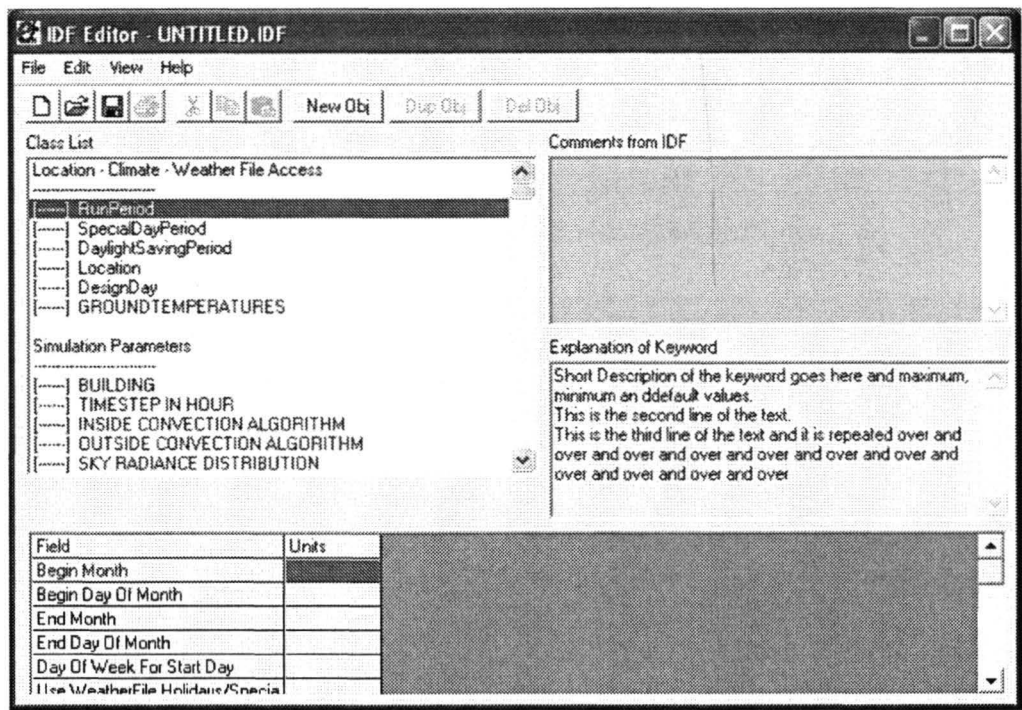


Rys. 19. Modelowanie zjawisk energetycznych w budynku – ESP-r.

Ta grupa programów powstała na bazie rozwijanych w ośrodkach akademickich najbardziej zaawansowanych modeli wchodzących w skład procesorów programów. Największy nacisk jest zatem kładziony na weryfikację procesora, przy stosunkowo uproszczonym interfejsie użytkownika. Autorzy wychodzą bowiem z założenia, iż jeżeli program będzie posiadał wiarygodne jądro obliczeniowe możliwe będzie pozyskanie zewnętrznej firmy tworzącej oprogramowanie, która zapewni aktualny interfejs do

wprowadzania danych i prezentacji wyników. W tej grupie programów znaleźć możemy aplikacje nieco prostsze, takie jak Energy-10, Ener-Win, Solar-5, Energy Scheming oraz programy bardzo złożone. Do najważniejszych aplikacji tej grupy można zaliczyć BLAST, DOE 2, EnergyPlus, ESP-r (Rysunek 19).

Przykładem opisanego powyżej podejścia do tworzenia oprogramowania jest aplikacja EnergyPlus, w której interfejs został ograniczony do minimum (Rysunek 20). Za pomocą dołączonego do pakietu edytora możliwe jest bowiem jedynie edytowanie danych wprowadzanych do programu, co ma zastąpić pracę z edytorem tekstu, w formacie którego owe dane są w programie przechowywane.

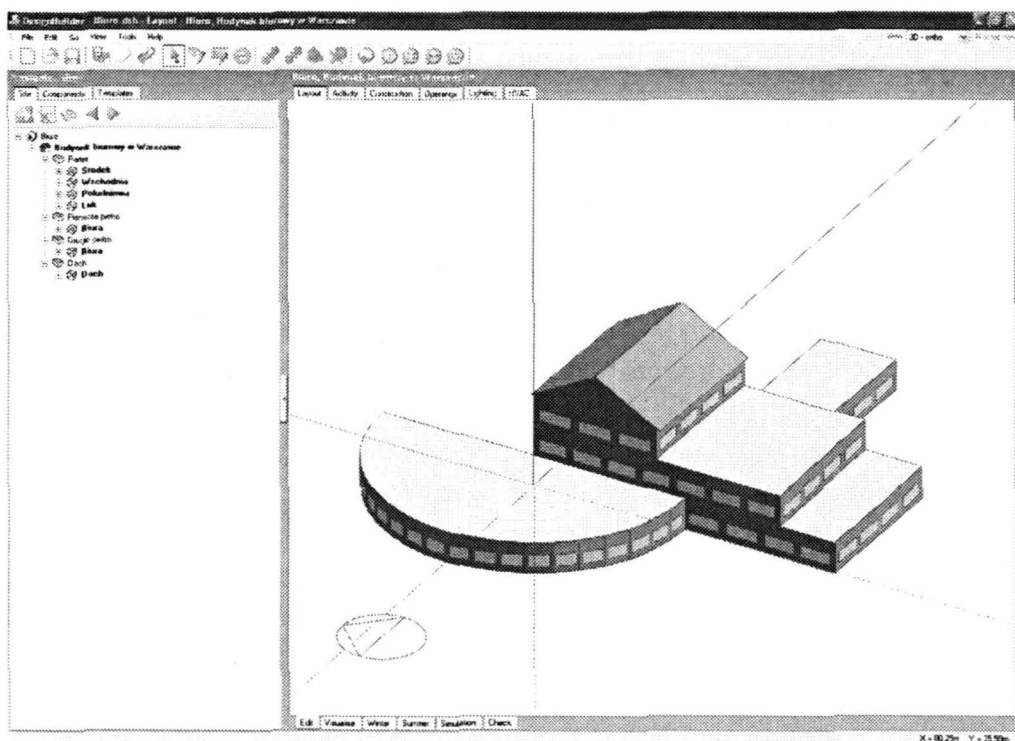


Rys. 20. Modelowanie zjawisk energetycznych w budynku – EnergyPlus.

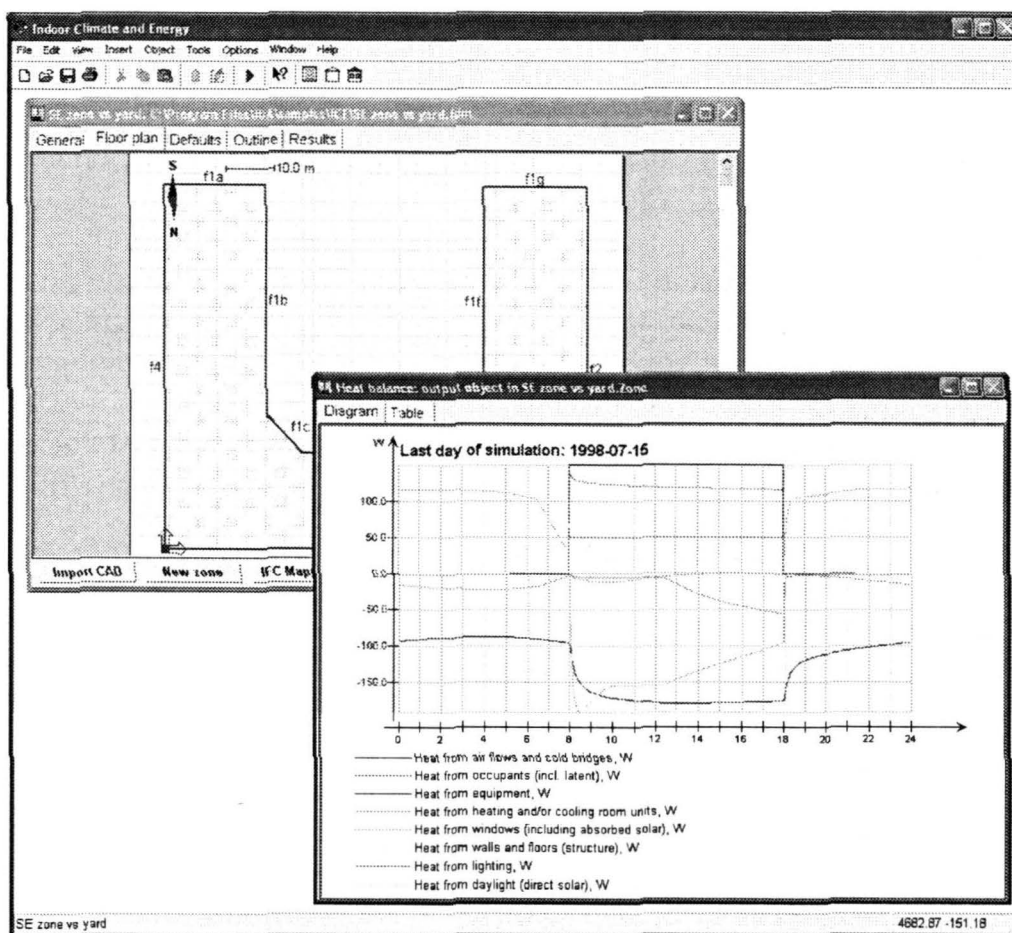
Ponieważ programy te charakteryzują się bardzo dobrymi modelami analitycznymi, a zarazem niezbyt wygodnym interfejsem użytkownika, szereg z nich zostało uzupełnionych komercyjnymi programami do wprowadzania danych i prezentacji wyników.

8. PRZYKŁADY NAJNOWSZYCH INTERFEJSÓW APLIKACJI SYMULACYJNYCH

Najbardziej zaawansowane projekty informatyczne zakładają, iż licząc na wysoką sprzedaż pakietu, a co za tym idzie i szerokie pole zastosowań niezbędnym staje się wyposażenie dobrego modelu obliczeniowego w funkcjonalny interfejs użytkownika (Rysunek 21). Część z nich jest jedynie nakładkami na uznane programy obliczeniowe (np. EnergyPlus), inne zaś są kompletnymi aplikacjami pisanymi przez jeden zespół. Są to obecnie najbardziej zaawansowane programistycznie aplikacje, zawierające moduły prostego wprowadzania geometrii budynku, wizualizacji bryły, wyboru składowych instalacji i systemów wewnętrznych oraz pełnego raportowania wyników symulacji (Rysunek 22). Aplikacje powyższe stanowią nowy krok w rozwoju programów i wytyczają kierunek zapewniający jeszcze szersze wykorzystanie ich przez szerokie grono użytkowników.



Rys. 21. Interfejsy do programów symulacyjnych.



Rysunek 22 – Kompleksowa analiza budynku wraz z systemem HVAC

9. PODSUMOWANIE

Współczesne narzędzia symulacyjne pozwalają na precyzyjne wyznaczenie zużycia energii w budynku. Ogromną zaletą stosowania programów symulacyjnych staje się możliwość ilościowej lub jakościowej analizy przyjętych rozwiązań już na etapie projektowania. Także możliwość otrzymania zwiększonej dokładności analiz stanowi ich ogromny atut. Dodatkowo możliwość wyboru optymalnego rozwiązania poprzez sprawdzenie różnych przypadków i wybór odpowiedniego z nich stanowi pokusę stosowania programów symulacyjnych w projektowaniu. Uzasadnieniem stosowania tych programów będzie poza ich dokładnością i szybkością dokonywanych analiz także łatwość wprowadzania danych i prezentacji wyników. Oznacza to zatem położenie nacisku na funkcjonalny interfejs użytkownika, co w połączeniu z właściwym modelem obliczeniowym stanowić będzie w wielu przypadkach o sukcesie poszczególnych programów oraz o ich powszechniejszym niż do tej pory wykorzystaniu. Pojawiające się obecnie aplikacje zaczynają wykorzystywać nowe technologie informatyczne, dzięki czemu możemy je traktować jako zwiastuny nadchodzącego nowego funkcjonalnego standardu.

W referacie wykorzystano w charakterze przykładów programy: Sankom – program Audytor OZC, Instalsoft - program OZC, Marek Prymon – program Zyski ciepła i Termokalkulator, Lindab – program TeknoSim, Carrier – program E20-ii, Trane – program TRACE, University of Wisconsin – program TRNSYS, Honeywell – program CARE, University of Strathclyde, Glasgow – program ESP'r, United States Department of Energy – program Energy Plus, Design Builder Ltd – program Design Builder, Equa – Simulation Technology Group – program IDA ICE.

Niniejszym serdecznie dziękuję firmom i osobom, które udostępniły przedstawiane programy, bez których postanie prezentowanych symulacji, oraz niniejszego referatu byłoby niemożliwe. W pracy wykorzystano materiały, badania i analizy autora. Zestawienie programów, jak również częściowo okienka programów pochodzą z projektu „Wirtualna Wentylacja”. Wszystkie nazwy handlowe i towarów występujące w referacie są znakami towarowymi zastrzeżonymi lub nazwami zastrzeżonymi odpowiednich firm odnośnych właścicieli.

Rozwiązania energooszczędne we współczesnym budownictwie szklarniowym

Sławomir Grabarczyk

Politechnika Warszawska, Zakład Instalacji Budowlanych i Fizyki Budowli

1. WPROWADZENIE

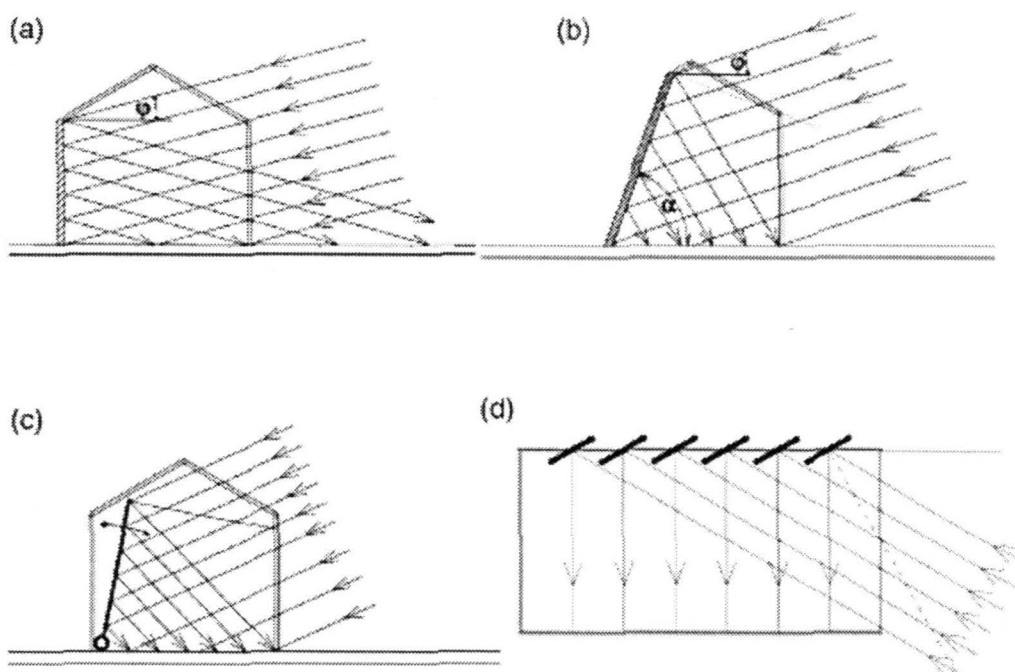
Szklarnie ze względu na właściwości przegród zewnętrznych są najbardziej energochłonnymi obiektami budowlanymi. Zapewnienie właściwych parametrów mikroklimatu koniecznych do prowadzenia całorocznej produkcji pod osłonami wymaga stosowania rozwiązań ograniczających straty ciepła. Analiza składników strat ciepła w szklarni wskazuje, że główne działania w kierunku jego ograniczenia dotyczą kształtowania bryły budynku, poprawy właściwości termoizolacyjnych przegród zewnętrznych, ograniczenia wpływu mostków termicznych, ograniczenia wymiany powietrza przez nieszczelności przegród zewnętrznych oraz poprawy akumulacyjności ciepła w tego typu obiektach. Szklarnie eksploatowane w warunkach klimatu umiarkowanego często wyposażane są w rozwiązania energooszczędne o charakterze podwójnym, tzn. ograniczającym straty ciepła w miesiącach zimowych oraz wpływających na poprawę kształtowania warunków mikroklimatu w okresie letnim.

Na podstawie literatury i własnych badań przedstawiono przykładowe rozwiązania energooszczędne, stosowane we współczesnych obiektach szklarniowych.

2. BRYŁA BUDYNKU SZKLARNIOWEGO I JEGO OTOCZENIE

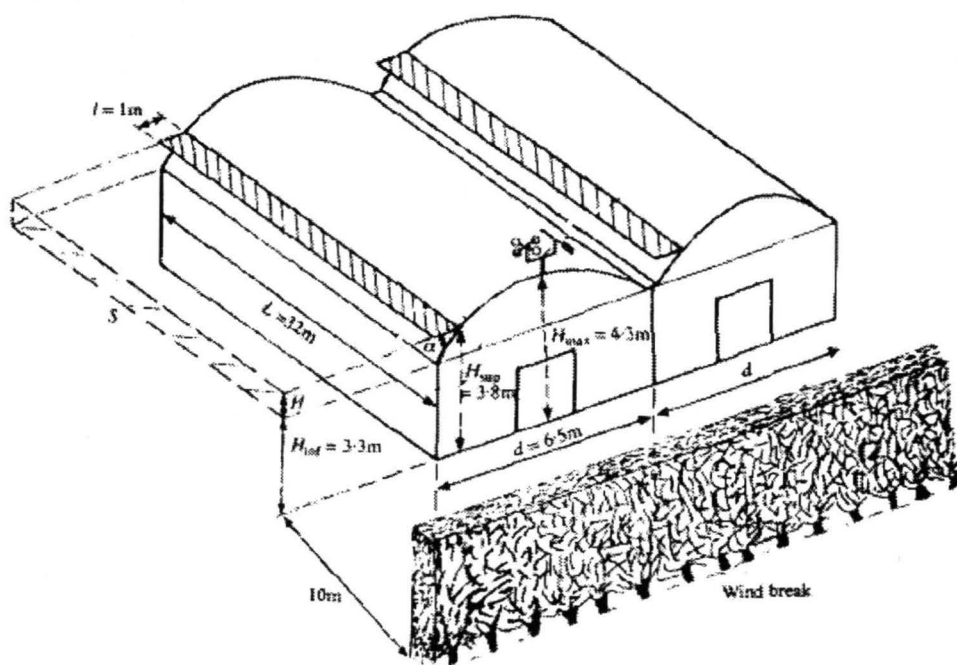
Klasyczna bryła budynku szklarniowego ulega przeobrażeniom, głównie z uwagi na możliwość kształtowania jej pod względem oszczędności energii cieplnej. Przedstawione poniżej (rys. 1) rozwiązania dotyczą szklarni z przegrodą odbijającą promieniowanie słoneczne, a tym samym zwiększającą natężenie oświetlenia powierzchni uprawnej i ograniczającą straty ciepła od strony północnej.

Istotne znaczenie z punktu widzenia energooszczędności obiektu szklarniowego ma jego lokalizacja względem przeszkód terenowych, stron świata oraz sąsiednich obiektów. Zabudowania lub drzewa rzucające cień nie powinny znajdować się w bezpośrednim sąsiedztwie szklarni, za wyjątkiem kierunku północnego. Wskazane jest usytuowanie szklarni na kierunku wschód-zachód, gdyż taki obiekt otrzymuje w warunkach zimowych znacznie większą ilość energii promieniowania słonecznego.



Rys. 1. Szklarnia pojedyncza ze stałą pionową (a) lub nachyloną (b) ścianą o dużym współczynniku odbicia, c) ściana o dużym współczynniku odbicia ze zmiennym nachyleniem, d) ściana z żaluzjami o dużym współczynniku odbicia [1].

Niekorzystne jest lokalizowanie szklarni na terenach wietrznych i na nieosłoniętych wzniesieniach, ponieważ prędkość wiatru w istotny sposób wpływa niekorzystnie na zapotrzebowanie na energię cieplną. Rozwiązaniem ograniczającym wpływ niekorzystnych warunków wietrznych jest ekran z roślin lub krzewów (rys. 2), którego odległość od szklarni nie powinna być zbyt duża, a jednocześnie nie powinien on rzucać cienia na szklarnię.



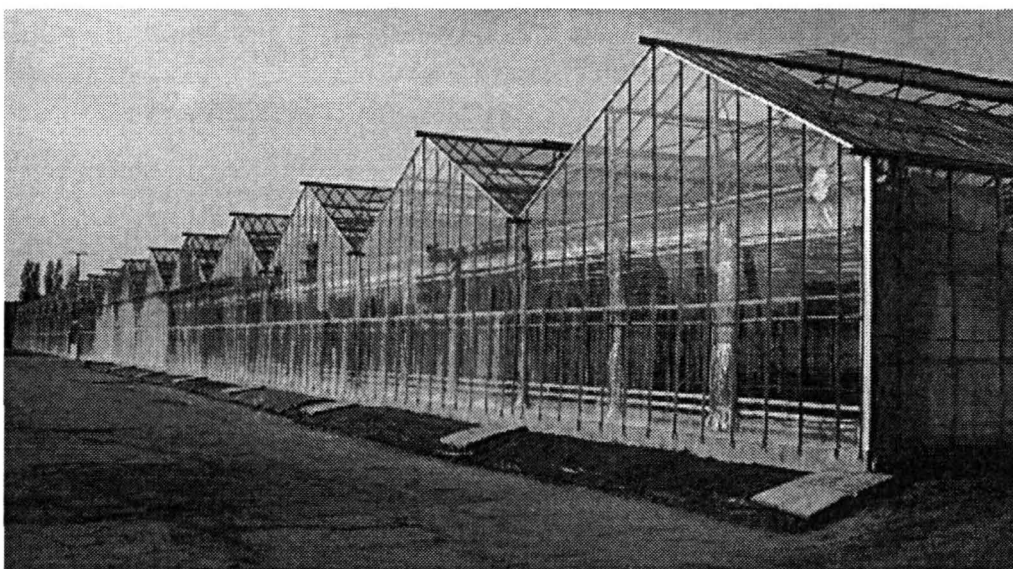
Rys. 2. Sztuczna osłona przed niekorzystnym oddziaływaniem wiatru [2].

Sąsiednie szklarnie powinny być usytuowane względem siebie tak, aby nie cieniowały się wzajemnie. Określenie zalecanych odległości jest zależne od lokalizacji szklarni i jej wysokości szklarni. Przykład usytuowania szklarni pojedynczych przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Przykładowe usytuowanie szklarni pojedynczych o orientacji E-W w gospodarstwie ogrodniczym: szerokość szklarni 20m, odstęp między sąsiednimi obiektami 12m.

Ograniczenie strat ciepła w szklarni jest możliwe poprzez zmniejszenie powierzchni przegród zewnętrznych, czyli budowę obiektu zblokowanego (rys. 4). Należy jednak zdawać sobie sprawę, że szklarnia taka musi być zaprojektowana do przeniesienia dodatkowych obciążeń związanych z możliwością wystąpienia opadów śniegu. Rozwiązaniem problemu jest również odpowiednie przewymiarowanie układu ogrzewania w celu topnienia śniegu zalegającego na połaci dachowej. Mając na uwadze powyższe, szklarnia zblokowana nie nadaje się do całkowitego jej wyłączenia z eksploatacji.



Rys. 4. Szklarnia zblokowana Debets Schalke.

Wysokość ścian bocznych nowych szklarni jest większa niż w starszych obiektach. Ma to na celu ułatwienie prac agrotechnicznych oraz wyższe usytuowanie ekranu wewnątrz szklarni. Zwiększa to kubaturę zamkniętą pod ekranem i ogranicza przestrzeń między przegrodą szklaną a dodatkową osłoną ruchomą. W wyniku tego mniejsze jest ryzyko

wystąpienia szoku termicznego podczas otwierania ekranu i napływu chłodnego powietrza do strefy uprawy roślin.

3. PRZEGRODY WIELOWARSTWOWE

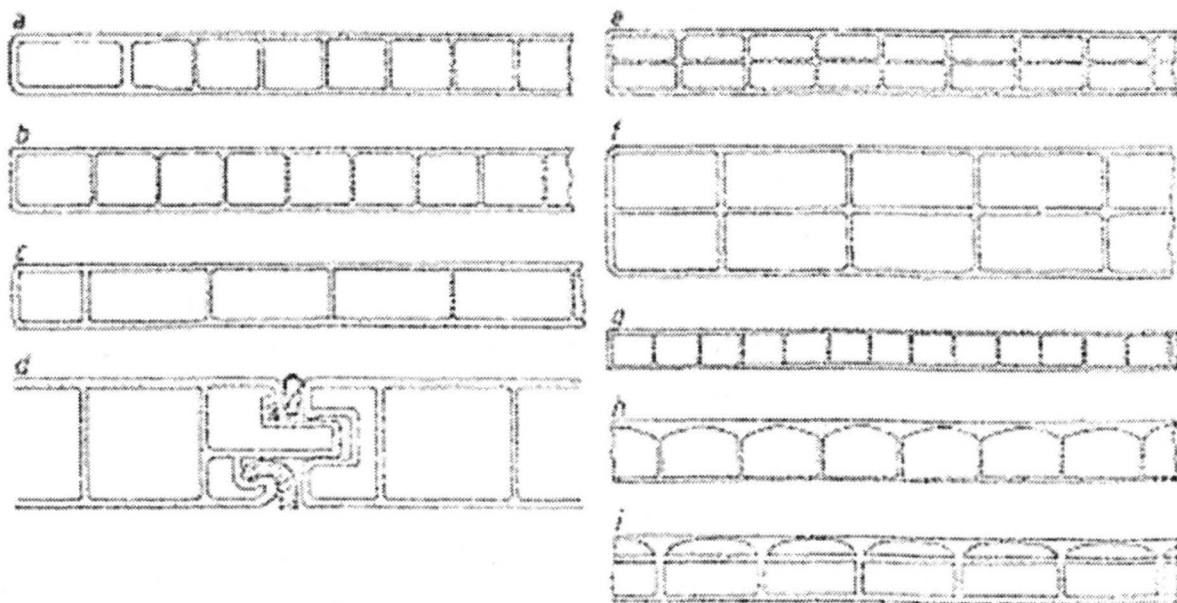
Możliwości zaoszczędzenia energii cieplnej w szklarni upatruje się głównie przez stosowanie wielowarstwowych pokryć przegród szklarni. W budynkach już istniejących jest to możliwe poprzez: wykonanie nowej wielowarstwowej przegrody, wymianę osłony pojedynczej na osłonę wielowarstwową lub montaż osłony dodatkowej.

Przegrody dodatkowe we współczesnych szklarniach, mając na uwadze aspekt energooszczędności i istotę funkcjonowania, można podzielić na dwa zasadnicze rodzaje:

- bierne – stanowiące najczęściej trwałe element konstrukcyjny przegrody (nieruchomy), np.: przegrody wielowarstwowe ze szła lub tworzyw sztucznych, dodatkowa osłona w postaci rozpiętej wewnątrz folii, folia pęcherzykowa na zewnątrz przegród pionowych;
- aktywne – funkcjonujące zależnie od zewnętrznych warunków klimatycznych, najczęściej z układem regulacji pogodowej, np.: ruchome folie, tkaniny lub włókniny o własnościach termoizolacyjnych (ekrany termoizolacyjne) zainstalowane wewnątrz lub na zewnątrz szklarni.

W obiekcie szklarniowym możliwe jest zastosowanie jednocześnie przegród biernych jak i aktywnych.

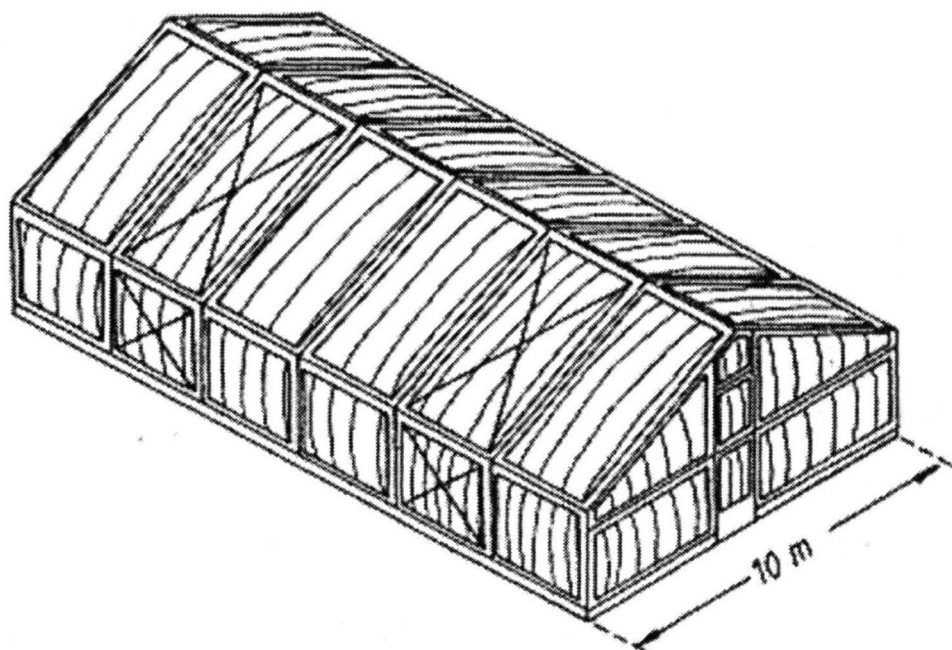
Podwójna warstwa szkła to jednocześnie podwójny ciężar przegrody zewnętrznej. Przy modernizacji obiektu szklarniowego konieczne jest sprawdzenie czy konstrukcja może przenieść znacznie większy ciężar od pierwotnie zakładanego [3]. Podwójne szkło to również zmniejszenie przepuszczalności promieniowania słonecznego o 5 - 7% w porównaniu ze szkłem pojedynczym [3]. Szersze zastosowanie znajdują coraz częściej płyty z tworzywa sztucznego będące lżejszymi i tańszymi materiałami, np.: polimetakrylan metylu, poliwęglan, polichlorek winylu (rys. 5).



Rys. 5. Przykłady dwu- i trójwarstwowych płyt z polimetakrylanu metylu PMMA i poliwęglanu PC stosowanych na pokrycia szklarni [3].

Pierwowzorem współczesnych wielowarstwowych pokryć szklarni są pojedyncze lub podwójne folie rozpinane wewnątrz szklarni dla zmniejszenia strat ciepła przez przegrodę zewnętrzną. Podwieszona folia spełnia swoje zadanie tylko wtedy, gdy jest dostatecznie szczelna ponieważ strumienie konwekcyjne nie docierają do wewnętrznej powierzchni pokrycia dachu. Korzystniejsze właściwości termiczne dla obiektu szklarniowego uzyskuje się poprzez zastąpienie zwykłej folii jako drugiej przegrody wewnątrz szklarni folią pęcherzykową aluminiowaną. Aluminiowana folia pęcherzykowa odbija wewnętrzną powierzchnią metalizowaną promieniowanie ciepłe wewnątrz szklarni. Folia taka ma zatem właściwości termoizolacyjne nawet wtedy, gdy nie jest szczelnie rozpięta. Aluminiowana folia pęcherzykowa nie może być jednak stosowana w ciągu dnia, ponieważ ogranicza w znacznym stopniu wpływ promieniowania słonecznego [3].

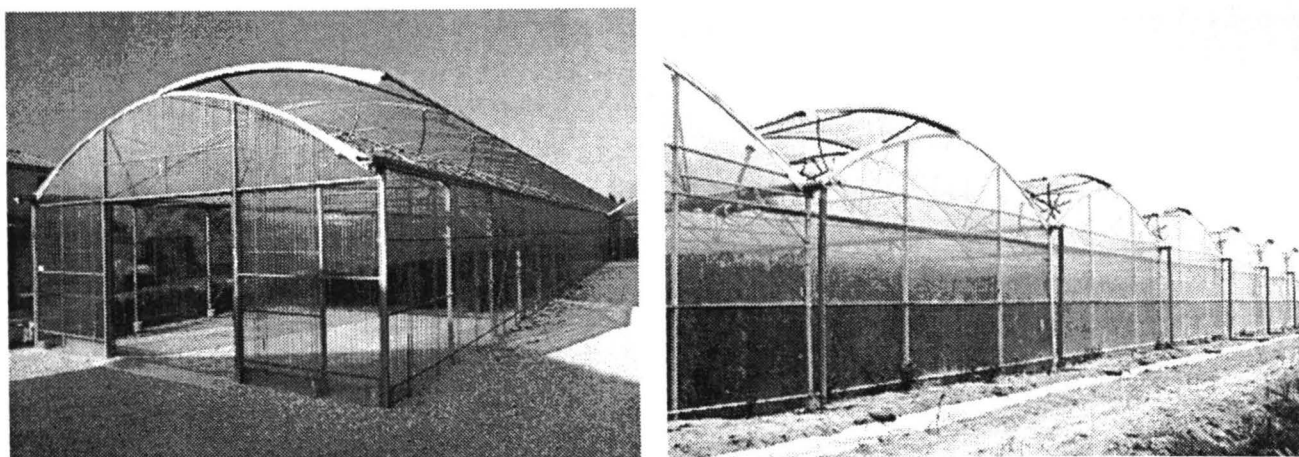
Przykładem konstrukcji o dobrych właściwościach termoizolacyjnych jest szklarnia o wielowarstwowej folii nadmuchiwanej powietrzem (rys. 6). Rozwiązanie to w istotny sposób ogranicza wpływ mostków termicznych oraz skutecznie zmniejsza oddziaływanie wiatru na wymianę powietrza.



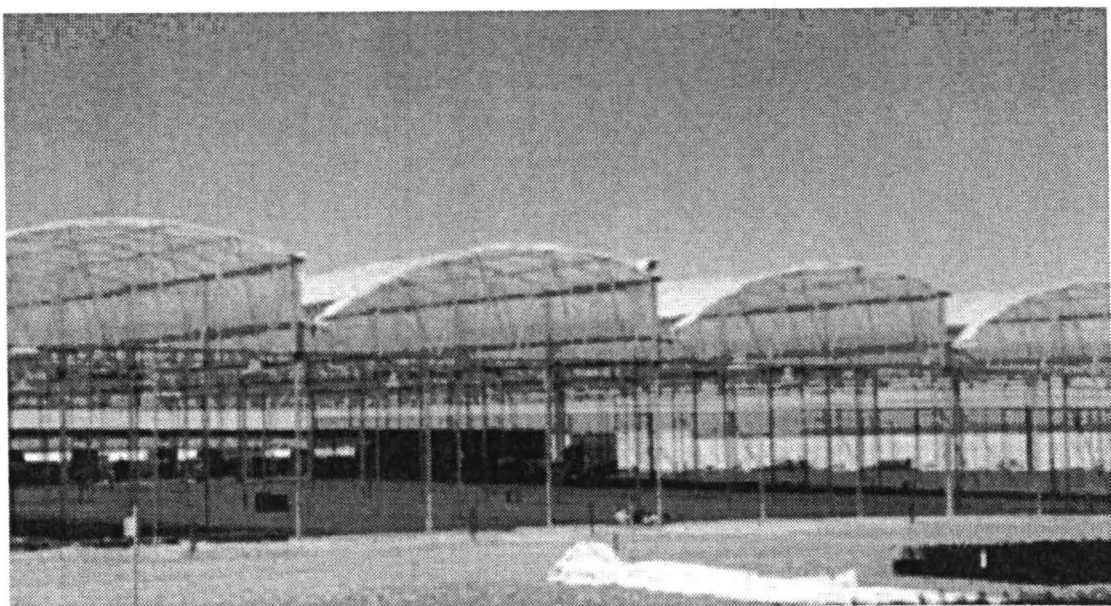
Rys. 6. Konstrukcja cieplarni umożliwiającą napinanie wielu warstw folii nadmuchanych powietrzem (Texlon) [3].

W obiekcie szklarniowym, w którym przewiduje się zainstalowanie dodatkowej osłony termoizolacyjnej, całkowita oszczędność energii w szklarni będzie zależna od udziału powierzchni izolowanej w całkowitej powierzchni osłony oraz od właściwości izolacyjnych zastosowanego materiału.

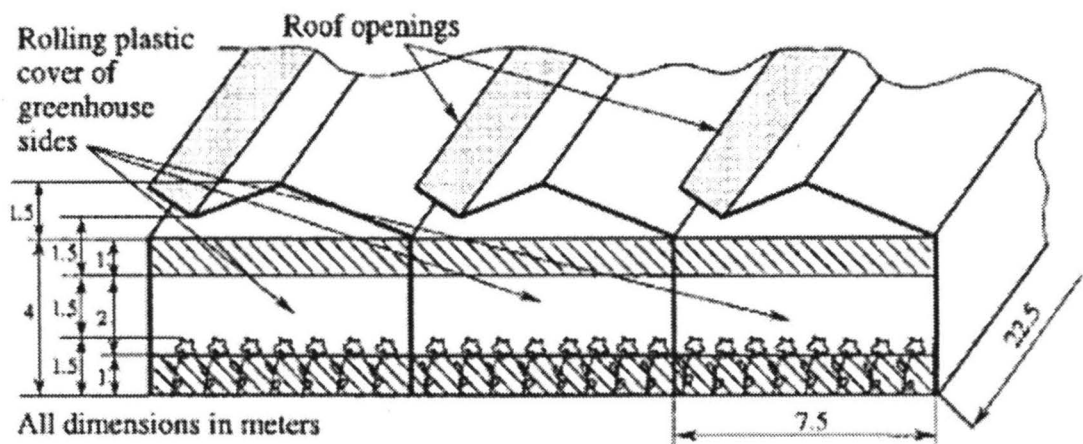
W warunkach cieplejszego klimatu szklarnie z pokryciami wielowarstwowymi muszą zapewnić właściwe wietrzenie podczas intensywnej penetracji promieniowania słonecznego. W tym celu zwiększa się powierzchnię wymiany powietrza poprzez otwieranie połaci dachowych (rys. 7) lub prowadzenie uprawy w tzw. obiekcie otwartym, bez przegród pionowych, które mogą być okresowo demontowane (rys. 8) lub zwijane (rys. 9).



Rys. 7. Bloki foliowy Richel z wietrznikiem w postaci ruchomej części dachu. Materiał na pokrycie połaci dachu - podwójna folia polietylenowa, ściany boczne z płyt poliestrowych, poliwęglanowych (po lewej) lub podwójnej folii (po prawej) [4].



Rys. 8. Prowadzenie uprawy szklarniowej w obiekcie „otwartym” [5].



Rys. 9. Naturalna wentylacja poprzez odsłanianie pokrycia szklarni [6].

4. EKRANY TERMOIZOLACYJNE

Ekrany termoizolacyjne są najbardziej zaawansowanymi technologicznie materiałami stosowanymi jako druga osłona wewnątrz lub na zewnątrz szklarni. Istnieje wiele typów ekranów zależnie od ich przeznaczenia i właściwości. Współczesne ekrany termoizolacyjne są budowane z następujących materiałów i ich kombinacji: folia poliestrowa; folia poliestrowa z folią aluminiowaną lub paskami czystego aluminium; tkanina akrylowa; tkanina akrylowa z folią aluminiowaną; tkanina akrylowa z folią poliestrową i folią aluminiowaną. Z praktycznego zastosowania materiałów na osłony termoizolacyjne ustalono, że powinny one spełniać następujące wymagania [3]:

- mieć małą przepuszczalność długofalowego promieniowania cieplnego;
- mieć małą zdolność wypromieniowania (mały współczynnik emisji);
- mieć dużą zdolność odbijania (duży współczynnik odbicia) długofalowego promieniowania cieplnego o długości fali przekraczającej 3000 nm;
- powinny być przepuszczalne dla pary wodnej i powietrza przy dużych szybkościach parowania z powierzchni uprawy i gruntu; wskazane jest natomiast, aby ekran przy małych szybkościach parowania był nieprzepuszczalny.

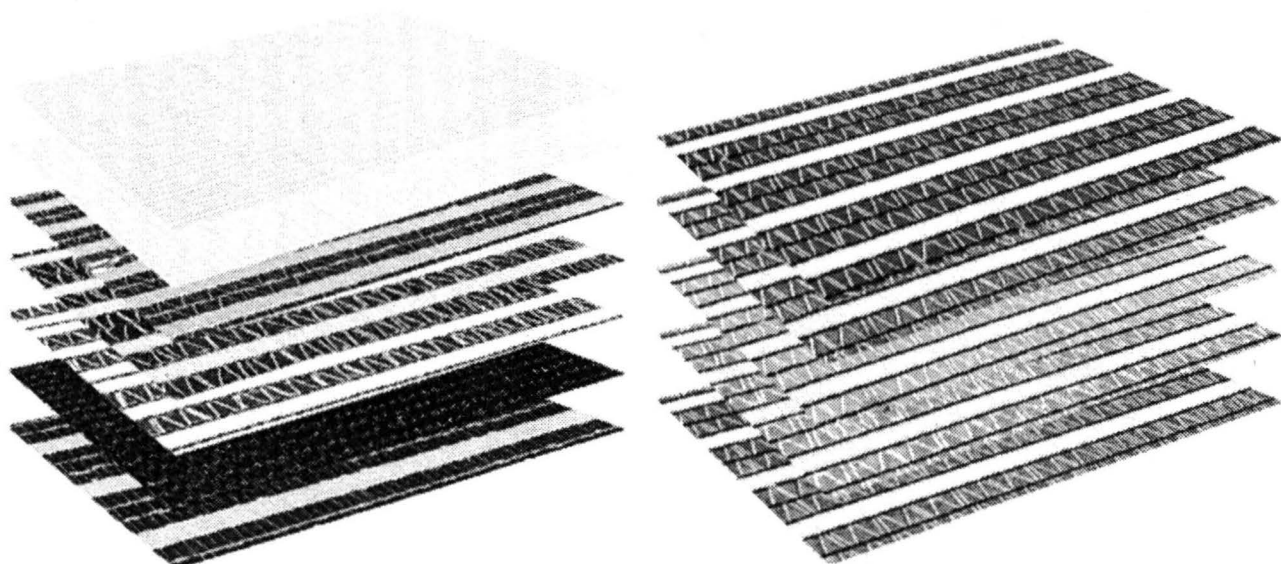
Parametrami charakteryzującymi ekran i podawanymi przez producentów są: oszczędność charakterystyczna E_e dla powierzchni izolacyjnej, określająca procentowe zmniejszenie strat ciepła przez przegrodę zewnętrzną szklarni, oraz druga wielkość to zacienienie Z_e oznaczająca procentowe zmniejszenie przez ekran wnikania promieniowania słonecznego do wnętrza szklarni.

Parametry E_e i Z_e przedstawiają możliwości ograniczenia wielkości strumieni strat ciepła i promieniowania słonecznego przy zastosowaniu danego typu ekranu. W warunkach polskich najczęściej stosowane są ekrany termoizolacyjne o podwójnych właściwościach, tzn. cieniujących i energooszczędnych. Daje to możliwość poniesienia niższych nakładów inwestycyjnych niż zainstalowanie dwóch różnych ekranów: ekranu cieniującego i ekranu energooszczędnego. Jednocześnie ekran cieniująco-energooszczędny ma wartości charakterystycznej oszczędności energii E_e i zacienienia Z_e będące kompromisem. Dla danej uprawy prowadzonej w szklarni pożądane byłoby więc z punktu widzenia energooszczędności, aby ekran termoizolacyjny miał właściwości:

- charakterystyczna oszczędność energii E_e o jak największej wartości ograniczającej maksymalnie straty ciepła w okresie zimowym;
- zacienienie Z_e dostosowane do pożądanego nasłonecznienia przy danej uprawie.

Szczelność montażu ekranów termoizolacyjnych w obiekcie szklarniowym zapobiega nadmiernej infiltracji zimnego powietrza. W przypadku spełnienia wymagań dotyczących montażu, napędu i materiału, z którego wykonane są ekrany, jest możliwe osiągnięcie zadowalającej oszczędności energii i właściwego ukształtowania mikroklimatu w szklarni. Nieszczelne ekrany są nieskuteczne, nawet w przypadku, gdy zostały wykonane z materiału o gwarantowanej dużej energooszczędności.

Ograniczenie strat ciepła przy zastosowaniu aktywnych osłon wewnątrz szklarni to korzyści przekraczające w niektórych przypadkach nawet 50%. Oprócz porównywalnych z przegrodami biernymi korzyści wynikających z ograniczenia strat ciepła pozwalają one na kształtowanie mikroklimatu w bardziej optymalny sposób, np. poprzez podwyższenie temperatury przegrody osłaniającej przestrzeń uprawy, cieniowanie powierzchni uprawy w okresie intensywnej penetracji słońca.



Rys. 10. Ekrany wewnętrzne firmy Ludvig Svensson z podanymi parametrami E_e i Z_e [7]:
 Po lewej od góry: SLS 10: $E_e = 45\%$, $Z_e = 20\%$; SLS 10 Ultra: $E_e = 43\%$, $Z_e = 15\%$; SLS 16:
 $E_e = 60\%$, $Z_e = 65\%$; ULS 16: $E_e = 60\%$, $Z_e = 65\%$; ULS 15F: $E_e = 20\%$, $Z_e = 50\%$; SLS Obscura:
 $E_e = 75\%$, $Z_e = 99,99\%$; ILS 70 Ultra: $E_e = 65\%$, $Z_e = 75\%$;
 Po prawej: ULS 17 Revolux $E_e = 65\%$, $Z_e = 75\%$.

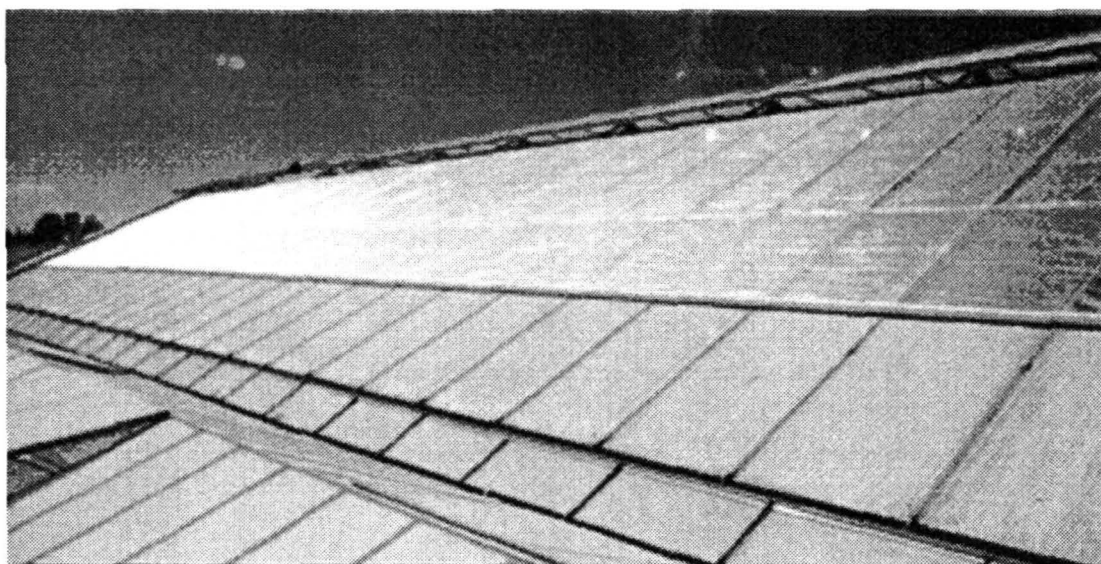
Na rys. 11 przedstawiono przykładowe usytuowanie ekranu termoizolacyjnego w szklarni pojedynczej i zblokowanej. Właściwie usytuowany ekran powinien znajdować się w odległości od 1-20 cm, zamykać jak największą przestrzeń oraz nie ograniczać przepływu powietrza w miejscach występowania wietrzników.



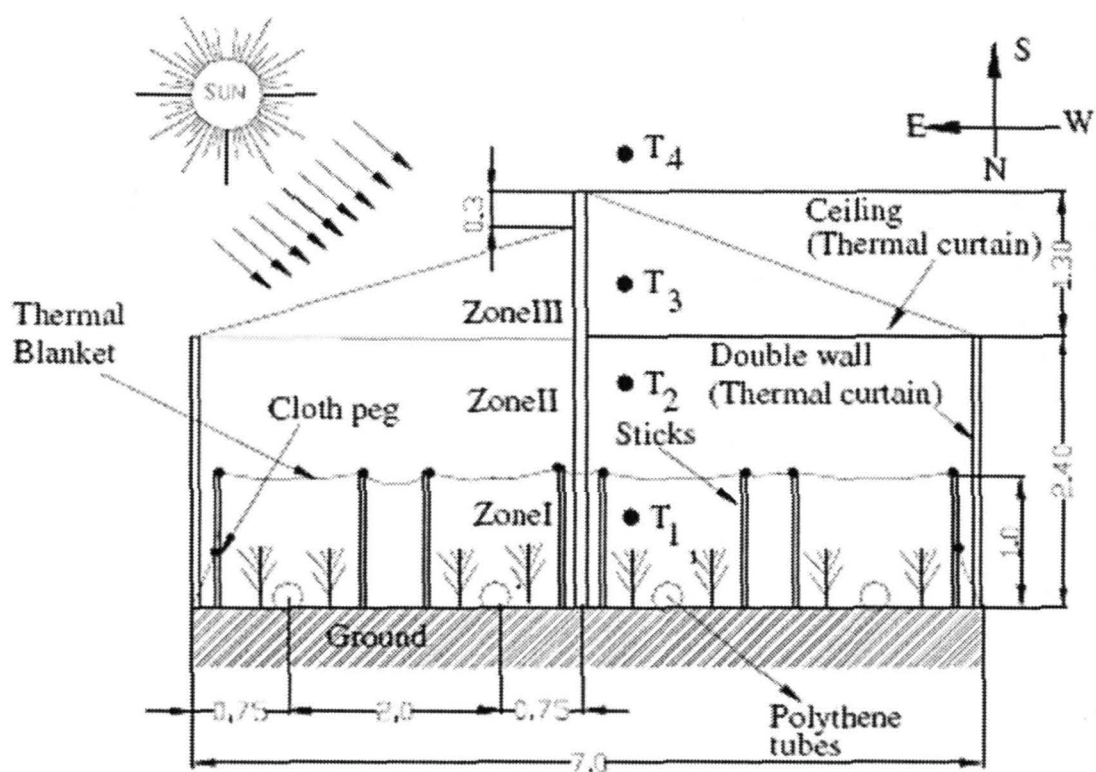
Rys. 11. Ekrany termoizolacyjne zainstalowane wewnątrz szklarni:
 a) pojedynczej - równoległe do ścian bocznych i połaci dachowej (po lewej);
 b) wielonawowej - poziomo na wysokości okapu szklarni i równoległe do ścian pionowych.

W warunkach klimatu cieplejszego stosuje się ekrany o właściwościach cieniujących lub cieniująco-energooszczędnych rozwijanych bezpośrednio na połaci dachu (rys. 12), co wpływa korzystnie na ograniczenie słonecznych zysków ciepła wewnątrz szklarni. Nie zaleca się stosowania tego wariantu w chłodniejszych warunkach klimatycznych jako ekranu energooszczędnego z uwagi na możliwość występowania opadów śniegu i ryzyko znacznego obciążenia konstrukcji szklarni.

Dodatkowe zmniejszenie strat ciepła i ograniczenie wpływu zewnętrznych warunków na mikroklimat można uzyskać poprzez stosowanie zasłon dla strefy uprawy roślin (rys. 13). Nie należy jednak ograniczać przestrzeni zamkniętej ekranem tylko i wyłącznie do strefy uprawy roślin, ponieważ znacząco wpływa to na obniżenie temperatury wewnątrz obiektu.



Rys. 12. Ekran cieniująco-energooszczędny rozwijany bezpośrednio na połaci dachowej szklarni [7].

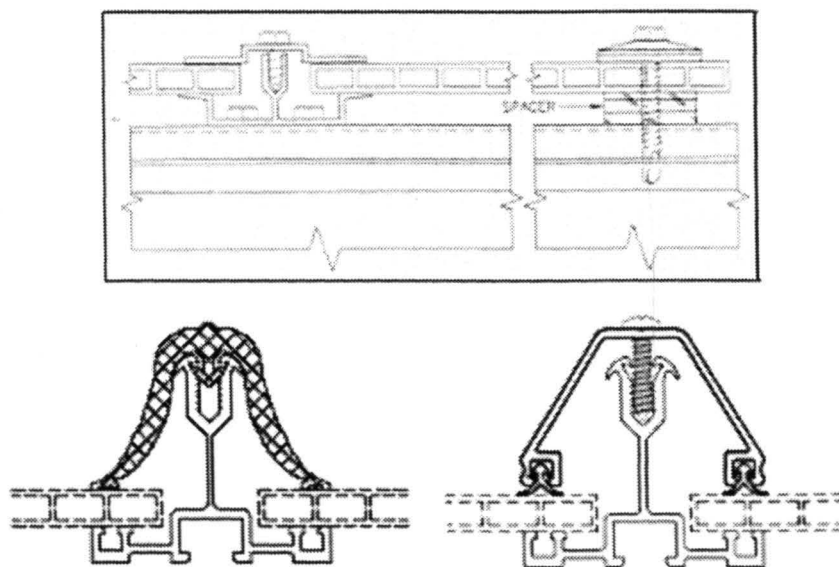


All dimensions in meter

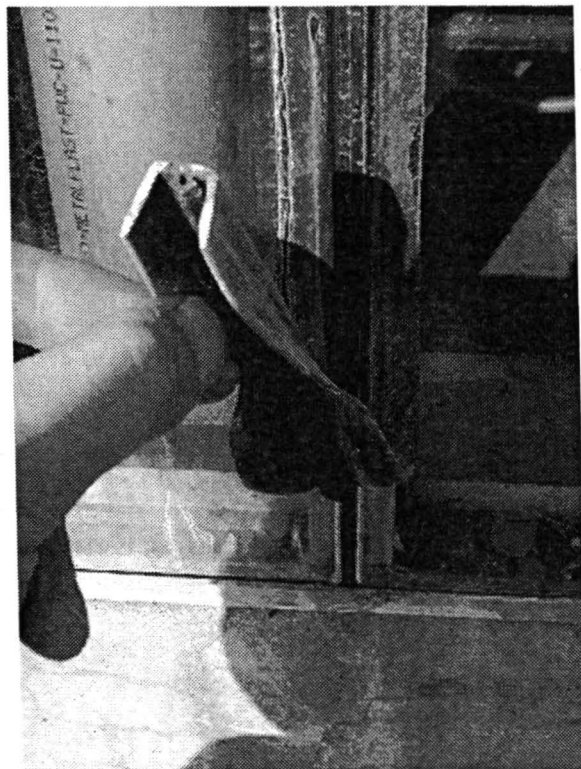
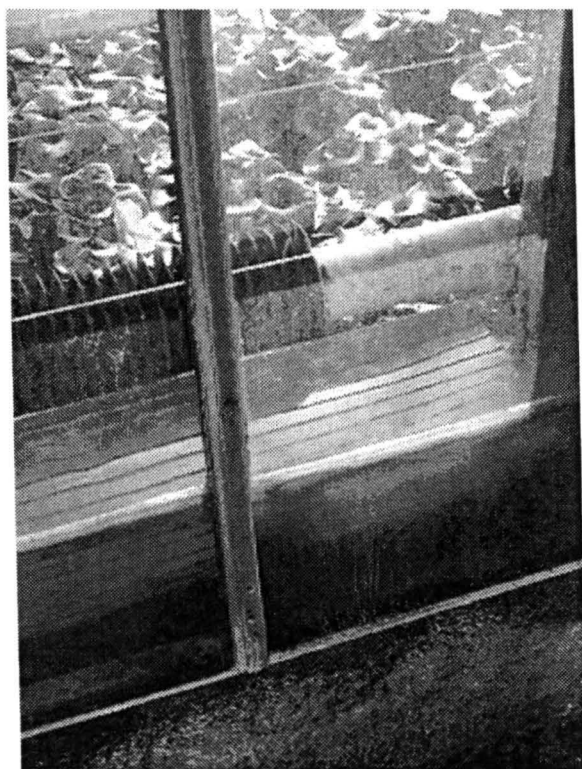
Rys. 13. Szklarnia z dodatkowymi osłonami w postaci ekranów termoizolacyjnych i zasłoną dla strefy uprawnej [8].

5. KONSTRUKCJE SZCZEBLIN

Istotne jest zapewnienie szczelności dodatkowego pokrycia szklarni. Dla dodatkowej warstwy szkła lub płyty z tworzyw ważnym elementem jest konstrukcja szczeliny do montażu pokrycia, będącej mostkiem termicznym. Stosowane obecnie szczeliny wyposażone są w uszczelki gumowe ograniczające straty ciepła w wyniku infiltracji przez nieszczelności oraz mają konstrukcję ograniczającą wpływ mostka termicznego (rys. 14 i 15). Przykłady szczelin stosowanych do mocowania pokryć szklarni przedstawiono w [3].



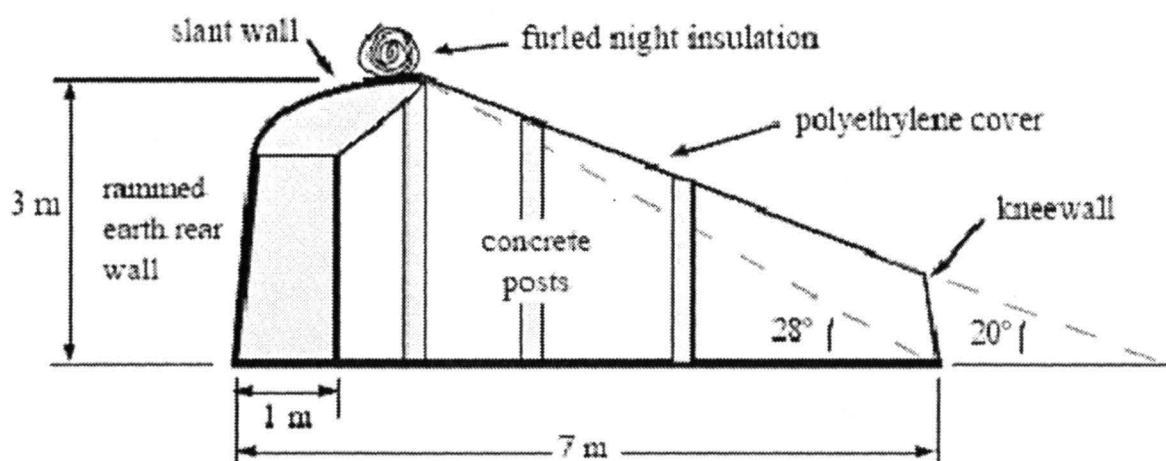
Rys. 14. Konstrukcje szczelin minimalizujące wpływ mostków termicznych: Hoklatherm [9] (po lewej) i IGC [10] (po prawej).



Rys. 15. Szczeliny w szklarni pojedynczej Clauhan Project (po lewej) i zblokowanej Debets Schalke (po prawej).

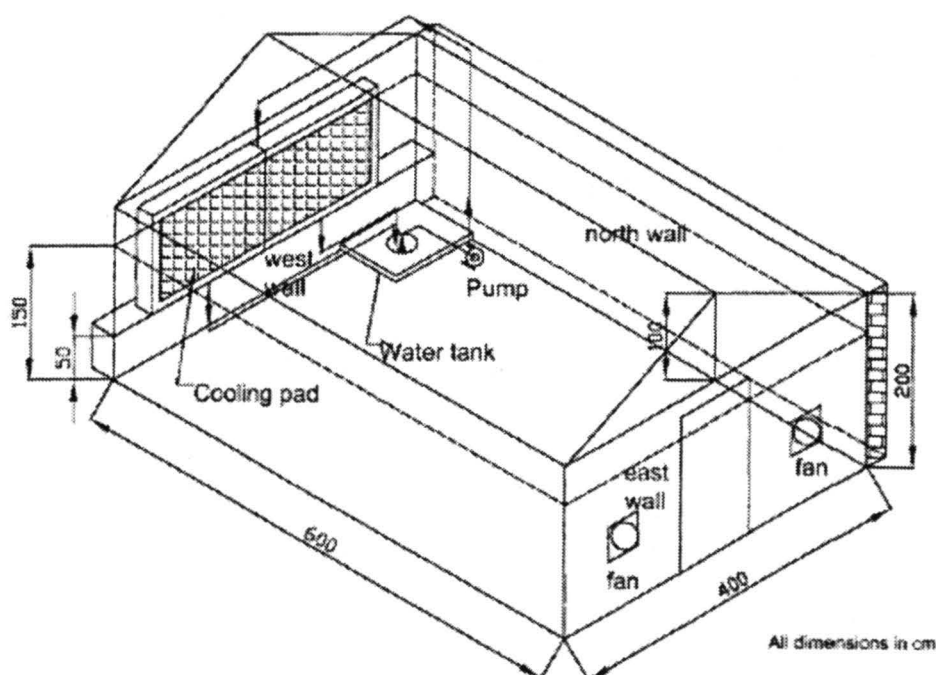
6. SZKLARNIE NIETYPOWE

Nowe typy szklarni zawierają rozwiązania, które zwiększają pozyskiwanie energii promieniowania słonecznego poprzez odpowiednie nachylenie połaci dachowej (rys. 16) oraz ograniczają straty ciepła od strony północnej. Ściana masywna akumuluje ciepło, które jest wykorzystywane w porze nocnej. Straty ciepła nocą są ograniczane przez rozwijaną izolację nocną dla części przezroczystej szklarni.



Rys. 16. Szklarnia z masywną ścianą północną - Passive Solar Greenhouse [11].

Innym przykładem jest szklarnia o typowej bryle z masywną ścianą zorientowaną na kierunek północny w celu ograniczenia strat ciepła oraz jego akumulacji (rys. 17). Szklarnia wyposażona jest dodatkowo w blok chłodzący, który w okresie letnim jest wykorzystywany do ochładzania i nawilżania powietrza napływającego do wnętrza szklarni.



Rys. 17. Szklarnia z masywną ścianą i blokiem chłodzącym powietrze zewnętrzne [12].

7. WNIOSKI

Analiza stosowanych obecnie rozwiązań energooszczędnych, przedstawionych na podstawie literatury oraz realizowanych przez autora badań własnych, pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

1. bryła obiektów szklarniowych jest coraz częściej dostosowywana do warunków otoczenia zewnętrznego oraz wykorzystywana do kształtowania parametrów mikroklimatu wnętrza;
2. większe możliwości utrzymania pożądaných warunków mikroklimatu szklarni i ograniczania zużycia energii cieplnej upatruje się w stosowaniu rozwiązań funkcjonujących w sposób aktywny, zależnie od parametrów klimatu zewnętrznego;
3. obserwuje się tendencje do otwierania szklarni na kierunki „słoneczne”, akumulowania ciepła w przegrodach oraz ograniczania strat ciepła, tak jak w budynkach pasywnych.

8. LITERATURA

1. Pucar M. Dj., *Enhancement of ground radiation in greenhouses by reflection of direct sunlight*, Renewable Energy 26 (2002), 561–586.
2. Boulard T., Draoui B., *Natural Ventilation of a Greenhouse with Continuous Roof Vents: Measurements and Data Analysis*, J. Agric. Engng Res. 61 (1995), 27–36.
3. Zabeltitz Ch., *Szklarnie – projektowanie i budowa*, PWRiL, Warszawa 1991.
4. Materiały katalogowe firmy Richel.
5. Materiały katalogowe firmy Hired-Hand Green.
6. Dayan J., Dayan E., Strassberg Y., Presnov E., *Simulation and control of ventilation rates in greenhouses*, Mathematics and Computers in Simulation 65 (2004) 3–17.
7. Materiały katalogowe firmy Ludvig Svensson.
8. Tiwari G. N., Ghosal M. K., *Mathematical modeling for greenhouse heating by using thermal curtain and geothermal energy*, Solar Energy 76 (2004) 603–613.
9. Materiały katalogowe firmy Hoklatherm.
10. Materiały katalogowe firmy International Greenhouse Company.
11. Hochman J. W., *A design for computer modeling of Chinese commercial passive solar greenhouses*, San Diego State University 1996.
12. Tiwari G. N., Jain D., *Modeling and optimal design of evaporative cooling system in controlled environment greenhouse*, Energy Conversion and Management 43 (2002) 2235–2250.

Zastosowanie materiałów fazowo - zmiennych do niskotemperaturowego magazynowania energii

Dariusz Heim

Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych

1. WSTĘP

Stosowanie systemów pasywnych, pozyskiwania energii z różnych źródeł dla potrzeb budownictwa niskoenergetycznego, znajduje w ostatnim okresie sporą grupę zwolenników. Rozwiązania te wyróżniają się zazwyczaj dużo mniejszą złożonością w stosunku do zaawansowanych technicznie systemów aktywnych. Mniejszy też jest koszt ich wykonania i późniejszej konserwacji. Nic albo prawie nic nie kosztuje także, w porównaniu do źródeł konwencjonalnych, samo pozyskiwanie energii.

Jednymi z bardziej popularnych rozwiązań stosowanych w budownictwie są pasywne systemy słoneczne. Duże powierzchnie przeszklone projektowane w południowych ścianach obiektów biurowych lub mieszkalnych pozwalają na swobodną penetrację słońca do wnętrza budynku i magazynowanie energii w jego elementach. Jednym z wielu problemów występujących przy tego typu rozwiązaniach jest brak, odpowiednio dużej, pojemności cieplnej wewnętrznych elementów konstrukcyjnych (ścian, stropów itp.). Zbyt duża ilość zysków bezpośrednich promieniowania słonecznego przy nieadekwatnej masie termicznej może doprowadzić do efektu okresowego przegrzewania się pomieszczeń. Zastosowanie elementów o dużej masie termicznej zwiększa koszty inwestycji bez istotnego wpływu na późniejsze korzyści, wynikające ze zmniejszenia zużycia energii na cele grzewcze. Podobne problemy napotkać można w przypadku ścian kolektorowo-akumulacyjnych, gdzie znaczna część energii, docierająca do przegrody w okresie lata, częściej powoduje przegrzewanie się pomieszczeń, nie jest zaś odpowiednio magazynowana i wykorzystywana do ogrzewania w okresie zimy.

Docierająca do powierzchni ziemi energia promieniowania słonecznego jest w stanie pokryć obecne zapotrzebowanie energetyczne. Istotnymi jednak problemami praktycznymi są: jej efektywne pozyskiwanie, magazynowanie i ewentualna konwersja. Wszystkie one decydują o całkowitej sprawności danego systemu.

Magazynowanie energii jest zagadnieniem złożonym, zaś za zasadnicze parametry należy uznać:

- zasób energii możliwy do zmagazynowania w jednostce objętości lub masy,
- możliwą do zrealizowania liczbę cykli ładowania i rozładowania magazynu,

- sprawność cyklu określoną jako stosunek ilości energii odebranej z układu do ilości energii do niego doprowadzonej,
- czas, w którym zmagazynowana energia może być przekazana do użytkownika, oraz czas, w którym może ona być zmagazynowana,
- temperaturę w jakiej dany układ magazynowania energii może funkcjonować.

Energia promieniowania słonecznego, jako energia cieplna może być magazynowana w postaci ciepła właściwego oraz ciepła utajonego czyli ciepła przemiany fazowej. Ponadto, może być ona magazynowana w postaci energii cieplno-chemicznej (np. produkcja ciekłego wodoru), foto-chemicznej (np. przemiany fotowoltaiczne) oraz bio-chemicznej (np. procesy fotosyntezy).

Elementy magazynujące energię w formie ciepła właściwego mogą być wykonane z materiałów metalowych, kamiennych, betonowych lub ceramicznych oraz wody. Ze względu na zakresy temperatur w jakich ciepło jest magazynowane wyróżniamy układy nisko- i wysoko-temperaturowe, zaś ze względu na długość okresu magazynowania mogą być to systemy długo- bądź krótko-okresowe.

W układach wykorzystujących ciepło przemian fazowych stosuje się różnego rodzaju organiczne bądź nieorganiczne związki chemiczne nazywane materiałami fazowo-zmiennymi (MFZ). Przemiana fazowa materiału akumulującego zachodzi praktycznie w stałej temperaturze, która zależy od jego składu chemicznego. W praktyce, ze względu na niską wartość pojemności cieplnej gazów, wykorzystuje się jedynie przejścia fazowe ciało stałe – ciecz (nie zaś ciecz – gaz).

2. KOMPOZYTY MODYFIKOWANE MATERIAŁEM FAZOWO-ZMIENNYM

W tradycyjnych systemach pasywnie magazynujących energię cieplną stosowano rozwiązania w postaci ciężkich ścian murowanych lub betonowych. Wykonanie ich zwykle pociągało za sobą kłopoty techniczne i zawsze powodowało wzrost kosztów inwestycji. Kolejnym problemem była ich niewystarczająca pojemność cieplna jak i brak możliwości precyzyjnego dostosowania parametrów termicznych w zależności od konkretnych potrzeb użytkowników i przyszłego przeznaczenia pomieszczenia. Ponadto ujemnym efektem w takich przypadkach był wzrost temperatury powietrza w pomieszczeniu poza zakres gwarantujący komfort cieplny jego użytkowników. Samoczynny (bez ingerencji osób) powrót temperatury do wartości żądanej wymagał zastosowania systemów automatycznej regulacji wraz z instalacją klimatyzacyjną lub systemem żaluzjowym okien. Alternatywą dla rozwiązań tradycyjnych jest wykorzystanie ciepła utajonego przemiany fazowej, który jest znacznie bardziej efektywnym sposobem magazynowania energii cieplnej. Graficzne porównanie efektywności magazynowania energii przy udziale ciepła właściwego i utajonego pokazano na rysunku 1.

Jak wynika z rysunku 3.1 zastosowanie MFZ powoduje znaczne zmniejszenie rozmiarów magazynów ciepła oraz pozwala osiągnąć wyższą wartość magazynowanej energii. Przykładowo dla zmagazynowania 100MJ ciepła potrzeba 2,7m³ wody (przy $\Delta T=15K$), 5,8m³ skały (przy $\Delta T=15K$) oraz jedynie 0,34m³ materiału fazowo-zmiennego (Telkes 1974).

Podczas wyboru MFZ do zastosowania w magazynach ciepła utajonego należy zwrócić uwagę na trzy istotne kryteria. Są to uwarunkowania: termodynamiczne, kinetyczne i chemiczne. Wszystkie z nich zostały omówione poniżej.

Z uwagi na własności termodynamiczne MFZ powinny posiadać:

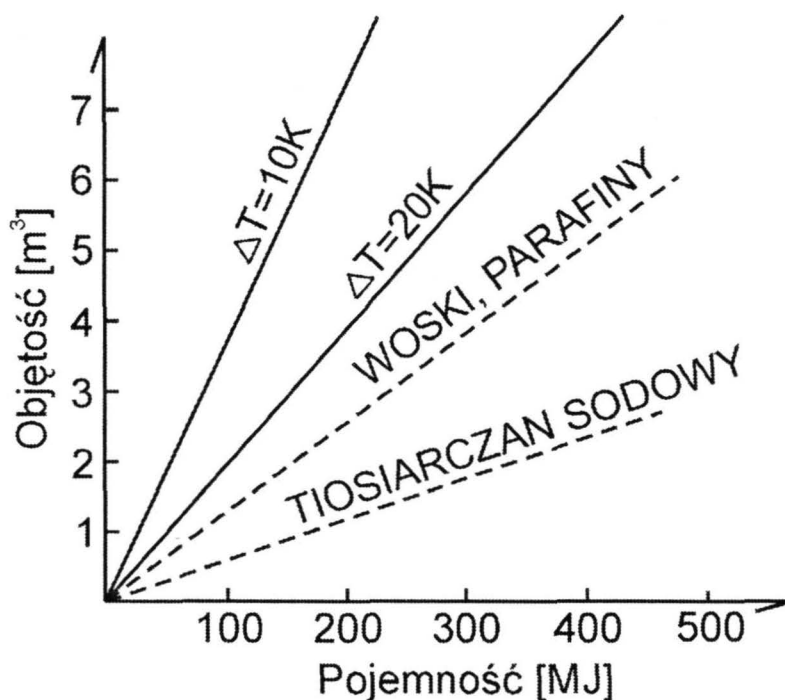
- temperaturę przemiany fazowej w wymaganym zakresie,
- wysokie ciepło przemiany na jednostkę masy,
- całkowicie odwracalny proces zmiany stanu skupienia,
- dużą gęstość, tak aby objętość magazynu ciepła była jak najmniejsza,
- wysokie ciepło właściwe w celu zwiększenia całkowitej pojemności cieplnej materiału,
- wysoką przewodność cieplną, tak aby procesy pobierania i oddawania ciepła zachodziły przy jak najmniejszej różnicy temperatur,
- zdolność do topnienia kongruentnego, polegającym na całkowitym przejściu materiału w fazę ciekłą,
- małe zmiany objętości podczas przejścia fazowego.

Z uwagi na własności kinetyczne MFZ powinien wykazywać:

- mały lub całkowity brak zjawiska przechłodzenia podczas krzepnięcia - materiał powinien przechodzić ze stanu ciekłego w stan stały na poziomie charakterystycznej, ustalonej temperatury krystalizacji.

Z uwagi na własności chemiczne MFZ powinien wykazywać:

- chemiczną stabilność w trakcie przemiany,
- brak chemicznego rozkładu w czasie eksploatacji,
- nie powinien wywoływać korozji chemicznej w odniesieniu do innych materiałów będących w bezpośrednim kontakcie z MFZ,
- nie powinien wydzielać trujących oparów, być palny lub wybuchowy.



Rys. 1. Porównanie objętości materiału magazynującego energię cieplną przy udziale ciepła właściwego (linie ciągłe) – woda i utajonego (linie przerywane) – MFZ [2].

3. ORGANICZNE I NIEORGANICZNE MATERIAŁY FAZOWO-ZMIENNE

Z chemicznego punktu widzenia materiały fazowo zmienne podzielić można na dwie grupy: materiały organiczne i nieorganiczne. Grupę materiałów nieorganicznych stanowią głównie różnego rodzaju sole. Przykładowe związki soli wraz z podaniem temperatury topnienia T_m i ciepła przemiany fazowej H zamieszczono w tablicy 1. Charakteryzują się one wysokim ciepłem przemiany i są niepalne. Posiadają jednak także wady do których głównie można zaliczyć korozję chemiczną, brak stabilności cieplnej oraz występowanie efektu przechłodzenia podczas krystalizacji. Ostatnią, najbardziej istotną z technicznego punktu widzenia wadą, jest brak możliwości zamknięcia MFZ w porach tradycyjnych materiałów budowlanych, co z punktu widzenia zastosowania w budownictwie wydaje się najistotniejsze.

Tablica 1. Przykładowe nieorganiczne materiały fazowo-zmienne

Materiał Fazowo-Zmienny	Temperatura topnienia (°C)	Ciepło przemiany (kJ/kg)
KF 4H ₂ O Potassium fluoride tetrahydrate	18,5	231
CaCl ₂ 6H ₂ O Calcium chloride hexahydrate	29,7	171
Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O Sodium sulphate decahydrate	32,4	254
Na ₂ HPO ₄ 12H ₂ O Sodium orthophosphate dodecahydrate	35,0	281
Zn(NO ₃) ₂ 6H ₂ O Zinc nitrate hexahydrate	36,4	147

Źródło Hawes i inni, 1993 [3]

Z punktu widzenia zastosowania MFZ jako niskotemperaturowych magazynów ciepła utajonego, dużo bardziej korzystne wydaje się wykorzystanie organicznych materiałów takich jak stearyny, parafiny, woski lub kwasy tłuszczowe. Są one znacznie bardziej stabilne termicznie i nie wykazują efektów przechłodzenia lub przegrzewania podczas przemian fazowych. Ich temperatury topnienia są interesujące ze względu na możliwość magazynowania energii w elementach budynku w zakresie odpowiadającym komfortowi cieplnemu osób. Ponadto doskonale nadają się do impregnowania w strukturę tradycyjnych materiałów budowlanych takich jak beton, ceramika czy gips, co zostało wykazane w wielu pracach m.in. przez: Abhat 1983 [4], Lane G.A. 1983 [5], Feldman i inni 1986 [6], Hawes i inni 1993 [3], Romanowska i Jabłoński 1995 [7]. Podstawową wadą materiałów organicznych i przeszkodą w szerszym zastosowaniu jest stosunkowo wysoka cena, wyższa od materiałów z grupy nieorganicznych. Ponadto materiały organiczne należą do grupy materiałów palnych, zaś w przypadku łączenia z betonem wchodzi w reakcje z produktami hydratacji mieszanki betonowej i są mniej odporne na proces starzenia, który jednak można ograniczać stosując odpowiednie przeciwutleniacze. Wybrane rodzaje organicznych MFZ wraz z podaniem temperatury topnienia i ciepła przemiany zamieszczono w tablicy 2.

Tablica 2. Przykładowe organiczne materiały fazowo-zmienne

Materiał Fazowo-Zmienny	Temperatura topnienia (°C)	Ciepło przemiany (kJ/kg)
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COO}(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$ Butyl stearate	19,0	140
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OH}$ 1-dodecanol	26,0	200
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{OH}$ 1-tetradecanol	38,0	205
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n(\text{CH}_3\ldots$ Paraffin	20-60	200
45% $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$ 55% $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$ 45/55 capric-lauric acid	21,0	143
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOC}_3\text{H}_7$ Propyl palmitate	19,0	186

Źródło Hawes i inni, 1993 [3]

Dla potrzeb magazynowania ciepła w elementach budynków, takich jak wewnętrzne i zewnętrzne elementy konstrukcyjne, wykorzystywana jest głównie przemiana typu ciało stałe – ciecz. Z uwagi na komfort cieplny użytkowników i względy racjonalne, w przypadku elementów wewnętrznych, temperatury topnienia i krystalizacji powinny znajdować się w przedziale 17°C ÷ 25°C. W przypadku elementów zewnętrznych, poddawanych silnemu oddziaływaniu promieniowania słonecznego, takich jak ściany słoneczne, górna granica temperatur dochodzić może, w zależności od potrzeb, nawet do ~40 ÷ 50°C.

4. KOMPOZYTY BUDOWLANE MODYFIKOWANE MATERIAŁEM FAZOWO-ZMIENNYM

Istnieje kilka metod wprowadzania MFZ do porowatej struktury tradycyjnych materiałów budowlanych. Dzielą się one na trzy grupy: bezpośrednie dodanie MFZ do zaczynu, nasączenie gotowych wyrobów poprzez ich zanurzenie w roztworze MFZ oraz podciśnieniowe wprowadzanie MFZ w istniejącą strukturę.

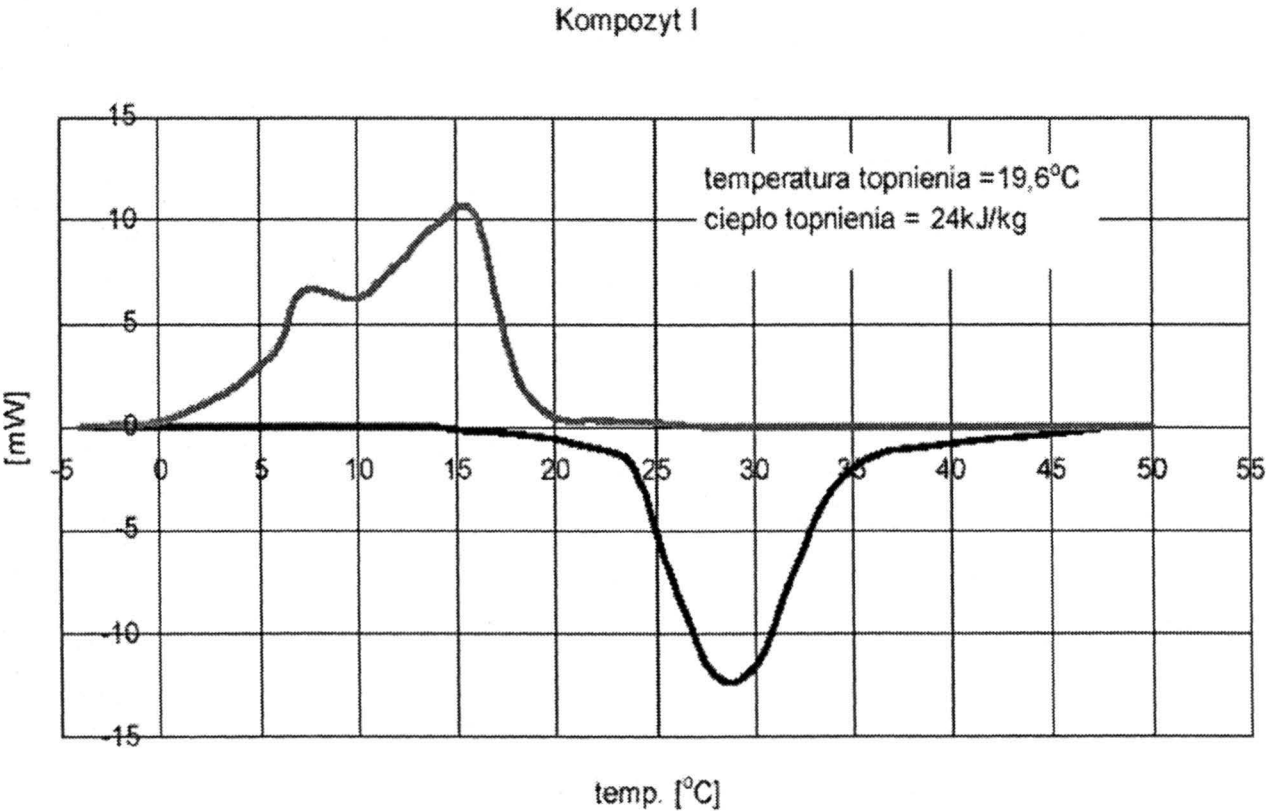
W przypadku kompozytów gipsowych stosuje się dwie pierwsze z wymienionych metod. Do zaczynu gipsowego dodaje się MFZ w postaci suchej bądź płynnej, co jest rozwiązaniem najtańszym i zapewnia szczelne zamknięcie MFZ w porach. Drugą możliwością jest nasączenie, przez kilka minut, już gotowego wyrobu rozgrzanym do temperatury 80°C MFZ.

W przypadku kompozytów cementowych możliwe jest zastosowanie wszystkich trzech, wspomnianych powyżej metod. Do mieszanki betonowej dodaje się MFZ w postaci sproszkowanej o różnej granulacji w zależności od projektowanej wytrzymałości. Można także dodawać drobne kawałki, uprzednio nasączonego materiałem fazowo-zmiennym, betonu komórkowego. Nasączenie gotowych próbek ma analogiczny przebieg jak

w przypadku gipsu. Dodatkowo gotowe elementy betonowe mogą być pod ciśnieniem impregnowane MFZ.

W przypadku elementów ceramicznych największym powodzeniem cieszy się ich nasączenie w ciekłym roztworze mieszaniny MFZ. Interesującym z badawczego punktu widzenia może być stosowanie impregnacji ciśnieniowej gotowych wyrobów. Ze względu na technologię produkcji (bardzo wysokie temperatury, znacznie przewyższające temperaturę parowania MFZ) nie jest możliwe wprowadzanie MFZ do struktury materiału już na etapie produkcji.

Prace nad różnego rodzaju kompozytami modyfikowanymi materiałem fazowo-zmiennym prowadzone są w Katedrze Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych od połowy lat dziewięćdziesiątych. W wyniku prac eksperymentalnych otrzymano szereg zestawów kompozytów o różnych właściwościach termicznych [7,8]. Stwierdzono, że możliwa jest modyfikacja dwóch podstawowych, z termicznego punktu widzenia, parametrów kompozytu: temperatury i ciepła przemiany fazowej. Możliwe jest więc otrzymanie materiału o wymaganych parametrach w zależności od konkretnych potrzeb, związanych z jego późniejszym przeznaczeniem. Otrzymane w badaniach eksperymentalnych rezultaty pozwoliły podjąć próbę termicznego projektowania kompozytów, w zależności od klimatu zewnętrznego oraz przyjętych warunków wewnętrznych.



Rys. 2. Przykładowy wykres ciepła przemiany fazowej dla kompozytu gipsowego modyfikowanego MFZ.

Badania przeprowadzono wykorzystując materiały fazowo-zmienne z grupy organicznych kwasów tłuszczowych o temperaturze topnienia od 13,5 do 67,0°C i cieple przemiany od 149,3 do 200kJ/kg. W celu przeprowadzenia eksperymentu wykonano szereg zestawów kompozytów gipsowych i ceramicznych opartych na różnych mieszaninach MFZ. Badania przeprowadzono przy użyciu różnicowego mikrokalorymetru skaningowego. W zależności od proporcji poszczególnych składników otrzymano kompozyty o temperaturze topnienia od 13,7 do 52,4°C i cieple przemiany od 10,9 do 82,4kJ/kg. Przykładowy wynik badania przemiany fazowej dla kompozytów gipsowych, uzyskany z badań mikrokalorymetrycznych, przedstawiono na rysunku 2 [9]. Więcej szczegółowych informacji na temat procedury eksperymentu oraz szczegółowe wyniki wszystkich pomiarów zamieścili w swojej pracy Romanowska i Jabłoński 1995 [7] oraz Klemm 1995 [8].

Dodatkowo dla wybranych kompozytów przeprowadzono badania ciepła właściwego. Na jego podstawie wyznaczono wartość efektywnej pojemności cieplnej, wykorzystywanej do opisu zjawisk przemian fazowych. Efektywna pojemność cieplna C_{eff} jest nieliniową funkcją temperatury i ma lokalne ekstrema w przedziale temperatur, w których zachodzi przemiana.

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono przykładowe wykresy zmian pojemności cieplnej w funkcji temperatury w zakresie przemiany fazowej (za Romanowska i Jabłoński 1995 [7], Klemm 1995 [8]).

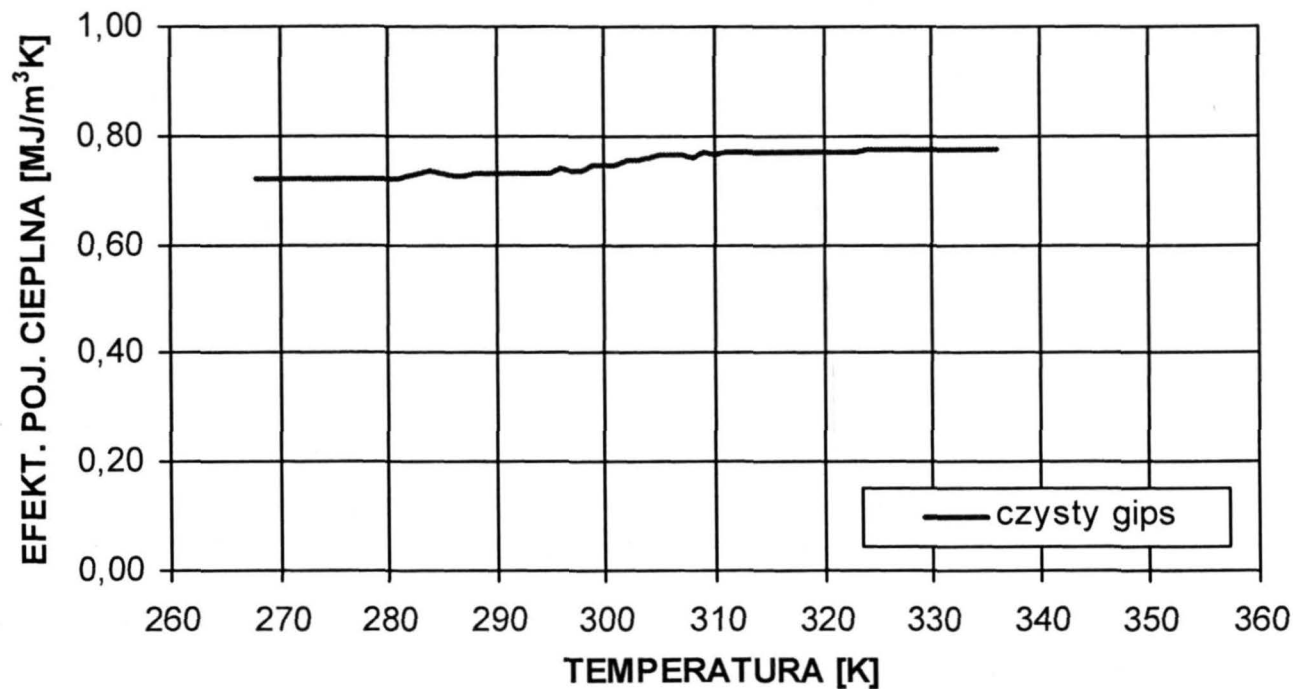
Dla potrzeb obliczeń numerycznych krzywą efektywnej pojemności cieplnej w zakresie występowania przemiany fazowej można aproksymować prostszymi funkcjami liniowymi. Bart i van der Laag 1990 [10], przeanalizowali sześć różnych kształtów krzywych aproksymujących zależności $C_{eff}(T)$ dla MFZ stosowanych do magazynowania energii cieplnej. Otrzymane różnice w wynikach w zależności od przyjętej długości kroku czasowego wahały się od 0,5 do 2,0%. Na tej podstawie można wnioskować, że przyjęty kształt krzywej pozornej pojemności cieplnej nie ma istotnego znaczenia przy numerycznym rozwiązaniu zagadnienia metodą efektywnej pojemności cieplnej. Istotna jest natomiast wielkość pola powierzchni pod krzywą pozornej pojemności cieplnej, które określa ilość ciepła utajonego reakcji.

5. ZASTOSOWANIE KOMPOZYTÓW MAGAZYNOWANYCH MFZ DO MAGAZYNOWANIA ENERGII CIEPLNEJ W BUDYNKACH

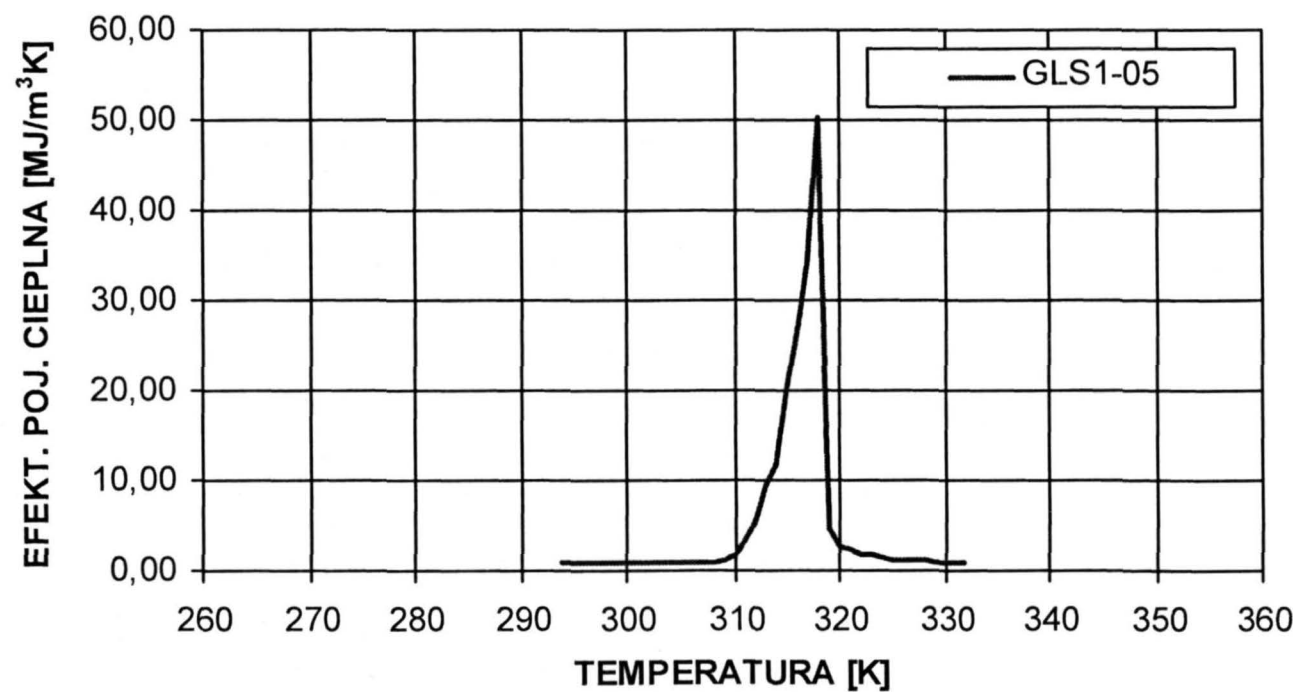
Ze względu na łatwość łączenia tradycyjnych materiałów budowlanych z MFZ możliwe jest ich stosowanie jako krótko- i długo-okresowe magazyny energii cieplnej. Eksperymentalne porównanie efektywności cieplnej ścian tradycyjnych i modyfikowanych materiałami fazowo-zmiennymi pokazali Benard, Body i Zanolli w roku 1985 [11]. Teoretyczne rozważania na temat maksymalnej ilości ciepła magazynowanego w strukturze budynku przedstawili Mitchell i Beckman w 1989 roku [12].

Najbardziej popularnymi rozwiązaniami polegającymi na łączeniu MFZ z elementami konstrukcji budynku są: wewnętrzne okładziny ściennie i przegrody kolektorowo-akumulacyjne. Wewnętrzne okładziny ściennie stały się tematem wielu badań eksperymentalnych już w latach osiemdziesiątych, a prace nad nimi są prowadzone do dnia dzisiejszego. Są to prace teoretyczne dotyczące wyznaczenia optymalnych parametrów cieplnych kompozytu oraz eksperymentalne polegające na badaniach przeprowadzanych w

skali rzeczywistej. Innym sposobem wykorzystania kompozytów o podwyższonej akumulacyjności ciepła w budownictwie są ściany kolektorowo-akumulacyjne. Pierwsze badania przeprowadzono już pod koniec lat siedemdziesiątych, modyfikując masywne elementy ściany Trombego materiałami fazowo-zmiennymi.



Rys. 3. Zmiany efektywnej pojemności cieplnej czystego gipsu



Rys. 4. Zmiany efektywnej pojemności cieplnej kompozytu gipsowego GLS1-05

Dalsze prace nad własnościami cieplnymi tradycyjnej ściany kolektorowo-akumulacyjnej prowadzone były jeszcze na początku lat 90-tych. Pod koniec lat dziewięćdziesiątych rozpoczęto badania nad łączeniem systemu izolacji transparentnej (IT) ze ścianą akumulacyjną modyfikowaną MFZ.

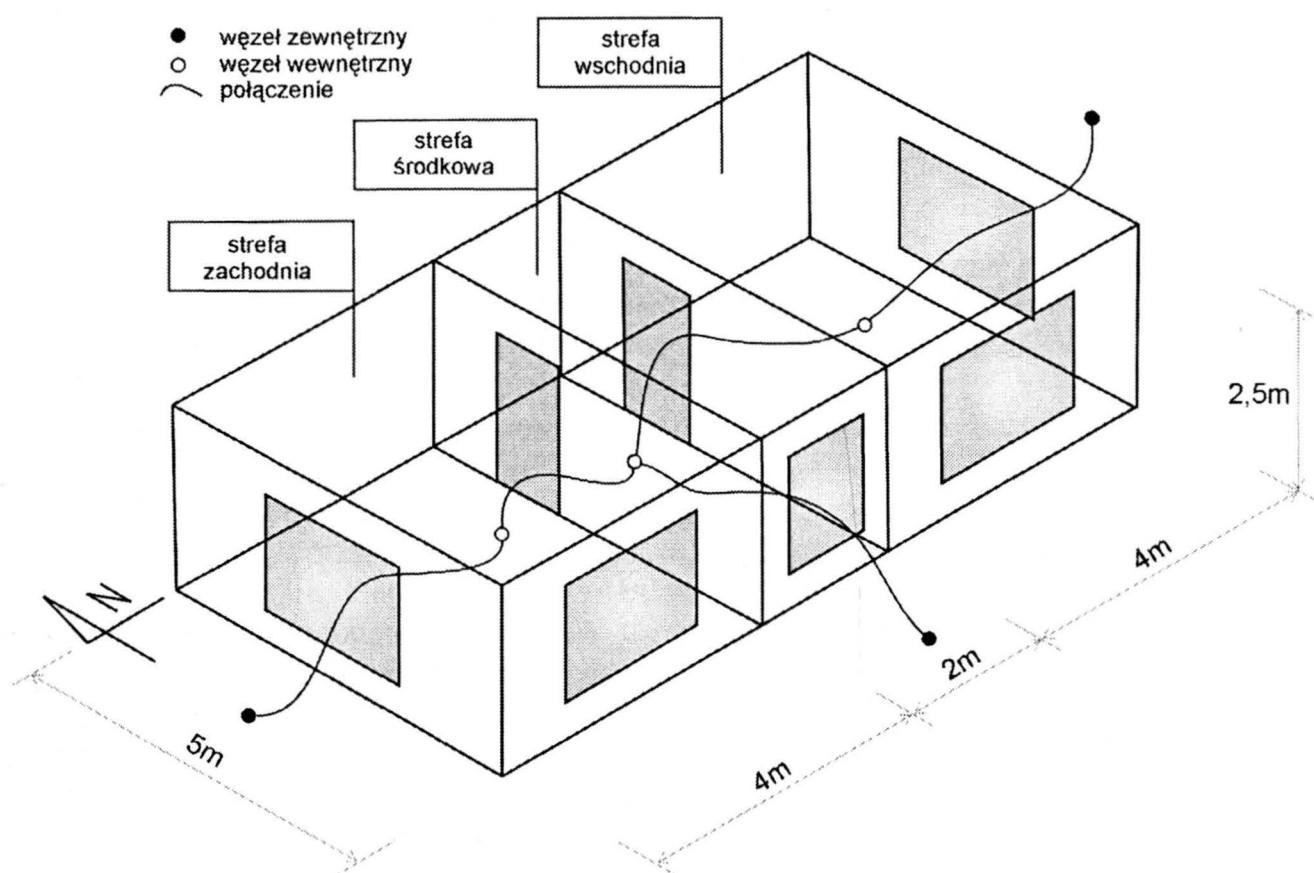
6. ANALIZY SYMULACYJNE

Na kształtowanie parametrów komfortu cieplnego w pomieszczeniach duży wpływ ma temperatura powierzchni wewnętrznych: ścian, podłogi i sufitu. Jej dobowe wahania, wynikające ze zmiany temperatury powietrza wewnętrznego, są ściśle zależne od oporów przejmowania ciepła i zdolności akumulacyjnych przegród. Dlatego ważną cechą wewnętrznej warstwy wykończeniowej, jak i całej konstrukcji, jest jej pojemność cieplna. W zależności od warunków klimatycznych może mieć ona wpływ na kształtowanie komfortu cieplnego, zapotrzebowanie na ciepło oraz pracę instalacji grzewczej. Szczególnie istotną rolę pełni wewnętrzna warstwa wykończeniowa przegrody, będąca w bezpośrednim kontakcie z powietrzem. Ustalona wartość temperatury na jej powierzchni nie tylko zapewnia korzystny mikroklimat, ale również eliminuje ryzyko występowania okresowej kondensacji pary wodnej. Zapewnienie stałej temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody może zostać osiągnięte m.in. poprzez zastosowanie wewnętrznej okładziny ściennej z kompozytu modyfikowanego MFZ. Ze względów praktycznych najłatwiej jest do tego celu zastosować kompozyt gipsowy o odpowiednio dobranych parametrach termicznych: temperaturze topnienia, zakresie temperatur w jakich zachodzi przemiana oraz ciepła utajonego przemiany. Dla potrzeb niniejszej analizy wybrano cztery kompozyty gipsowe o parametrach przedstawionych w tablicy 3.

Tablica 3. Właściwości kompozytu gipsowego

Właściwości materiału	Wartość			
	I	II	III	IV
temperatury topnienia [°C]	21,00	24,00	27,00	30,00
temperatury krystalizacji [°C]	22,00	25,00	28,00	31,00
ciepło utajone przemiany [kJ/kg]	45,00			
przewodność w stanie stałym [W/mK]	0,35			
przewodność w stanie ciekłym [W/mK]	0,70			
gęstość pozorna [kg/m ³]	1 000,00			

Tak zaprojektowany kompozyt gipsowy zastosowano jako wewnętrzną okładzinę ścian oraz sufitu w dwóch pomieszczeniach (strefy wschodnia i zachodnia). Model obiektu przyjęty do obliczeń przedstawiono na rysunku 5. Jest on fragmentem budynku wielokondygnacyjnego i składa się z dwóch stref, wschodniej i zachodniej, przedzielonych środkową strefą buforową. Obie strefy to mocno przeszklone pomieszczenia pasywnie magazynujące energię promieniowania słonecznego o powierzchni 20m² każde.



Rys. 5. Widok perspektywiczny trójstrefowego modelu budynku.

Wszystkie ściany pomieszczeń zaprojektowano jako żelbetowe grubości 25cm. Ściany zewnętrzne ocieplono dodatkowo warstwą styropianu grubości 12cm, tak aby współczynnik przenikania ciepła przegrody wynosił $0,30\text{W/m}^2\text{K}$. Współczynnik przenikania ciepła dla okien przyjęto równy $1,30\text{W/m}^2\text{K}$.

Warunki wymiany ciepła na zewnętrznych powierzchniach wszystkich ścian zewnętrznych (ściany z oknami) przyjęto zgodnie z danymi Typowego Roku Meteorologicznego. Pozostałe przegrody przyjęto jako wewnętrzne. W obiekcie zaprojektowano system wentylacji naturalnej, poprzez otwory okienne i drzwiowe. Zamykanie i otwieranie okien sterowane było krotnością wymian powietrza, która zmieniała się od 0,5 do 1,5 wymiany/godzinę, przy kubaturze pomieszczenia 50m^3 , w zależności od kierunku i prędkości wiatru.

We wszystkich strefach budynku założono idealne sterowanie instalacją grzewczą zapewniającą temperaturę powietrza w pomieszczeniu na poziomie 20°C . Przyjęto brak wewnętrznych zysków ciepła od urządzeń, oświetlenia i przebywających w pomieszczeniach osób, tak aby wyeliminować ewentualny wpływ efektów chwilowych związanych ze sposobem eksploatacji obiektu.

Na początku przeprowadzono wstępne obliczenia dla pomieszczeń z tradycyjną okładziną gipsową (bez MFZ). Wyniki obliczeń pokazały, że maksymalna temperatura zanotowana w strefie wschodniej wyniosła $31,8^\circ\text{C}$ zaś w zachodniej $33,6^\circ\text{C}$. Ponadto w obu strefach zaobserwowano okresowe przegrzewanie się pomieszczeń w okresie od 15

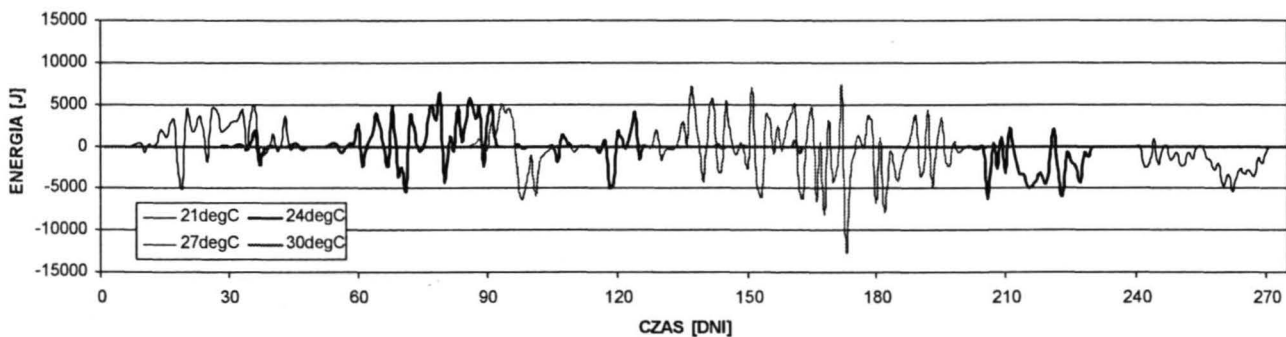
czerwca do 15 września, kiedy temperatura wynikowa w pomieszczeniu, w ciągu całej doby przekraczała 25°C.

Symulację przeprowadzono z 15 minutowym krokiem czasowym, rejestrując wartości temperatury w poszczególnych punktach materiału kompozytowego, strumienia ciepła utajonego oraz temperatury wynikowej w pomieszczeniu.

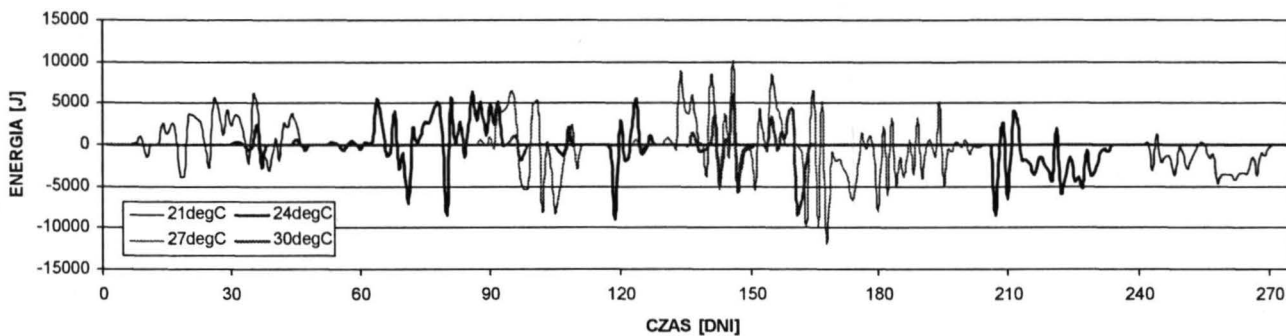
Rysunki 6 i 7 przedstawiają historię ciepła utajonego przemiany fazowej akumulowanego bądź oddawanego przez wewnętrzną warstwę z kompozytu modyfikowanego MFZ o różnych temperaturach przemiany fazowej, w strefie wschodniej i zachodniej. Dotyczy to okresu od 1 marca do 30 listopada. W pozostałych miesiącach żaden z czterech materiałów nie ulega przemianie fazowej (nie magazynuje i nie oddaje energii). Kompozyt o temperaturze topnienia 21°C magazynuje i oddaje energię cieplną od początku marca do połowy kwietnia, przy dziennych ilościach do 6kJ ciepła utajonego. Całkowite rozładowanie materiału następuje w listopadzie. Ściany pokryte materiałem o temperaturze przemiany 24°C pracują przez okres prawie 5 miesięcy, od końca marca do początku lipca oraz od końca września do końca października. Maksymalna dzienna ilość akumulowanej lub oddawanej energii wynosi 9kJ (dla strefy zachodniej). Materiał o temperaturze przemiany 27°C pracuje nieprzerwanie od końca maja do końca września, zaś dzienne wartości magazynowanej energii przekraczają 12kJ. Materiał o najwyższej wartości temperatury topnienia równej 30°C wydaje się być użyteczny jedynie w strefie zachodniej, gdzie magazynuje energię od połowy lipca do połowy sierpnia. W strefie wschodniej, jego udział w magazynowaniu energii jest praktycznie pomijalny.

Rysunki 8 i 9 pokazują poziom naładowania materiału w poszczególnych okresach czasu od marca do listopada. Zarówno w strefie wschodniej jak i zachodniej, kompozyty o poszczególnych temperaturach przemiany fazowej pochłaniają i oddają energię promieniowania słonecznego w podobnych okresach czasu. Kompozyt o temperaturze przemiany 21°C osiąga maksymalną wartość ciepła utajonego w połowie marca i zaczyna oddawać energię cieplną dopiero pod koniec października. Stan całkowitego naładowania dla kompozytu o temperaturze topnienia 24°C przypada na okres od początku lipca do połowy września. Kompozyt o temperaturze przemiany 27°C osiąga stan całkowitego naładowania, przez kilka pierwszych dni sierpnia, jedynie w strefie zachodniej. Materiał o temperaturze przemiany 30°C jest natomiast wykorzystywany najwyżej w 40% i to jedynie w strefie zachodniej.

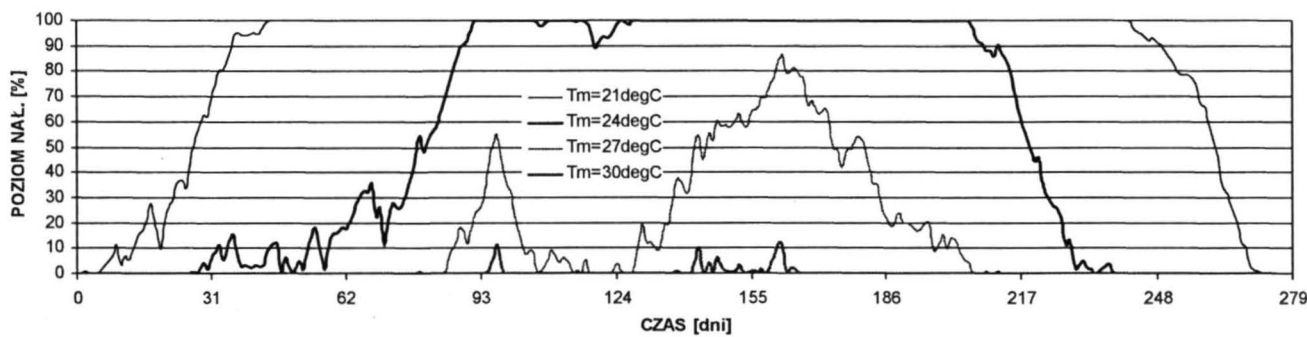
Dodatkową zaletą zastosowania w budynkach kompozytów o podwyższonej akumulacyjności ciepła, oprócz ograniczenia dobowych wahań temperatur, jest zmniejszenie obciążenia instalacji grzewczej oraz zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania. Dotyczy to kompozytów o temperaturach przemiany zbliżonych do zadanej temperatury powietrza w pomieszczeniu. W analizowanym przypadku wynosiła ona 20°C, w związku z czym spodziewanych oszczędności należałoby oczekiwać w przypadku zastosowania kompozytu o temperaturze topnienia 21°C. Pozostałe kompozyty, o wyższych temperaturach przemiany, akumulują energię cieplną praktycznie już w okresie poza sezonem grzewczym.



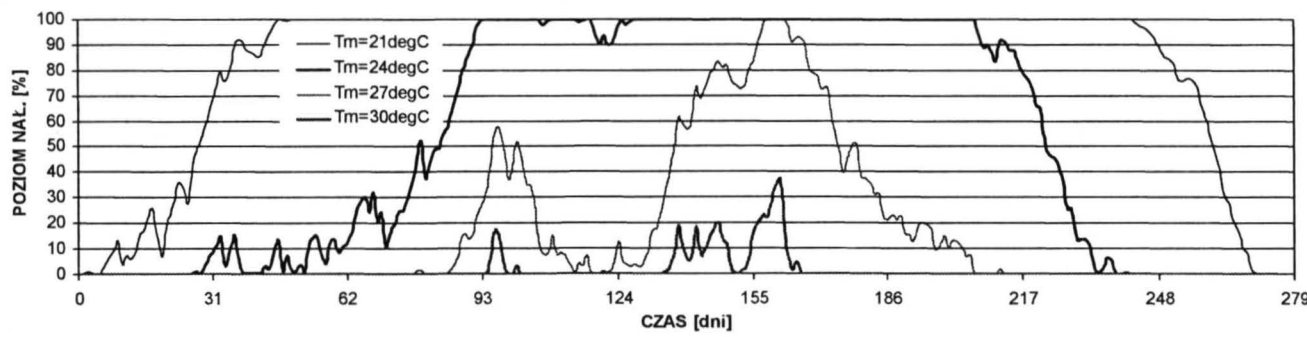
Rys. 6. Historia ciepła utajonego magazynowanego i oddawanego przez ścianę z kompozytu gipsowego modyfikowany MFZ w strefie wschodniej.



Rys. 7. Historia ciepła utajonego magazynowanego i oddawanego przez ścianę z kompozytu gipsowego modyfikowany MFZ w strefie zachodniej.



Rys. 8. Poziom naładowania MFZ w ścianie strefy wschodniej.



Rys. 9. Poziom naładowania MFZ w ścianie strefy zachodniej.

7. PODSUMOWANIE

W przypadku wewnętrznej okładziny ściennej modyfikowanej MFZ zaobserwowano silną zależność czasu jej „pracy” (okresów przemiany fazowej ciała stałe w ciecz i na odwrót) od założonej temperatury przemiany. Kompozyty o temperaturach niskich pracują w okresach przejściowych (wiosna i jesień) i ich głównym zadaniem jest ograniczanie dobowych wahań temperatury, magazynowanie energii promieniowania słonecznego oraz obniżenie zapotrzebowania na ciepło.

Kompozyty o wyższych temperaturach przemiany funkcjonują głównie w okresie lata i mają za zadanie zapewnić (lub przynajmniej poprawić) parametry wewnętrznego komfortu cieplnego.

Jednakże, ze względu na swoją objętość, powierzchnię oraz wartość ciepła przemiany fazowej, żaden z kompozytów gipsowych poddanych analizie nie może pełnić roli sezonowego magazynu ciepła.

8. LITERATURA

1. Telkes, M. 1974. Solar Energy Storage. *ASHRAE Journal*: 38-44.
2. Garg, H.P. & Mullick S.C. & Bhargava A.K. 1985. *Solar Thermal Energy Storage*. Dordrecht. D. Reidel Publishing Company.
3. Hawes, D.W. & Feldman, D. & Banu D. 1993. Latent heat storage materials. *Energy and Buildings*, Vol. 20: 77-86.
4. Abhat, A. 1983. Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials. *Solar Energy*, Vol. 30, No. 4: 313-332.
5. Lane, G.A. 1983. *Solar Heat Storage: Latent Heat Materials, Vol.1*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
6. Feldman, D. & Shapiro, M.M. & Banu, D. 1986. Organic phase change materials for thermal energy storage. *Solar Energy Materials*, Vol. 13: 1-10.
7. Romanowska, A. & Jabłonski, M. 1995. Kompozyt gipsowy o podwyższonej akumulacji ciepła, *Fizyka materiałów i konstrukcji budowlanych, Materiały kompozytowe*, Edited by P. Klemm, Lodz, Vol. 3, 126-172.
8. Klemm, P. 1995. Kompozyt ceramiczny o podwyższonej akumulacji ciepła, *Fizyka materiałów i konstrukcji budowlanych, Materiały kompozytowe*, Edited by P. Klemm, Lodz, Vol. 3, 126-172.
9. Heim, D. & Romanowska, A. & Jablonski, M. 2001b. Zastosowanie kompozytów gipsowych modyfikowanych materiałem fazowo - zmiennym do akumulowania energii cieplnej w okresach temperatur umiarkowanych. *Proceeding of XV International Scientific and Technological Conference, Ekomilitaris-2001*, Zakopane: 172-179.
10. Bart, G.C.J. & van der Laag, P.C. 1990. Modeling of Arbitrary-Shaped Specific and Latent Heat Curves in Phase-Change Storage Simulation Routines. *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 112: 29-33
11. Benard, C. & Body, Y. & Zanolli, A. 1985. Experimental comparison of latent and sensible heat thermal walls. *Solar Energy*, Vol. 34, No. 6: 475-487.
12. Mitchell, J.W. & Beckman, W.A. 1989. Theoretical limits for storage of energy in buildings. *Solar Energy*, Vol. 42, No. 2: 113-120.

Jak ujarzmiono wiatr jako źródło energii odnawialnej

Imad El-Dine Ibrahim

Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych

1. WSTĘP

W rozwoju techniki i nauki, podobnie jak w ogóle w życiu, nie zawsze największe uznanie towarzyszy osiągnięciom o istotnym znaczeniu dla rozwoju nauki i postępu, które stanowiły prawdziwy przewrót w pewnych dziedzinach, długo ich nie zauważano, początkowo jedynie przez niewielką grupę specjalistów.

Niektóre osiągnięcia, nowe pomysły, szukania nowatorskich metod poszukiwań, ale zawsze podstawą rzeczą był i jest dobry pomysł. Niełatwo o niego. Pomysł jest rzeczą najważniejszą ale nie jedyną, żeby go zrealizować potrzeba doskonałej znajomości danej dziedziny, umiejętności, wytrwałość wiele wysiłku, dobry zespół i dokonania wielu barier.

2. JAKI POMYSŁY NA ENERGIĘ WIATROWĄ MIELI POPRZEDNICY

Historyk arabski al – Tabary (838- 870) opisując dzieje panowania kalifa Omara I i następcy wspomina, że potrafili zbudować „młyn obracany przez wiatr” informacja ta miała swoje źródła w rzeczywistych wydarzeniach.

W Seistanie, piaszczystej i wietrznej części Persji, istniały warunki sprzyjające wynalezieniu wiatraka. Brak rzek i strumieni nie pozwalał mieszkańcom tej krainy na stosowanie młynów wodnych, znanych już od końca dawnej ery.

Mieszkańcy tego regionu wcześniej nauczyli się walczyć z wichurą niosącą ze sobą tumany piasku groźnie dla ich pól. Wynaleźli sposoby na kierowanie żywiołu zgodnie ze swą wolą. Osiągnęli w tej dziedziny prawdziwe mistrzostwo. Świadczy o tym relacja geografa arabskiego al – Istachriego (zm. 951). Oto co pisał :

„W krainie tej panują silne wiatry i w związku z tym pobudowano tam młyny obracane przez wiatr. Masy piasku wędrują na tym obszarze z miejsca na miejsce i gdyby nie wynaleziono środków zaradczych, mogłyby pochłonać szlaki komunikacyjne i miasta. Słyszałem że tutejsi mieszkańcy, chcąc przemieścić piasek tak, aby nie zasypywał ich pól, ogradzają wydmy piaszczyste nieco od nich wyższą konstrukcją, podobną do płotu z drewna i cierni. W dolnej części owego ogrodzenia pozostawiają otwór, przez który dostaje się do środka wiatr i zdmuchuje górną warstwę piasku niby trąba powietrzna. Piasek unosi się w górę i spada na ziemię w znacznej odległości, w miejscu, gdzie nie czyni szkody.”

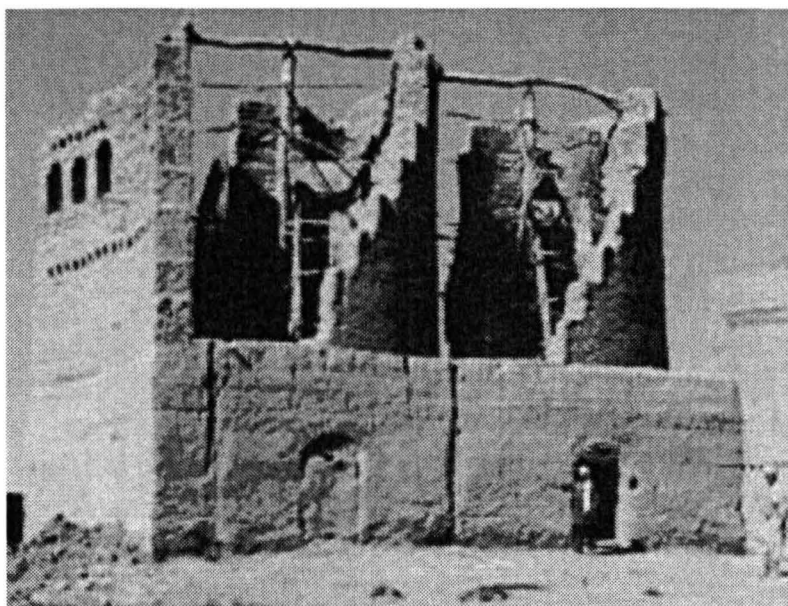
Inny wybitny geograf i historyk arabski almassudi, który tak oto napisał w 947 roku:

„Siestan jest krainą wiatru i piasku. Charakterystyczną cechą tego regionu jest fakt, iż wiatr obraca tu młyny, a także pompuje ze studni wodę do nawadniania ogrodów. Klnę się na Allacha że nie ma miejsca na ziemi żeby ludzie bardziej wykorzystali wiatr.”

3. PIERWSZE WIATRAKI

Możemy sądzić że już w pierwszej połowie X wieku w Sistanie pracowały wiatraki [rys. 1]. Są to najstarsze wiadomości o wiatrakach w ogóle. Czym różniły się ówczesne wiatraki od dobrze znanych nam wiatraków europejskich. Były to wiatraki o pionowej osi obrotu konstrukcją swą przypominały drzwi obrotowe. Z wału na którego przedłużonym końcu usadzony był ruchomy kamień młyński rozchodziły się promieniście pokryte płótnem żeberka – żagle było ich od sześciu do dwunastu. Wokół jednej połowy młyna wznoszono osłaniający ją mur ceglany po to, aby wiatr działał na owe skrzydła tylko z jednej strony. Oczywiście wiatrak taki pracował skutecznie tylko przy stałym niezmiennym kierunku wiatru przystosowanie urządzenia do innego kierunku wiatru wymagało pracochłonnego przestawiania muru. Z czasem jednak zmyślni Systaniczycy nauczyli się konstruować młyny działające bez względu na kierunek wiatru w tym celu wzniesli dwukondygnacyjną budowlę. Dolną jej część posiadała otwory, przez które wiatr dostawał się do środka, gdzie znajdował się ów skrzydlaty wirnik. Otwory te przypominały odwrócone strzelnice były szerokie od strony zewnętrznej, a zwężając się znacznie ku wnętrzu budowli. Wał stanowiący oś wirnika sięgał drugiego piętra. Tam przechodził przez otwór w dolnym nieruchomym kamieniu młyńskim i był sztywno połączony z górnym ruchomym kamieniem. Górny kamień obracał się więc razem z wirnikiem nie było żadnych przekładni. Opis takiego udoskonalonego wiatraka oraz jego interesujący rysunek techniczny zawdzięczamy syryjskiemu kosmografowi z przełomu XIII i XIV wieku al - Damaszkemu, który potwierdził opisany wcześniej wiatrak.

Narodziny wiatraka stanowią przykład tego jak odmienne, z gruntu niesprzyjające stosowaniu znanych gdzie indziej urządzeń warunki mogą stać się bodźcem dla dokonywania pomysłowych i jakże prostych odkryć.



Rys. 1. Przykładowy wiatrak – Persja.

Ocena warunków mikroklimatu wietrznego dla trzech wybranych struktur zabudowy

Katarzyna Klemm

Politechnika Łódzka, Instytut Architektury i Urbanistyki

1. WPROWADZENIE

Do metod stosowanych przy ocenie środowiska można zaliczyć między innymi, szeroko stosowaną metodę opisową oraz metodę modelową. W przypadku metod modelowych chodzi o wybranie lub zaproponowanie takiego modelu, który najpełniej scharakteryzuje funkcjonowanie środowiska. Przez model rozumie się pewien schemat (np. matematyczny lub fizyczny), w którym uwzględnia się możliwe jak najczęściej zmiennych charakteryzujących dane zjawiska [1]. W pracy przedstawiona zostanie propozycja modelu, przy wykorzystaniu którego dokonano oceny warunków wietrznych dla wybranych struktur.

2. KRYTERIA I OGÓLNY MODEL OCENY WARUNKÓW MIKROŚRODOWISKA

Przy ocenie warunków środowiska zewnętrznego z punktu widzenia jego przydatności dla człowieka zasadnicze znaczenie odgrywają takie elementy jak: klimat, zagospodarowanie terenu, rzeźba terenu [2] [3].

Cechy ilościowe i jakościowe środowiska opisywane mogą być między innymi za pomocą dwóch modeli: modelu funkcji wykładniczej oraz modelu opartego na prawie Ohma.

W modelu funkcji wykładniczej podstawa funkcji charakteryzuje ilościowe cechy środowiska $y = x^z$, natomiast wykładnik potęgi, jego cechy jakościowe. Wartość funkcji y zmienia się w przedziale od 0 do 1. Gdy $y = 0$ występuje całkowity brak korzystnych cech środowiska zaś przy $y = 1$ mamy do czynienia ze stanem idealnym. Wartości x znajdują się w obszarze zmienności od 0 do 1. Natomiast z może przyjmować wartości od 0 do $+\infty$. Przy maksymalnie korzystnych cechach jakościowych, $z = 0$ a funkcja y przyjmuje wartość 1.

W modelu opartym na prawie Ohma

$$y_i = \frac{U_i}{R_i}$$

gdzie: y_i – wartość danego parametru

U_i – potencjał, traktowany jako korzystne cechy środowiska

R_i – opór przyjmowany jako warunki, które utrudniają lub uniemożliwiają dłuższe przebywanie człowieka

Zgodnie z propozycją K. Błażejczyka, który zaproponował połączenie obydwu modeli, przyjmując dla cech jakościowych warunek $z = y_i^{-1}$ model oceny warunków mikrośrodowiska przyjmuje postać [1]

$$y = \left(\frac{U_x}{R_x} \right)^{\left(\frac{U_z}{R_z} \right)}$$

gdzie: U_x, R_x – potencjał i opór cech ilościowych

U_z, R_z – potencjał i opór cech jakościowych

3. TYPOLOGIA WARUNKÓW POGODOWYCH (WIETRZNYCH)

Na potrzeby oceny warunków wietrznych przyjęto w pracy klasyfikację pogody, opartą na subiektywnym odczuciu różnych stanów pogodowych. Wykorzystując założenia typologii pogody opracowanej przez IGiPZ PAN, za podstawową cechę typu pogody przyjęto odczucia cieplne człowieka wywołane reakcją układu termoregulacji na bodźce zewnętrzne (temperatura powietrza, prędkość wiatru).

Uwzględniając odczucia cieplne przyjęto 6 typów pogody. Analizując przydatność poszczególnych klas pogody dla człowieka przebywającego na wolnym powietrzu wyróżniono trzy grupy.

Grupa A obejmuje sytuacje pogodowe, warunki wietrzne podczas których człowiek może przebywać na wolnym powietrzu przez dłuższy okres czasu. W zależności od stopnia aktywności człowieka wyodrębniono poniższe podgrupy:

A_1 – pogoda przydatna do wypoczynku

A_2 – pogoda przydatna do czynnego wypoczynku i pracy

A_3 – pogoda podczas której można korzystać z czynnego wypoczynku, turystyki (spaceru) oraz bez większych przeszkód wykonywać prace

Grupa B obejmuje sytuacje pogodowe nie sprzyjające wypoczynkowi, spacerom czy jeździe na rowerze ale pozwalające na dłuższe przebywanie i pracę na wolnym powietrzu. W grupie B wyodrębniono dwie podgrupy.

Grupa C określa stany pogody zdecydowanie niekorzystne dla dłuższego przebywania i pracy poza budynkiem, brak równowagi.

4. OCENA WARUNKÓW WIETRZNYCH

W przypadku oceny warunków wietrznych cechami ilościowymi są częstotliwości występowania w danym roku korzystnych i niekorzystnych prędkości wiatru. Jako potencjał (U_x) przyjmuje się częstość korzystnych a jako opór (R_x) częstość niekorzystnych typów pogody, przyjmując za podstawę odczucia cieplne człowieka.

W zależności od posiadanych informacji o środowisku do analiz wykorzystywane są różne wielkości. W ocenie warunków wietrznych, jako cechy ilościowe przyjmowane są częstotliwości występowania różnych typów pogody wietrznej w danym roku.

$$x = \frac{0,5NA_1 + NA_2 + 0,75NA_3}{1 + N(BC)}$$

gdzie: NA_1, NA_2, NA_3 – częstość występowania dni z warunkami wietrznymi zaliczanymi do grupy A_1, A_2, A_3

$N(BC)$ – częstość występowania dni z niekorzystnymi dla człowieka warunkami wietrznymi zaliczanymi do grup B i C

Tablica 1. Typy pogody wietrznej

Typ pogody	A_1	warunki wietrzne przydatne do wypoczynku, wiatr odczuwany na twarzy	Prędkość wiatru V [m/s]	$0 \div 1,0$
	A_2	warunki wietrzne przydatne do czynnego wypoczynku i pracy, trzepotanie ubrań		$2,0 \div 3,0$
	A_3	warunki podczas których następuje unoszenie się kurzu i papieru		$4,0 \div 5,0$
	B_1	siła wiatru odczuwana na ciele, możliwość potknięcia		$6,0 \div 8,0$
	B_2	utrudnione poruszanie, nieprzyjemne odgłosy		$9,0 \div 10$
	C	trudność w kontrolowaniu poruszania się, utrudnione zachowanie równowagi		>10

Cechy jakościowe warunków wietrznych określać można parametrami intensywności zmian kierunku wiatru i średni udział wiatru na n kierunku. Można je wyznaczyć za pomocą zależności:

$$z = \frac{1 + I_d}{1 + I_m} \cdot \frac{1 + N_d}{1 + N_m}$$

gdzie: I_d, I_m – intensywność zmian kierunku wiatru o prędkości większej od 5m/s i o prędkości ≤ 5 m/s

N_d, N_m – średni udział wiatru o prędkości > 5 m/s i ≤ 5 m/s na n kierunkach, w okresie objętym badaniami

Intensywność zmian kierunku wiatru można określić korzystając z zależności:

$$I_d = \frac{1,07 \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (N_{di} - \langle N_{di} \rangle)^2}}{\langle N_{di} \rangle} \quad \text{dla prędkości } > 5 \text{ m/s}$$

$$I_m = \frac{1,07 \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (N_{mi} - \langle N_{mi} \rangle)^2}}{\langle N_{mi} \rangle} \quad \text{dla prędkości} \leq 5 \text{ m/s}$$

gdzie: N_{di} – częstość występowania prędkości $> 5 \text{ m/s}$ na kierunku wiatru i , w badanym okresie

N_{mi} – częstość występowania prędkości $\leq 5 \text{ m/s}$ na kierunku wiatru i , w badanym okresie, $i = 1, 2, \dots, 8$

$$\langle N_d \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n N_{di}}{n} \quad \langle N_m \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n N_{mi}}{n}$$

Po podstawieniu x , z do modelu ogólnego otrzymamy bezwymiarowy wskaźnik oceny warunków wietrznych:

$$W_k = \left[\frac{0,5NA_1 + NA_2 + 0,75NA_3}{1 + N(BC)} \right] \left[\frac{1+I_d}{1+I_m} \frac{1+N_d}{1+N_m} \right]$$

Wartościom wskaźnika W_k przypisana jest następująca ocena warunków klimatycznych (wietrznych)

- $\leq 0,20$ – niekorzystne
- $0,20 \div 0,40$ – mało korzystne
- $0,40 \div 0,60$ – przeciętne
- $0,60 \div 0,80$ – korzystne
- $\geq 0,80$ – bardzo korzystne

Przedstawiony powyżej podział jest pewną propozycją Autora. W miejsce przyjętych charakterystyk warunków pogodowych można zastosować inne parametry ilościowe i jakościowe.

5. OCENA ZAGOSPODAROWANIA TERENU

Podstawą oceny wpływu zagospodarowania terenu na warunki mikroklimatyczne środowiska jest struktura zwartej zabudowy terenu oraz zasięg obszarów porośniętych przez roślinność wysoką i niską. Jako potencjał cech ilościowych wskaźnika oceny zagospodarowania terenu Z_t przyjęto udział w ogólnej powierzchni strefy otwartej Z_w a jako opór, udział różnej struktury zabudowy oraz stref zieleni (Z_m) odniesionych do obszaru badanego.

Jako potencjał cech jakościowych uznano występowanie stref o prędkości $\leq 5 \text{ m/s}$ (S_{mi}), zaś jako opór udział stref o zagrożonej równowadze człowieka w obszarze badanym (S_{di}) na kierunku i , $i = 1, 2 \dots n$.

Wskaźnik oceny zagospodarowania terenu przyjmuje postać:

$$Z_t = \left(\frac{Z_w}{1 + Z_m (1 + R_{zs})} \right)^{\left[\frac{1+S_{di}}{1+S_{mi}} \dots \frac{1+S_{dn}}{1+S_{mn}} \right]}$$

$$Z_w = 1 - Z_m (1 + R_{zs})$$

Współczynniki S_{di} oraz S_{mi} wyznacza się z zależności

$$S_{di} = \frac{S_{di}^5}{S_o} \int_i \int_v$$

$$S_{mi} = \frac{S_{mi}^5}{S_o} \int_i \int_v$$

gdzie: S_{di} – pole strefy o prędkości $> 5\text{m/s}$, wywołanej różną strukturą zabudowy przy kierunku wiatru i

S_{mi} – pole strefy o prędkości $\leq 5\text{m/s}$ na kierunku i

$\int_i$ – waga zależna od kierunku wiatru

$\int_v$ – waga zależna od zmian prędkości wiatru

S_o – pole ogólnej powierzchni terenu zurbanizowanego, dla którego prowadzono analizę

R_{zs} – współczynnik zagęszczenia struktur zabudowy

Uzyskane wartości wskaźnika Z_t można pogrupować w przedziały o różnej przydatności zagospodarowania terenu (tab. 2).

Tablica 2. Wskaźnik oceny zagospodarowania w zależności od przydatności terenu

Z_t	Zagospodarowanie terenu
$\leq 0,2$	niekorzystne
$0,2 \div 0,3$	mało korzystne
$0,3 - 0,4$	przeciętne
$0,4 - 0,5$	korzystne
$\geq 0,5$	bardzo korzystne

Podział przyjęty za propozycją K. Błażejczyka przy ocenie bioklimatycznej człowieka.

6. OCENA RZEŻBY TERENU

Potencjał cech ilościowych wskaźnika oceny rzeźby terenu R_t należy traktować jako udział w ogólnej objętości obszaru przestrzeni otwartej Z_{ww} a jako opór, udział w objętości ogólnej obszaru zajętego przez wzniesienie, Z_{mw} .

$$Z_{mw} = \frac{S_s}{S_o} \cdot \frac{H_s^{zast}}{H_o}$$

$$Z_{ww} = 1 - Z_{mw}$$

gdzie: S_s – pole powierzchni podstawy wzniesienia

H_s^{zast} – zastępcza wysokość wzniesienia

$H_o \times S_o$ – objętość przestrzeni analizowanej

Jako potencjał cech jakościowych przyjęto udział strefy terenu S_{mi} o prędkości wiatru korzystnej tj. do 5m/s w ogólnej powierzchni badanej zaś jako opór udział strefy o prędkości niekorzystnej tj. > 5m/s S_{di} dla określonego kierunku wiatru i , $i = 1, \dots, n$.

Pola stref korzystnych i niekorzystnych wyznaczone zostały na drodze symulacji numerycznej dla n kierunków [4].

Wskaźnik oceny rzeźby terenu ma postać

$$R_t = \left(\frac{Z_{ww}}{1 + Z_{mw}} \right) \left[\frac{1+S_{di}}{1+S_{mi}} \dots \frac{1+S_{dn}}{1+S_{mn}} \right]$$

Przy ocenie rzeźby terenu można przyjąć poniższe pogrupowanie wartości wskaźnika R_t (tab.3).

Tablica 3. Wartość wskaźnika oceny rzeźby terenu

R_t	Rzeźba terenu
$\leq 0,25$	niekorzystna
0,25 – 0,50	mało korzystna
0,50 – 0,75	przeciętna
0,75 – 0,85	korzystna
$> 0,85$	bardzo korzystna

7. OGÓLNA OCENA WARUNKÓW MIKROKLIMATU WIETRZNEGO

Z wymienionych wyżej trzech głównych elementów środowiska takich jak klimat, zagospodarowanie terenu, czy rzeźba terenu dwa pierwsze mają podstawowe znaczenie. W związku z powyższym kompleksowa ocena warunków środowiska może być określona poprzez wskaźnik B_k , który wyrażony jest za pomocą:

$$B_k = \frac{K_w + Z_t + 0,5R_t}{3}$$

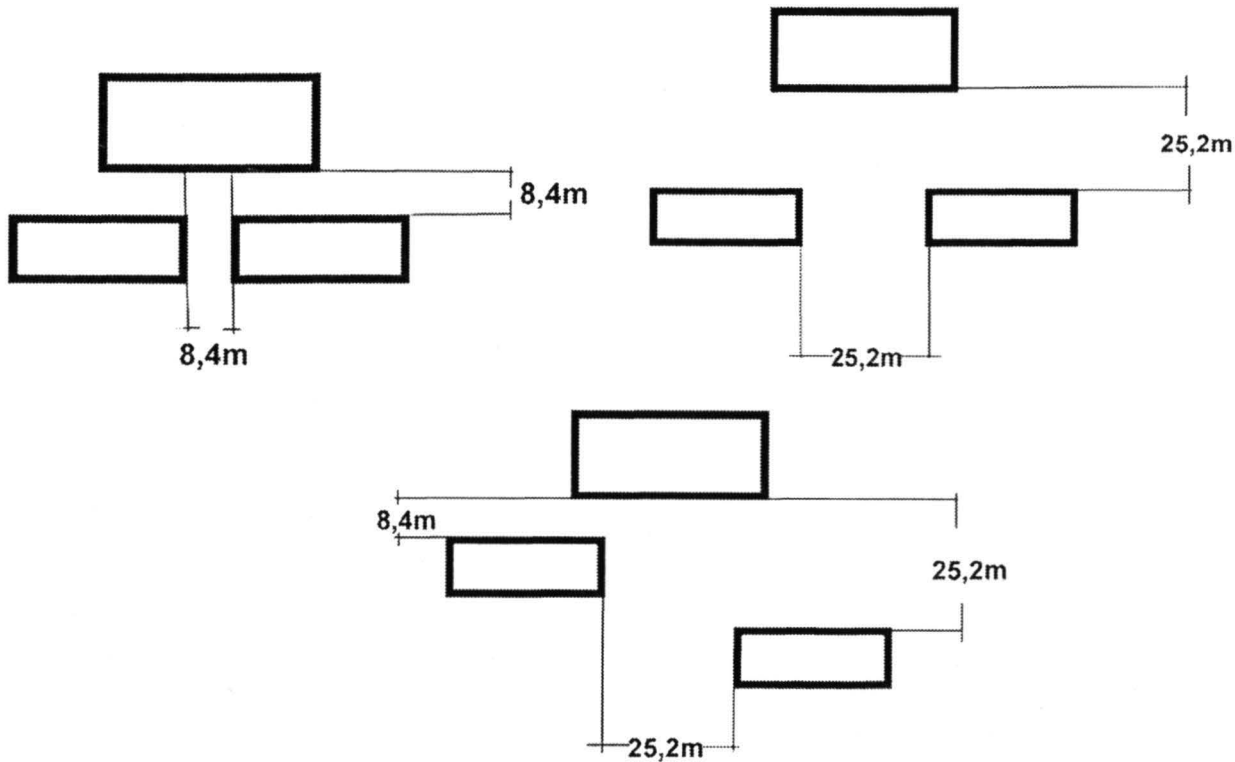
Wartości wskaźnika mogą być pogrupowane wzorując się na propozycji Błażejczyka (tab. 4).

Tabela 4. Wartości wskaźnika kompleksowej oceny warunków środowiska

B_k	Warunki
$\leq 0,175$	niekorzystne
0,176 – 0,317	mało korzystne
0,318 – 0,459	przeciętne
0,460 – 0,574	korzystne
$\geq 0,575$	bardzo korzystne

8. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA METODY

Wykorzystując przedstawione powyżej zależności dokonano oceny warunków mikroklimatu wietrznego dla makroobszaru o prostej strukturze zabudowy, przy różnym stopniu jego zagęszczenia. Na rys.1 przedstawiono schematycznie przyjęte układy zabudowy. Analizie poddano obszar zlokalizowany w rejonie Warszawy. Dane meteorologiczne, będące podstawą oceny warunków wietrznych obejmowały 10 letni okres, od 1976 do 1985 roku.



Rys.1. Analizowane układy zabudowy

Cechy ilościowe warunków wietrznych określono na podstawie analizy częstości występowania poszczególnych grup i podgrup warunków wietrznych. W tabeli 5 przedstawiono częstości występowania grup pogodowych (wietrznych) A, B i C.

Tabela 5. Częstości występowania grup pogodowych wietrznych

Częstość występowania grup wietrznych	Grupy pogodowe					
	A ₁	A ₂	A ₃	B ₁	B ₂	C ₁
	Prędkości wiatru					
	0-1	1-3	3-5	5-8	8-10	>10
NA ₁	0,10					
NA ₂		0,36				
NA ₃			0,31			
NB ₁				0,19		
NB ₂					0,02	
NC ₁						0,02

Korzystając z zależności i wyznaczonych częstości występowania typów pogody wietrznej wynika, że dla badanego rejonu

$$x = \frac{0,5NA_1 + NA_2 + 0,75NA_3}{1 + N(BC)} = 0,52$$

Cechy jakościowe warunków wietrznych określone zostały parametrami intensywności zmian kierunku wiatru oraz częstościami występowania prędkości > od 5m/s i ≤ od 5m/s. Wykładnik potęgowy z funkcji wykładniczej $y = x^z$ wyznaczono z zależności:

$$z = \frac{1 + I_d}{1 + I_m} \cdot \frac{1 + N_d}{1 + N_m}$$

Wykorzystując wspomniane wcześniej dane meteorologiczne dla rejonu Warszawy określono N_{di} i N_{mi} , tj. częstości występowania prędkości > 5m/s i ≤ 5m/s na kierunku wiatru i. W dalszej kolejności wyznaczono intensywność zmian kierunku wiatru I_{di} i I_{mi} oraz wartości średnie występowania prędkości > 5m/s i ≤ 5m/s, N_d , N_m .

Stosując wyznaczone wartości N_d i N_m oraz I_d i I_m określono wartość wykładnika potęgowego $z = 0,63$. Po podstawieniu x i z otrzymano bezwymiarowy wskaźnik oceny warunków wietrznych, $W_k = 0,66$.

Zgodnie z przedstawioną wcześniej skalą wartości wskaźnika W_k wynika, że warunki klimatyczne występujące w analizowanym obszarze można określić jako w miarę korzystne, $W_k > 0,60$.

Kolejnym krokiem w prowadzonej analizie warunków wietrznych jest ocena zagospodarowania terenu. Do rozważań przyjęto strukturę zabudowy o stałej wielkości powierzchni zabudowy lecz zmiennym jej zagęszczeniu. Udział powierzchni zabudowy do powierzchni odniesienia $S_o = 15584m^2$ osiągał poziom $Z_m = 0,09$. Współczynnik zagęszczenia struktur zabudowy R_{zs} kształtował się w granicach od 0,49 do 0,76.

Przyjmując parametr Z_m oraz uwzględniając współczynnik zagęszczenia rozpatrywanych struktur zabudowy uzyskano wartości Z_w por. tab.6, które stanowiły podstawę oceny zagospodarowania terenu Z_t .

Tabela 6. Wartości współczynników Z_m , R_{zs} , Z_w

Struktura zabudowy (wariant)	Udział struktur zabudowy i stref zieleni w ogólnej powierzchni Z_m	Współczynnik zagęszczenia struktur R_{zs} $(1 - R_{sr}/R_o)$	Udział w ogólnej powierzchni przestrzeni otwartej Z_w	Uwagi
I	0,09	0,76	0,84	Powierzchnia zabudowy I $525m^2$ $R_{sr} = 16,6m$ II $414m^2$ $R_{sr} = 35,4m$ III $414m^2$ $R_{sr} = 28m$ Ogólna powierzchnia rozpatrywanego terenu $S_o = 15584m^2$ Promień $R_o = 70m$
II	0,09	0,49	0,87	
III	0,09	0,60	0,86	

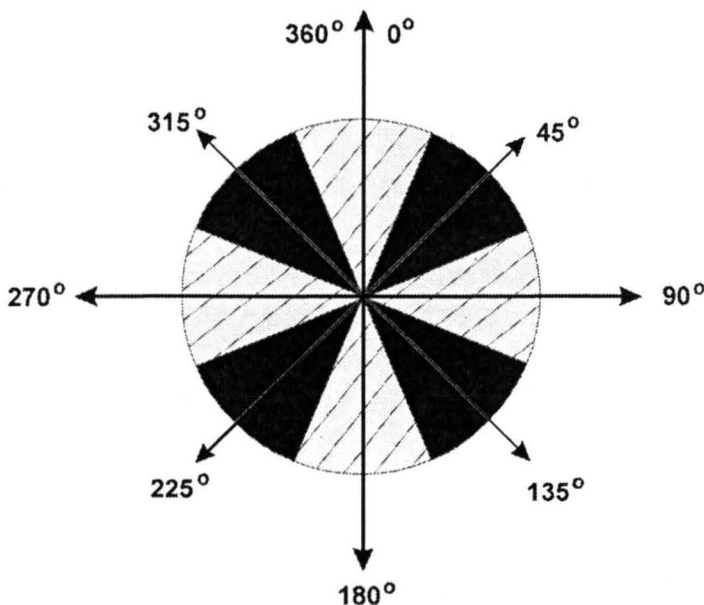
Stosując powyższe dane dla wymienionych trzech struktur zabudowy otrzymujemy $Z_w/1+Z_m(1+R_{zs})$

Wariant I = 0,72

Wariant II = 0,77

Wariant III = 0,75

W dalszej kolejności przeprowadzona została analiza symulacyjna przepływu powietrza wokół analizowanych struktur zabudowy. Jako prędkość wyjściową na poziomie 10m nad powierzchnią terenu przyjęto prędkość 5m/s [5]. Analizy numeryczne wykonano dla 8 kierunków wiatru, por. rys.2. Korzystając z wcześniej przedstawionych zależności możliwe było określenie wartości wskaźników S_{di} i S_{mi} a w dalszej kolejności wskaźnika Z_t .



Rys.2. Kierunki wiatru przyjęte w analizie symulacyjnej

Ostatecznie uzyskano dla trzech wariantów struktur zabudowy wskaźnik zagospodarowania terenu na poziomie $Z_t = 0,990$ – wariant I, $Z_t = 0,992$ – wariant II, $Z_t = 0,991$ – wariant III.

Przyjęto założenie, że teren jest płaski, stąd $R_t = 1$.

Ogólna ocena warunków mikroklimatu wietrznego dla rozpatrywanych trzech wariantów zabudowy kształtowała się na poziomie:

Wariant I $B_k = 0,6233$

Wariant II $B_k = 0,6240$

Wariant III $B_k = 0,6236$

9. WNIOSKI

1. W pracy przedstawiono propozycję modelu oceny warunków mikroklimatu wietrznego oraz dokonano w jej oparciu analizy trzech wybranych struktur zabudowy.
2. Zastosowanie symulacji numerycznej przepływu powietrza wokół zabudowy umożliwiło wyznaczenie stref o określonych prędkościach przepływu.
3. Warunki środowiska wietrznego w analizowanych strukturach zabudowy można określić jako generalnie bardzo korzystne.
4. Na podstawie uzyskanych wyników można przyjąć, że najkorzystniejsze warunki mikroklimatu wietrznego występują w przypadku wariantu pierwszego i trzeciego, mniej korzystne w wariantie drugim.

10. LITERATURA

1. Błażejczyk K., Bioklimatyczna ocena i typologia uzdrowisk Polski, Dokum. Geogr., IGiPZ PAN, 3, 1983.
2. Błażejczyk K., Próba oceny klimatu uzdrowiska metodą modelową, Przegl. Geogr., 52,1, 1980.
3. Kostrowicki A.S., Zastosowanie metod geobotanicznych w ocenie przydatności terenu dla potrzeb rekreacji i wypoczynku, Przegl. Geogr., 42, 4, 1970.
4. Klemm K., Warunki wietrzności w wybranych strukturach urbanistycznych i wybór optymalnych rozwiązań, Praca doktorska, Politechnika Łódzka, 1998.
5. Klemm K., Wielokryterialna optymalizacja budynków i osiedli energooszczędnych, Grant KBN, 2004

Wpływ metylocelulozy na cechy zaczynów gipsowych

Piotr Konca

Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych

1. WSTĘP

Zdrowotne oddziaływanie materiałów gipsowych, ujawniają się zwłaszcza poprzez tworzenie odpowiednich dla organizmu człowieka warunków higieniczno - wilgotnościowych pomieszczeń, czyli właściwego mikroklimatu w budynkach. Dzieje się to dzięki posiadanym przez materiały gipsowe zdolnościom regulacji wilgotności. Gipsy charakteryzują się stosunkowo niską higroskopijnością, tworzywa te łatwo "oddają" jej nadmiar w bardziej suchym okresie i wyrównują poziom wilgotności w powietrzu pomieszczenia.

Obecnie niemożliwym wydaje się stosowanie tradycyjnych materiałów bez udziału domieszek chemicznych. Prawie wszystkie nowoczesne zaprawy mineralne wykonywane są w postaci suchych mieszanek. Redyspergowalne żywice są łatwe w użyciu, ponieważ najczęściej występują w postaci drobnego proszku. Gotowe mieszanki spoiwa, wypełniaczy i dodatków wystarczy na placu budowy wymieszać z wodą, bez innych zbędnych zabiegów.

Współczesne budownictwo mieszkaniowe, poszukując ekonomicznych (energooszczędnych) i ekologicznych rozwiązań materiałowo - konstrukcyjnych w coraz większym stopniu interesuje się wyrobami gipsowymi i systemami budynków gipsowych.

Spojwa gipsowe są materiałami czystymi ekologicznie, o krótkim czasie wiązania i twardnienia, a więc szybko sprawnymi, pozwalającymi szybko i łatwo wykonywać roboty budowlane, wytwarzać elementy budowlane różnych wymiarów, tworzyć dowolne kształty. Proces otrzymywania gipsu półwodnego polega na wypalaniu gipsu dwuwodnego w temperaturach rzędu 160÷180°C. Podczas dehydratacji następuje uwalnianie chemicznie związanej wody. Do wyprodukowania gipsu potrzeba wielokrotnie mniej energii niż ma to miejsce w przypadku cementu czy wapna. Proces hydratacji i dehydratacji jest odwracalny co stawia gips na czele spoiw ekologicznych.

2. PODSTAWOWE SKŁADNIKI

Redyspergowalne proszki polimerowe w przypadku udoskonalonych tynków tradycyjnych wprowadzane są głównie w skład zapraw gipsowych. Ich zadaniem jest zwiększenie przyczepności do podłoża, wytrzymałości na zginanie, wodoodporności tynku,

a także polepszenie technologiczności przygotowywania i nanoszenia zaprawy na podłoże[1].

Domieszki zagęszczające i zwiększające retencję wody, a do grupy tej należą etery celulozy, przede wszystkim metylohydroksyetyloceluloza (MHEC) i metylohydroksypropyloceluloza (MHPC), nazywane są potocznie metylocelulozami. Ich zadaniem jest zwiększenie retencji wody w zaprawie. Dzięki tej właściwości zmniejsza się odciąganie wody z twardniejącej zaprawy do podłoża i zmniejsza się prędkość parowania do otaczającego środowiska, co podwyższa stopień hydratacji, a tym samym i wytrzymałość połączenia zaprawy z podłożem. Jest to szczególnie ważne w przypadkach, gdy zaprawy pracują w kontakcie z podłożami porowatymi. Utrzymując wodę w składzie zaprawy metyloceluloza sprzyja polepszeniu ciekłości, czasu otwartego i urabialności. Dodatkową zaletą stosowania metylocelulozy jest zmniejszenie sedymentacji zaprawy, co ułatwia maszynowe nanoszenie tynku. Do grupy domieszek zagęszczających zaliczane są także etery skrobi. Zwiększają one lepkość zapraw poprawiając urabialność (przede wszystkim zmniejszenie tendencji świeżej zaprawy do spływania z powierzchni pionowych) i pompowność [2].

3. ZATRZYMYWANIE WODY W ZACZYNACH GIPSOWYCH

Jedną z najważniejszych cech, na którą wpływa metyloceluloza jest zdolność do utrzymywania wody. Zdolność ta steruje zachowaniem się zaprawy podczas wiązania, czasem obróbki wyrobów gipsowych. Zdolność świeżej zaprawy do zatrzymywania wody (mierzona poprzez ilość odciągniętej wody z zaczynu) jest udział wody pozostający w chłonnym podłożu po badaniu. Retencja wody zależy od lepkości zaprawy gipsowej i ilości zastosowanego dodatku. Wysoki stopień zatrzymywania wody zapobiega tworzeniu się rys podczas wiązania i twardnienia nawet cienkich warstw z zapraw gipsowych.

Kolejnym zagadnieniem wartym zainteresowania jest czas, w jakim utrzymuje się wilgoć w zaprawach tuż po związaniu i jak dodatek metylocelulozy wpływa na wysychanie zaczynów gipsowych.

4. MATERIAŁ BADANY

Do badań zastosowano gips ceramiczny GC-4I, który przy stosunku w/g 0,72 po 2 godz. osiągał wytrzymałość na zginanie 2,3 MPa, początek czasu wiązania po 17 min i 30 s, a koniec czasu wiązania następował po 28 min i 30 s wg [3]. Domieszkę do zaczynu gipsowego na podstawie informacji uzyskanych od producenta sklasyfikowano jako: metylohydroksyetylocelulozę wysokiej eteryfikacji o stopniu lepkości 14 000 ÷ 18 000 mPas.

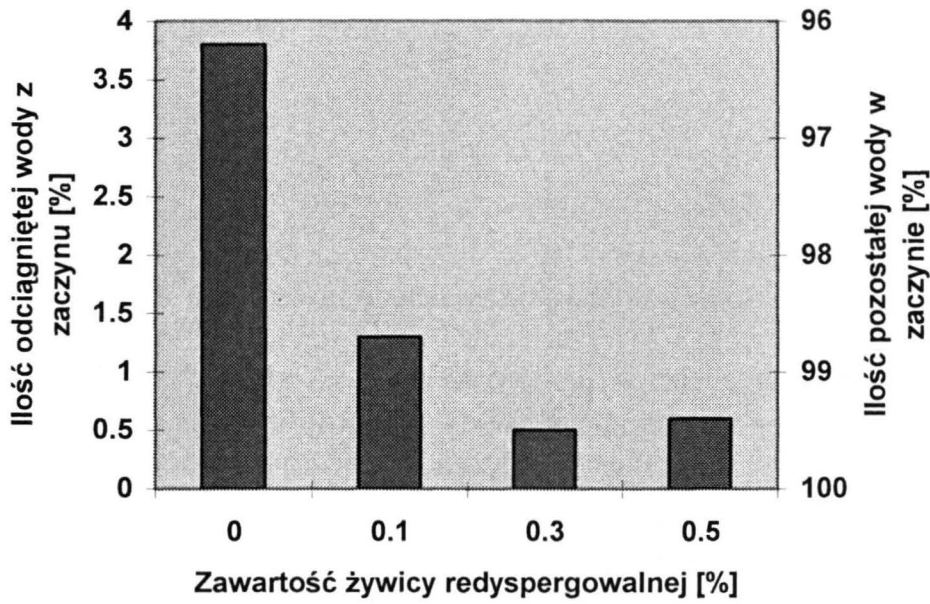
W badaniach wykorzystano zaczyn gipsowy o stosunku wodno-gipsowym równym 0,67 i zawartości dodatku od 0,0 do 0,5% masy gipsu (Tablica 1).

Tablica 1. Zawartość poszczególnych składników

Oznaczenie próbek	Ilość gipsu	Ilość wody	Zawartość dodatku w % masy gipsu
1	60	40	0,0
2	60	40	0,1
3	60	40	0,3
4	60	40	0,5

5. WYNIKI BADAŃ

Zasada badania ilości odciągniętej wody z zaczynu polega na pomiarze masy wody, jaką pochłonie chłonny materiał w postaci bibuły o nasiąkliwości powierzchniowej 180 g/m². Pomiary wykonano na zaczynie w pierścieniu o średnicy 65 mm po upływie 10 minut kontaktu z materiałem chłonnym. Wyniki badań ilości odciągniętej wody z zaczynu przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1. Ilość odciągniętej wody z zaczynu.

Oznaczenie konsystencji poszczególnych serii wykonano mierząc średnicę rozplywu zaczynu, wypływającego z pierścienia pomiarowego o wysokości 50 mm i średnicy 30 mm (wg CEN/TC 193/WG4/TG N 19E).

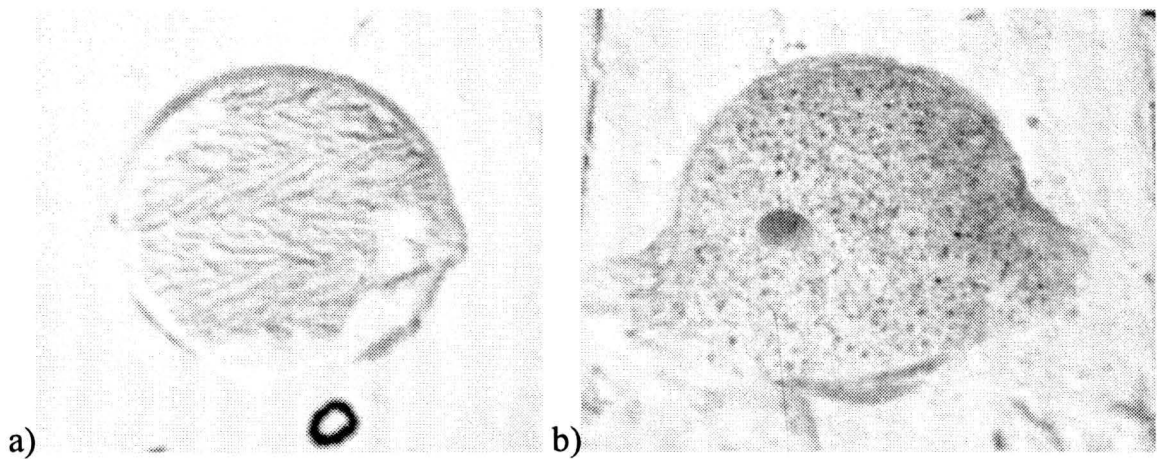
Zestawienie wyników pomiarów konsystencji i przyczepności do podłoża przedstawiono w Tablicy 2. Zmiana konsystencji była proporcjonalna do ilości stosowanego dodatku i z konsystencji półciekłej zmieniła się na konsystencję gęstoplastyczną, co w przypadku próbek serii 4 niemal uniemożliwiało pomiary.

Tablica 2.

Oznaczenie próbek	Konsystencja [cm]	Przyczepność [MPa]
1	9,8	0,5
2	6,3	0,7
3	5,4	0,7
4	4,5	0,6

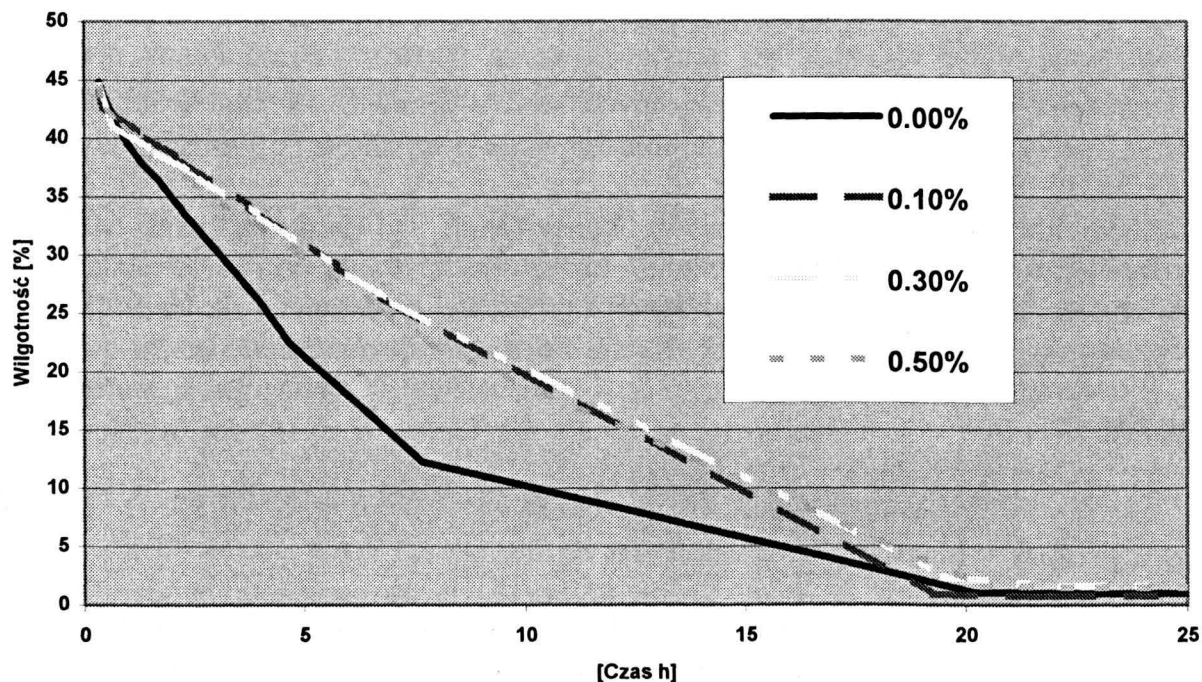
Badania przyczepności do podłoża nie wykazały zasadniczej różnicy między poszczególnymi próbkami. Wszystkie wyniki mieściły się w granicach 0,5 MPa dla próbek serii 1 i 0,6÷0,7 MPa dla pozostałych serii. Jedynie w próbkach nie zawierające

metylocelulozy oderwanie od podłoża następowało na styku zaczyn - podłoże (Rys. 2 a), a w pozostałych przypadkach zerwanie następowało w podłożu (Rys. 2 b).



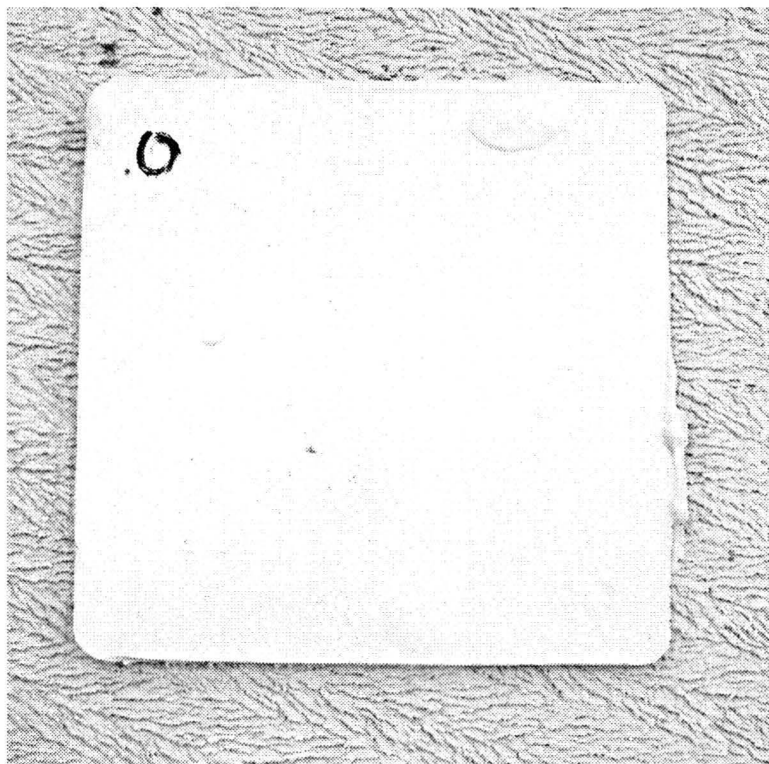
Rys. 2. Sposób oderwania badanego materiału od podłoża

Obserwacje procesu wysychania przeprowadzono na płaskich płytkach o wymiarach 100×100×3 mm z badanego materiału. Pomiary wilgotności próbek wykonano względem materiału wysuszonego do stałej masy. Wilgotność badanych próbek stabilizowała się po około 24 godzinach na poziomie 0,5÷1,5% (Rys. 3). W przypadku próbek z dodatkiem metylocelulozy krzywe niemal się pokrywały.



Rys. 3. Spadek wilgotności próbek podczas wiązania i twardnienia w ciągu 24 h.

Oczekiwano, że na kompozycie po nałożeniu go na podłoże chłonne, w postaci gazobetonu o nasiąkliwości wagowej około 60%, pojawią się rysy lub spękania. Wykonano próby nałożenia warstwy grubości 3 mm, jednak w żadnym przypadku nie pojawiły się rysy czy spękania na powierzchni zaczynu Rys. 4.



Rys. 3. Widok na powierzchnię gipsu nie modyfikowanego, po nałożeniu na podłoże chłonne.

6. WNIOSKI

1. Metylohydroksyetyloceluloza ma duży wpływ na retencje wody w zaczynach gipsowych. Nie celowe jest jednak stosowanie tego dodatku w ilości większej niż 0,3%. Ilość odciągniętej wody z zaczynu jest mniejsza nawet sześciokrotnie, niż w przypadku próbek bez dodatku.
2. Konsystencja świeżej próbki gipsu znacznie się zmieniała wraz ze wzrostem zawartości dodatku. W tym przypadku również dodatek w ilości 0,3% wydaje się maksymalnie dopuszczalnym.
3. Zaobserwowano różnice w wysychaniu próbek modyfikowanych i niemodyfikowanych. Przy grubości warstwy 3 mm proces ten stabilizuje się po około 24 h.
4. Przyczepność kompozytu była warunkowana wytrzymałości podłoża na rozciąganie, jednak w przypadku próbek z metylocelulozą zerwanie następowało w podłożu.
5. Nie zaobserwowano pojawiania się rys i spękań w zaczynach nałożonych na podłoże chłonne. Mogło być to spowodowane zastosowanym rodzajem gipsu lub też za małą intensywnością ruchu powietrza w laboratorium.

6. Badania należałoby powtórzyć w warunkach polowych na tynkarskich zaprawach gipsowych do nakładania mechanicznego, które podczas wiązania i twardnienia narażone byłyby na powstawanie rys i spękań lub też odspajałyby się od podłoża, w wyniku nadmiernego wysychania.

6. LITERATURA

1. Graczek M., Fiszer S.: „ABC tynków. Tynki tradycyjne udoskonalone”. Kalejdoskop Budowlany. Grudzień 2003.
2. „Co tkwi w tynkach”. Rynek chemii budowlanej nr 9/2004.
3. Świadectwo KJ z dnia 10.12.2004 Kopalni Gipsu i Anhydrytu „Nowy Łąd” SP. z o.o. w Niwnicach.

Certyfikat energetyczny budynku z trigeneracją energii – „Berlaymont” Commission européenne

Piotr Narowski, Aleksander Panek
Politechnika Warszawska, Instytut Ogrzewnictwa i Wentylacji

1. WSTĘP

W roku 2004 Dyrekcja Generalna Transportu i Energii Komisji Europejskiej (DG TREN) otworzyła projekt opracowania świadectw energetycznych remontowanego budynku Komisji Europejskiej – „Berlaymont” znajdującego się w Brukseli, do którego zaproszono kraje członkowskie Unii Europejskiej. W założeniach projektu przyjęto, że opracowanie certyfikatów będzie wykonane w ramach przygotowań do wprowadzenia w krajach Unii Europejskiej Dyrektywy 2002/91/EC Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 16 grudnia 2002 r. dotyczącej jakości energetycznej budynków. Dokument ten będzie zobowiązywał państwa członkowskie do wprowadzenia prawa wnoszącego obowiązek wykonywania świadectw energetycznych dla budynków nowo wznoszonych, poddawanych renowacji i sprzedawanych. W związku z kończącym się remontem generalnym siedziby Komisji Europejskiej – budynku „Berlaymont”, instytucja ta chcąc być przykładem dla państw Unii Europejskiej, postanowiła wykonać certyfikaty energetyczne dla tego obiektu, według standardów obowiązujących w poszczególnych państwach członkowskich Unii Europejskiej. Do projektu przystąpiło siedem państw: Austria, Francja, Holandia, Luksemburg, Niemcy, Polska i Portugalia. Na spotkaniu przedstawicieli państw biorących udział w projekcie ustalono, że każde państwo wykona świadectwo energetyczne według własnych procedur, które będą wykorzystywane w Dyrektywie Energetycznej w danym kraju, o ile takie w danej chwili istnieją. W przypadku braku takich procedur certyfikat energetyczny należy opracować według metodologii stosowanej w danym państwie. Na spotkaniu postanowiono również, że świadectwa energetyczne budynku „Berlaymont” będą wykonane dla warunków klimatycznych stolicy każdego z państw biorących udział w projekcie. W tym artykule przedstawiono założenia do obliczeń oraz ich wyniki, które zostały zamieszczone w certyfikacie budynku „Berlaymont” przedłożonym 16 grudnia 2004 w Dyrekcji Generalnej Transportu i Energii Komisji Europejskiej ze strony polskiej.

2. OPIS BUDYNKU

W budynku „Berlaymont” począwszy od roku 1967 do roku 1991 pracowało około 3 000 urzędników Komisji Europejskiej. W 1991 roku Komisja Europejska opuściła

gmach, czego przyczyną było stwierdzenie obecności w konstrukcji budynku 1400 ton azbestu używanego powszechnie w latach sześćdziesiątych przy wykonywaniu elewacji budynków i ochronie cieplnej konstrukcji stalowych. Stwierdzono wówczas znaczne zanieczyszczenie środowiska wewnętrznego budynku oraz jego bezpośredniego otoczenia włóknami azbestu uwalnianego się z materiałów wykorzystanych przy wznoszeniu gmachu. Wraz z opuszczeniem budynku przez Komisję Europejską podjęto decyzję o całkowitej renowacji obiektu. Jej zadaniem miało być usunięcie szkodliwych materiałów zawierających azbest służących do ochrony konstrukcji stalowej budynku oraz całkowita wymiana elewacji.

Autorami projektu renowacji i modernizacji budynku „Berlaymont” w latach 1997-2004 są architekci Pierre Lallemand, Steven Beckers i Wilfried Van Campenhout. Główne modyfikacje wprowadzone w budynku to: owalna sala konferencyjna dla komisarzy o wysokości dwóch kondygnacji zbudowana na szczycie południowo wschodniego skrzydła, nowa konstrukcja mieszcząca trzy sale konferencyjne zbudowana pomiędzy północnymi skrzydłami budynku, podwójna elewacja szklana zbudowana wzdłuż skrzydeł budynku, ze sterowanymi automatycznie ruchomymi panelami szklanymi w zewnętrznej powłoce, zastosowanie dużych przeszklonych powierzchni dachu nad kondygnacjami parteru i kondygnacjami podziemnymi zapewniającymi dostęp światła dziennego do tych przestrzeni.

Przy projektowaniu renowacji i modernizacji budynku „Berlaymont” kierowano się chęcią wykreowania wzorcowego budynku dla celów porównawczych z zakresu jakości środowiska wewnętrznego, bezpieczeństwa użytkowania, minimalizacji zużycia energii oraz funkcjonalności przy jednocześnie racjonalnym użytkowaniu energii dostarczanej do budynku. Powyższe postulaty starano się uzyskać poprzez:

- zainstalowanie podwójnej elewacji w postaci ściany osłonowej zbudowanej z ruchomych paneli szklanych sterowanych automatycznie w zależności od aktualnych warunków atmosferycznych, której celem jest minimalizacja zysków ciepła od promieniowania słonecznego, regulacja natężenia światła naturalnego docierającego do wnętrza budynku oraz ochrona przed wypromieniowywaniem energii przez ściany budynku i hałasem miejskim,
- wymianę przestarzałych systemów ogrzewczych i klimatyzacyjnych,
- zainstalowanie układu trigeneracji energii do produkcji energii elektrycznej, cieplnej i chłodniczej z gazu ziemnego,
- wykorzystanie sprzężonego układu chłodziarek sprężarkowych i agregatu absorpcyjnego z zasobnikiem chłodu w postaci zasobnika lodu wodnego,
- recyrkulację powietrza usuwanego z biur do wentylacji podziemnego parkingu wielopoziomowego,
- uruchomienie zintegrowanego systemu zarządzania oświetleniem budynku z czujnikami obecności w pomieszczeniach, sprzężonym z systemem regulacji położenia paneli zewnętrznej elewacji budynku,
- wprowadzenie centralnego systemu zarządzania systemami ogrzewania, chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji oraz oświetlenia w celu optymalizacji ich pracy
- selektywną segregację odpadów,
- bezpieczne składowanie odpadów toksycznych oraz powtórne wykorzystanie materiałów,

- zainstalowanie 14 wind typu „Miconic” optymalizujących ruch pomiędzy kondygnacjami w budynku,
- poprawę systemu kontroli dostępu do budynku i jego ochrony zewnętrznej i wewnętrznej.

Poniżej zostanie przedstawiony model obliczeniowy oraz system klasyfikacji dla tak zmodernizowanego budynku mieszczącego siedzibę Komisji Europejskiej.

3. CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA BUDYNKU

Poniżej w tabeli 1 przedstawiono wielkości charakteryzujące budynek Komisji Europejskiej „Berlaymont”.

Tablica 1. Wielkości charakteryzujące budynek „Berlaymont”

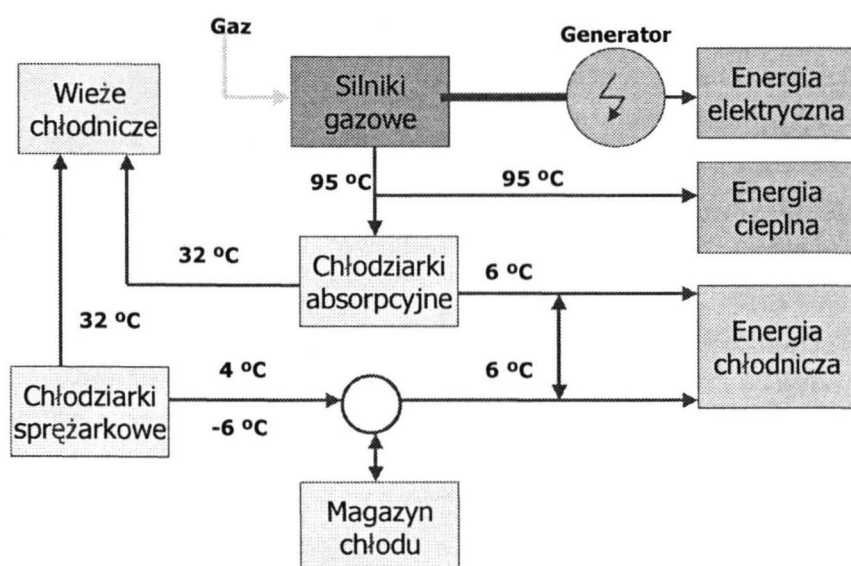
Powierzchnia kondygnacji nadziemnych:	130 309 m ²
Powierzchnia biur:	41 100 m ²
Powierzchnia kondygnacji podziemnych:	111 206 m ²
Powierzchnia całkowita:	241 515 m ²
Powierzchnia zabudowy:	26 200 m ²
Liczba miejsc parkingowych:	1 156
Liczba użytkowników:	2 700 osób
Dzienna liczba gości:	700 osób na dzień
Liczba sal konferencyjnych:	12
Liczba kabin dla tłumaczy:	70
Liczba miejsc w salach konferencyjnych:	880
Liczba miejsc w restauracjach:	900
Liczba miejsc w kawiarniach:	420
Liczba wind:	47 w tym 14 typu „Miconic”
Liczba schodów ruchomych:	12
Zainstalowana moc systemu ogrzewania:	7 800 kW
Zainstalowana moc systemu chłodzenia:	8 900 kW
Przylączeniowa moc elektryczna:	13.000 kVA
Zainstalowane silniki gazowe układu kogeneracji energii:	2 x 1 250 kVA
Moc elektryczna układu kogeneracji energii:	2 500 kVA
Moc cieplna układu kogeneracji energii:	2 600 kW

4. UKŁAD OGRZEWANIA, CHŁODZENIA I TRIGENERACJI ENERGII

System ogrzewania i klimatyzacji budynku został zaprojektowany z założeniem parametrów wewnętrznych w pomieszczeniach budynku od 18°C do 24°C przy temperaturze powietrza zewnętrznego równej 30°C. Przy wzroście temperatury zewnętrznej o 1 K powyżej 30°C założono jednakowy wzrost temperatury wewnętrznej. Biura budynku ogrzewane są i chłodzone przy pomocy paneli promieniujących zamontowanych w suficie podwieszanym, które są zintegrowane z czujnikami obecności w pomieszczeniu. Czujniki obecności zmniejszają moc cieplną i chłodniczą dostarczaną do biur oraz natężenie sztucznego oświetlenia w przypadku nieobecności większej niż 20 min. w

pomieszczeniach. Biura posiadają otwierane okna, które odcinają dostawę energii do wnętrza w przypadku ich otwarcia. Założono że do biur będzie dostarczane klimatyzowane powietrze w ilości higienicznej równej $50 \text{ m}^3/\text{h}$ na jedną osobę co przy założonych wymiarach modułu biur oznacza dwie wymiany powietrza w ciągu godziny. Centrale klimatyzacyjne i węzły rozdzielcze energii cieplnej i chłodniczej rozmieszczone są w każdym skrzydle budynku co dwa piętra. Ich zadaniem jest obsługa dwóch pięter w każdym ze skrzydeł budynku. Pozostałe pomieszczenia budynku jak sale konferencyjne, pomieszczenia multimediiów, restauracje i kawiarnie, magazyny i archiwa są klimatyzowane przy pomocy systemów VAV lub przy pomocy wentylacji wyporowej. Ilości powietrza i energii dostarczanych do tych pomieszczeń są ustalane indywidualnie w zależności od ich przeznaczenia i ilości osób w nich przebywających w danej chwili. Dostawa energii i powietrza do tych miejsc sterowana jest poprzez centralny system zarządzania energią w budynku oparty na układach typu BMS. Pomieszczenia, w których wymagania co do jakości powietrza klimatyzowanego są mniejsze takie jak magazyny i parkingi wykorzystują powietrze odprowadzane z pomieszczeń o wysokim standardzie klimatyzacji, co redukuje ilość energii niezbędnej do obróbki powietrza wentylującego te miejsca. Pomieszczenia, które nie wymagają klimatyzacji ogrzewane są przy pomocy tradycyjnych grzejników konwekcyjnych lub podłogowych.

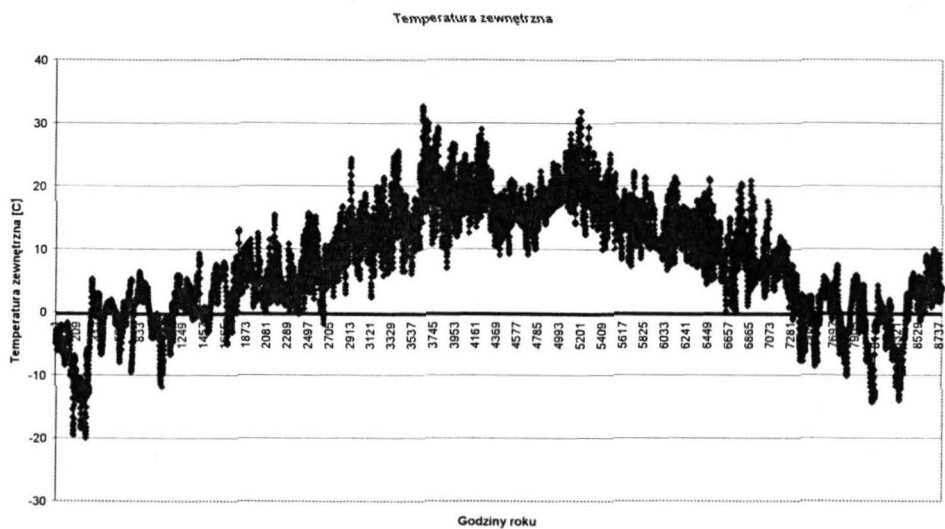
Kotłownia budynku znajduje się na 14 kondygnacji technicznej na poziomie dachu. Wyposażona jest w 3 kotły gazowe o łącznej mocy $2\,600 \text{ kW}$ w tym jeden kondensacyjny oraz trzy generatory pary wodnej o wydajności $1\,800 \text{ kg/h}$ do zasilania układów nawilżania powietrza. Maszynownia systemu chłodzenia rozmieszczona jest w różnych strefach budynku i wyposażona jest w 4 chłodziarki sprężarkowe. Dwie chłodziarki absorpcyjne umieszczone na kondygnacji technicznej zasilane są w ciepło z układu kogeneracji energii. Chłodnie kominowe systemu chłodziarek umieszczone są na dachu dwóch skrzydeł budynku. W celu zmniejszenia mocy maksymalnej układu chłodniczego zastosowano w układzie zasobnik chłodu w postaci magazynu lodu wodnego, który znajduje się w kondygnacji podziemnej budynku. Lód w zasobniku chłodu jest wytwarzany w czasie nocy w okresie zmniejszonego zapotrzebowania na energię chłodniczą. Zmagazynowana energia wykorzystywana jest w czasie szczytów zapotrzebowania na energię do chłodzenia budynku.



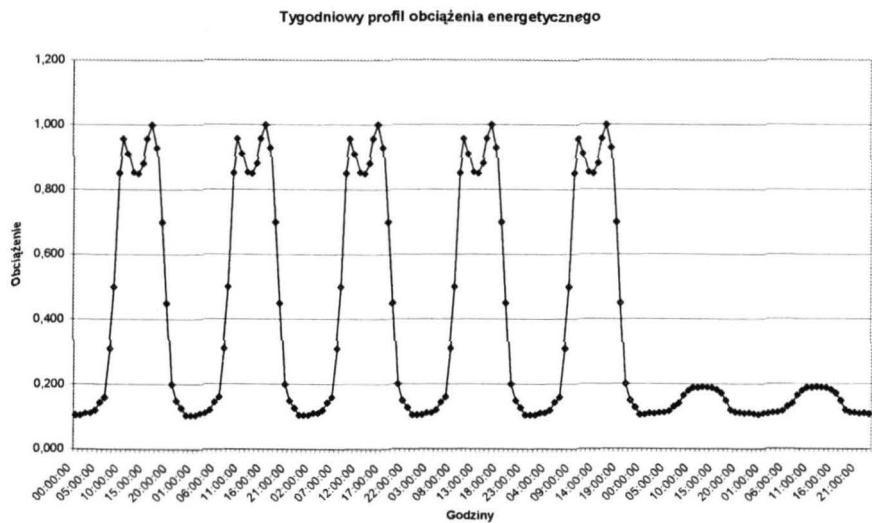
Rys. 1. Schemat ideowy układu trigeneracji energii

Układ trigeneracji energii, którego schemat poglądowy przedstawiono na rys. 1 znajduje się na kondygnacji technicznej na dachu budynku. Składa się on z dwóch silników gazowych napędzających dwa generatory o mocy elektrycznej 1250 kVA i mocy cieplnej 1286 kW każdy. Energia elektryczna wytwarzana przez generatory wykorzystywana jest na potrzeby własne budynku w godzinach pracy wraz z dodatkowym zasilaniem z miejskiego systemu elektroenergetycznego. W czasie obniżonego zapotrzebowania na moc elektryczną energia elektryczna produkowana przez system kogeneracji oddawana jest do sieci elektroenergetycznej. Energia cieplna wytwarzana przez silniki gazowe wykorzystywana jest w zależności od chwilowych potrzeb do ogrzewania lub przekazywana jest do chłodziarek absorpcyjnych gdzie produkowana jest energia chłodnicza. Zasadniczą zaletą takiego układu jest fakt mniejszego zużycia energii i mniejszej emisji dwutlenku węgla przy produkcji skojarzonej wszystkich trzech nośników energii niż przy produkcji rozdzielonej.

5. ZAŁOŻENIA DO ANALIZY ENERGETYCZNEJ BUDYNKU

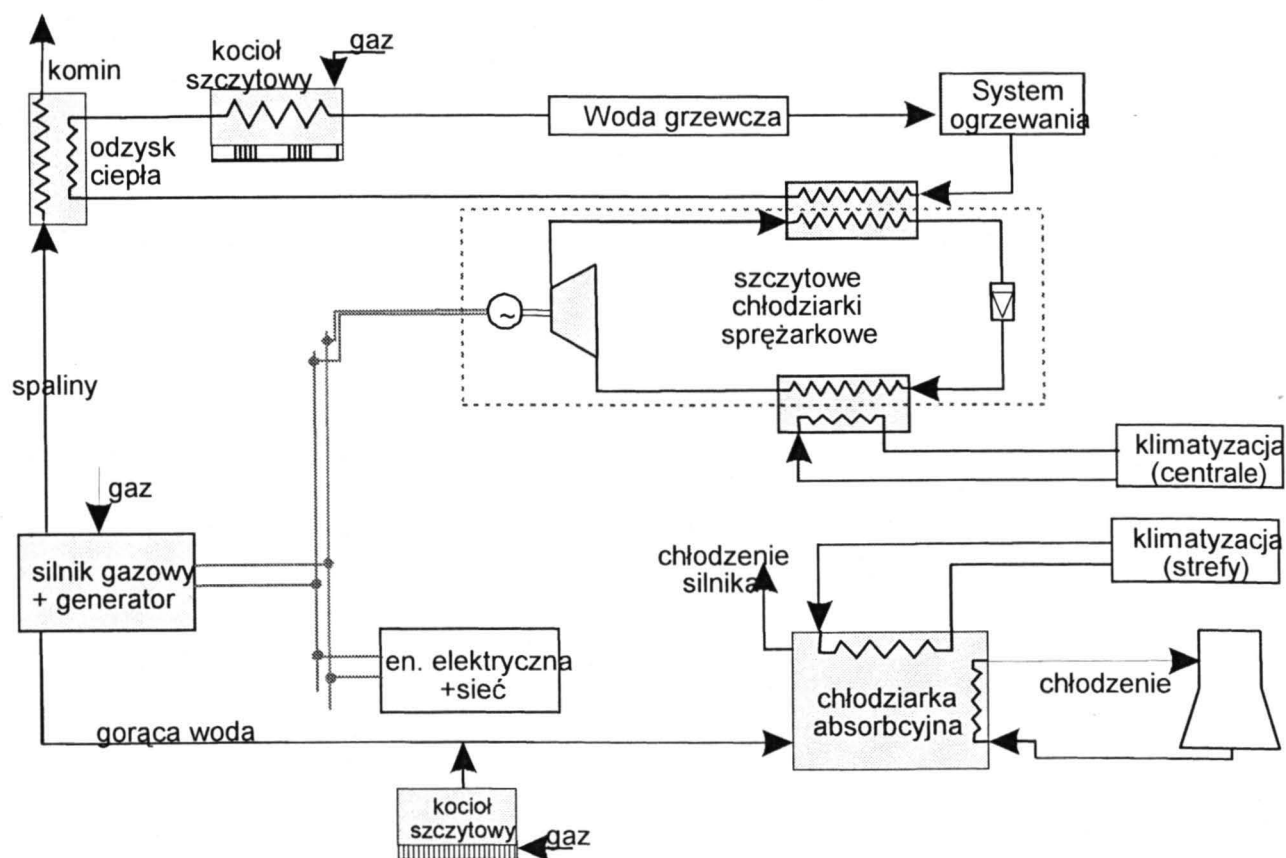


Rys. 2. Roczny wykres temperatury zewnętrznej



Rys. 3. Tygodniowy wykres obciążenia budynku

Przeprowadzona analiza energetyczna zużycia energii przez budynek „Berlaymont” oparta była o statyczną godzinową symulację zapotrzebowania na energię ciepłą, chłodniczą oraz energię elektryczną. W celu przeprowadzenia obliczeń symulacyjnych stworzono model matematyczny wymiany ciepła w budynku, w którym wyróżniono kilkanaście stref o jednakowych wewnętrznych parametrach cieplno-wilgotnościowych. Symulację przeprowadzono dla typowego roku meteorologicznego dla Warszawy wyznaczonego według standardu WYEC2. Roczny wykres temperatury przedstawiono na rys. 2. Obliczenia symulacyjne dla budynku wyznaczały godzinowe zapotrzebowanie na energię ciepłą, chłodniczą i elektryczną na podstawie bilansu energii w strefach oraz zapotrzebowanie na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej. W rachunkach bilansu uwzględniano wymianę ciepła przez powłokę zewnętrzną budynku, występowanie zysków ciepła zewnętrznych i wewnętrznych, wymianę ciepła pomiędzy przegrodami, wymianę ciepła do gruntu przez ściany i płytę fundamentową, ilość ciepła dostarczaną przez system wentylacji i klimatyzacji. Przy obliczaniu zysków ciepła od promieniowania słonecznego uwzględniono orientację budynku, jego zacienienie własne oraz zastosowanie podwójnej elewacji budynku. Do obliczeń chwilowego zapotrzebowania na energię budynku użyto harmonogramy czasowe wykorzystania budynku w czasie dni roboczych i wolnych od pracy przedstawiony na rys. 3. W okresie lipca i sierpnia obniżono o 20 % obciążenie energetyczne budynku ze względu na okres urlopowy pracowników. W wyniku obliczeń symulacyjnych otrzymano godzinowe zapotrzebowanie na energię ciepłą, chłodniczą i elektryczną dla 8760 godzin w ciągu roku. Wielkości te stanowiły zapotrzebowanie na energię netto budynku. Dane te wprowadzono do modelu pracy układu trigeneracji energii.



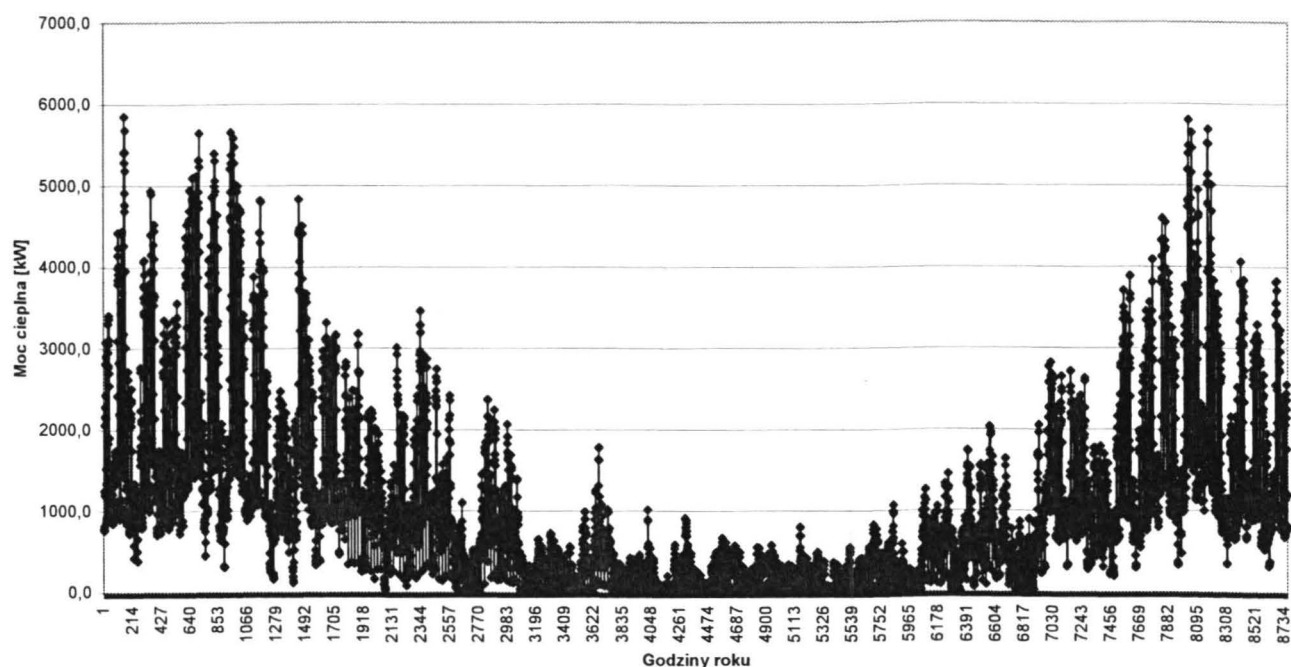
Rys. 4. Schemat układu trigeneracji energii budynku „Berlaymont”

Do obliczenia zapotrzebowania na energię brutto budynku wykorzystano model matematyczny układu trigeneracji energii opracowany dla potrzeb analizy energetycznej budynków biurowych projektowanych w Polsce. Przykładem może być projektowany budynek „Tulipan” w Warszawie. W modelu matematycznym układu trigeneracji przyjęto, że źródłem energii dla budynku „Berlaymont” jest zespół dwóch silników gazowych wytwarzających energię elektryczną i ciepło z paliwa gazowego oraz zespół trzech kotłów gazowych. Energia elektryczna produkowana przez silniki gazowe wykorzystywana jest na cele własne. W przypadku, gdy zapotrzebowanie na moc elektryczną w budynku przekracza moc generatorów energia elektryczna jest kupowana z sieci elektroenergetycznej, natomiast w przeciwnym razie jest ona do niej sprzedawana. Moc cieplna wytwarzana przez silnik gazowy wykorzystywana jest w czasie zimy do ogrzewania i chłodzenia budynku. W przypadku, gdy chwilowe zapotrzebowanie na moc cieplną przewyższa moc cieplną zespołu kogeneracyjnego uruchomione zostają szczytowe kotły gazowe. W okresach przejściowych wytwarzana w sposób ciągły energia cieplna zostaje zmagazynowana w zasobniku ciepła a następnie jest wykorzystywana w czasie chłodniejszych godzinach doby. W obliczeniach założono, że zasobnik energii cieplnej wyrównuje nierównomierności dobowe zapotrzebowania na energię cieplną budynku. W okresie lata energia cieplna wytwarzana przez silniki gazowe wykorzystywana jest do produkcji energii chłodniczej chłodziarkach absorpcyjnych. Sprawność wytwarzania energii chłodniczej w tego typu urządzeniach wynosi około 65%. Dla układu chłodniczego przyjęto rozwiązanie z zasobnikiem chłodu, którego zadaniem jest wyrównywanie nierównomierności rozbioru energii chłodniczej w ciągu doby. W przypadku, gdy moc chłodnicza wytwarzana z mocy cieplnej silników gazowych wraz z mocą chłodniczą zmagazynowaną w zasobniku chłodu nie pokrywa chwilowego zapotrzebowania na energię chłodniczą w budynku zostaje uruchomione szczytowe źródło chłodu w postaci chłodziarek sprężarkowych zasilanych energią elektryczną. Schemat układu trigeneracji energii wykorzystany do obliczeń rocznego zapotrzebowania na energię dla budynku „Berlaymont” przedstawiono na rys.4. W wyniku tych obliczeń otrzymano godzinowe zapotrzebowanie na energię elektryczną pobieraną lub oddawaną do układu elektroenergetycznego oraz zapotrzebowanie na gaz ziemny niezbędny do zasilania szczytowych kotłów gazowych i silników gazowych oraz łączny czas ich pracy w ciągu roku.

6. WYNIKI OBLICZEŃ

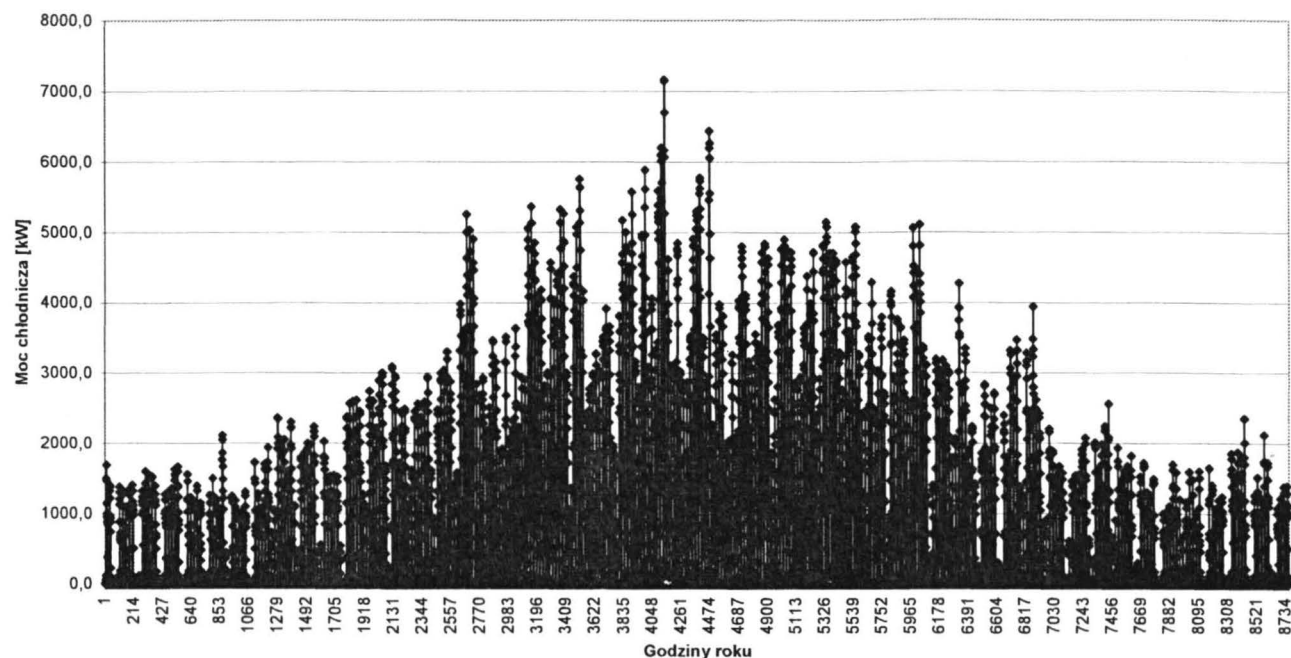
Na rysunkach poniżej przedstawiono wykresy chwilowego zapotrzebowania na moc cieplną i na moc chłodniczą w ciągu całego roku. Na wykresach tych można zaobserwować zjawisko nietypowe dla budownictwa mieszkalnego, jakim jest zapotrzebowanie na energię chłodniczą w czasie zimy. Spowodowane jest ono wielkością wewnętrznych zysków ciepła oraz stosunkiem kubatury budynku do pola powierzchni jego powłoki zewnętrznej. Okazuje się bowiem, że w budynkach tego typu zewnętrzna powłoka budynku, przy stosunkowo wysokich temperaturach zewnętrznych zimą nie jest w stanie rozproszyć energii cieplnej pojawiającej się wewnątrz jako zyski ciepła. Chcąc utrzymać temperaturę na żądanym poziomie należy w okresach szczytów wykorzystania budynku chłodzić jego wnętrze.

Zapotrzebowanie na moc cieplną dla budynku



Rys. 5. Wykres chwilowego zapotrzebowania na moc cieplną w budynku „Berlaymont”

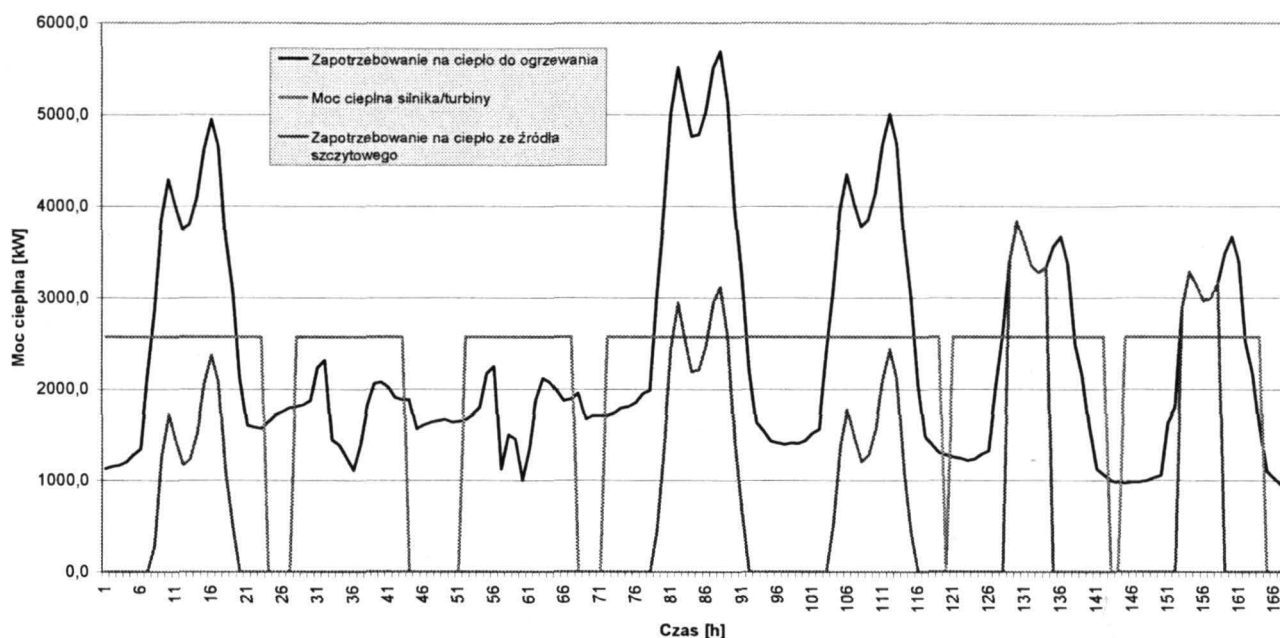
Zapotrzebowanie na moc chłodniczą dla budynku



Rys. 6. Wykres chwilowego zapotrzebowania na moc chłodniczą w budynku „Berlaymont”

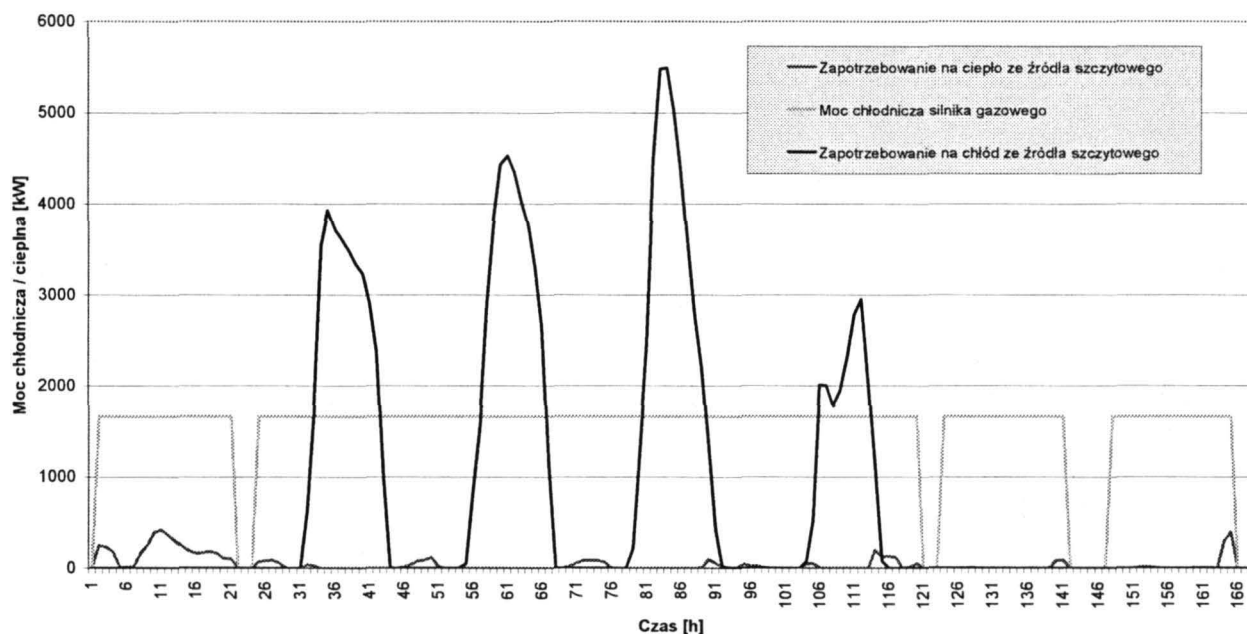
Rysunki poniżej przedstawiają zapotrzebowanie na moc cieplną i chłodniczą w okresie najzimniejszego i najcieplejszego tygodnia w roku. Obrazują one stosunki mocy cieplnej lub chłodniczej wytwarzanej w układzie trigeneracji energii i źródeł szczytowych ciepła i chłodu.

Zapotrzebowanie na moc cieplną dla budynku, moc cieplna silników gazowych i zapotrzebowanie na moc cieplną ze źródła szczytowego podczas najzimniejszego tygodnia



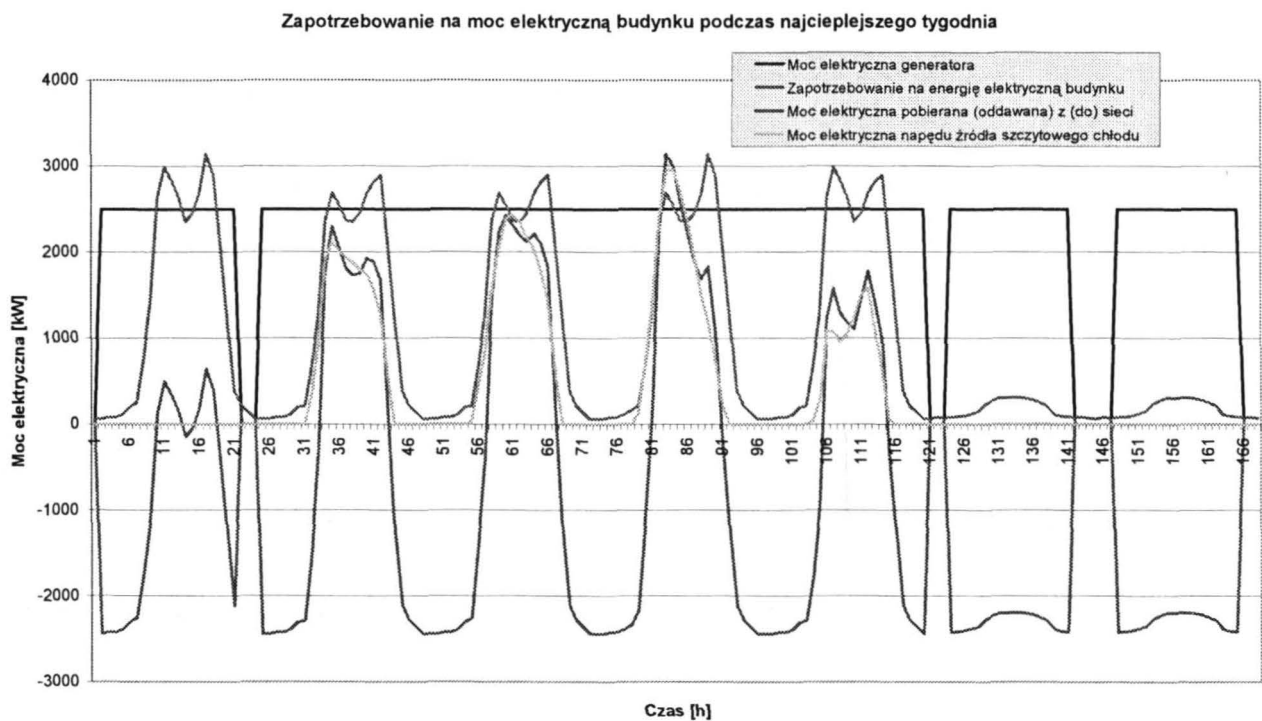
Rys. 7. Moc cieplna silników gazowych oraz szczytowego źródła ciepła podczas najzimniejszego tygodnia roku

Moc chłodnicza silnika gazowego, szczytowego źródła chłodu i moc cieplna szczytowego źródła ciepła podczas najcieplejszego tygodnia



Rys. 8. Moc chłodnicza silników gazowych i szczytowych sprężarkowych agregatów chłodniczych podczas najcieplejszego tygodnia

Na wykresie poniżej można zaobserwować przebieg zapotrzebowania na moc elektryczną budynku w czasie najcieplejszego tygodnia oraz przebieg mocy elektrycznej pobieranej i oddawanej do systemu elektroenergetycznego.

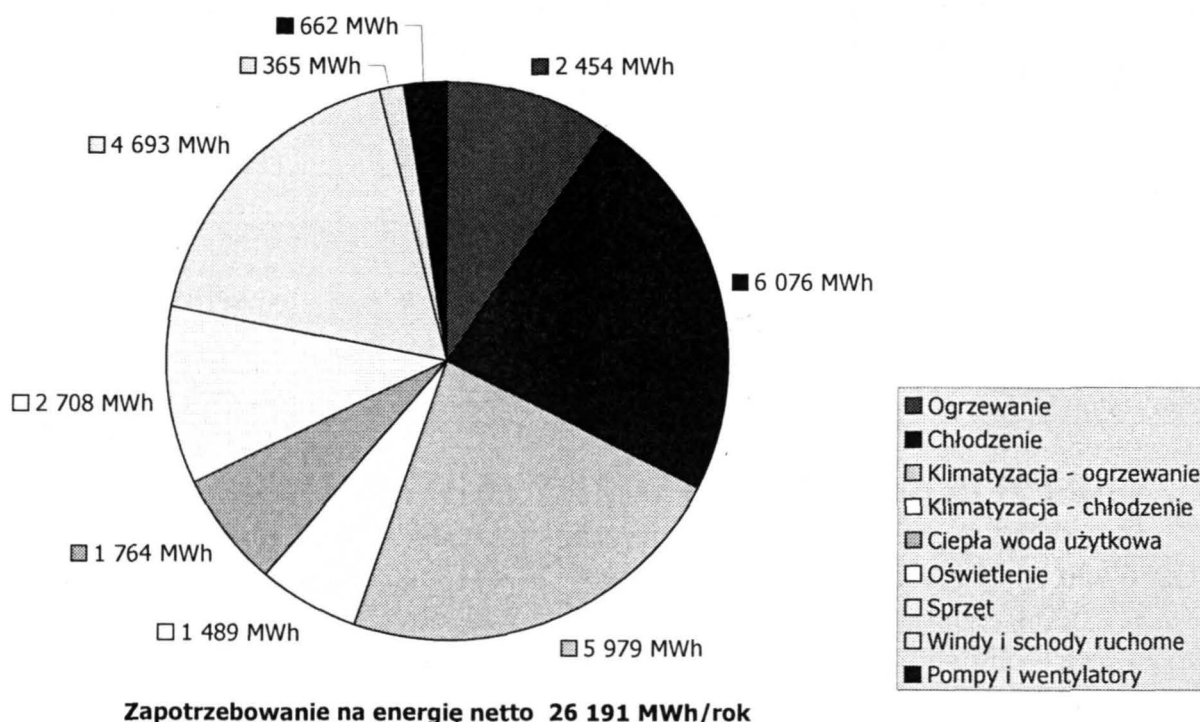


Rys. 9. Zapotrzebowanie na moc elektryczną podczas najcieplejszego tygodnia roku

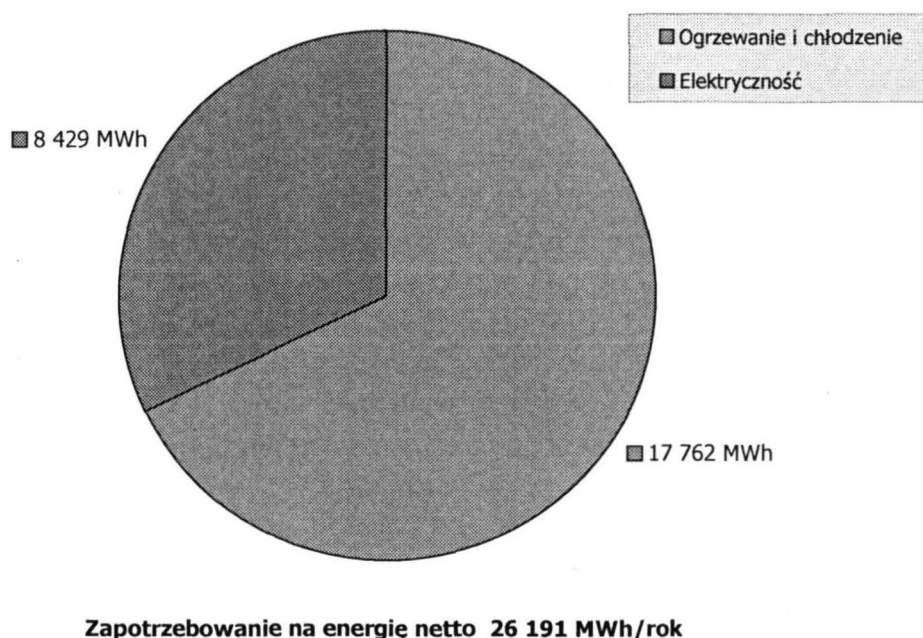
W tabeli 2 zestawiono zapotrzebowanie na energię netto budynku na poszczególne cele. Wielkości te przedstawiono graficznie na rysunku 10. Łączne roczne zapotrzebowanie na energię netto w budynku „Berlaymont” według zaproponowanego modelu obliczeniowego wynosi 94,3 TJ.

Tablica 2. Zestawienie zapotrzebowania na energię netto na poszczególne cele w budynku „Berlaymont”

Ogrzewanie	2454134	kWh	2454	MWh	8835	GJ
Chłodzenie	6075902	kWh	6076	MWh	21873	GJ
Klimatyzacja - ogrzewanie	5979404	kWh	5979	MWh	21526	GJ
Klimatyzacja - chłodzenie	1488764	kWh	1489	MWh	5360	GJ
Ciepła woda użytkowa	1763840	kWh	1764	MWh	6350	GJ
Oświetlenie	2707921	kWh	2708	MWh	9749	GJ
Sprzęt	4693180	kWh	4693	MWh	16895	GJ
Windy i schody ruchome	365241	kWh	365	MWh	1315	GJ
Pompy i wentylatory	662188	kWh	662	MWh	2384	GJ
Łącznie	26190575	kWh	26191	MWh	94286	GJ



Rys. 10. Struktura rocznego zapotrzebowania na energię netto w budynku „Berlaymont”



Rys. 11. Zapotrzebowanie na energię cieplną i chłodniczą oraz energię elektryczną w budynku „Berlaymont”

Zapotrzebowanie na moc i energię netto budynku zostało wykorzystane w modelu trigeneracji energii jako dane wejściowe. Po dokonaniu symulacji pracy systemu zasilania w energię budynku otrzymano zapotrzebowanie na energię brutto do zasilania silników gazowych i kotłów szczytowych oraz bilans energii elektrycznej pobieranej i oddawanej do systemu elektroenergetycznego. Poniżej w tabeli 3 przedstawiono roczne zapotrzebowanie na energię brutto dla budynku „Berlaymont” obliczone według zaproponowanego modelu.

Tablica 3. Zestawienie zapotrzebowania na energię brutto dla budynku „Berlaymont”

Gaz						
Energia paliwa - silniki gazowe	36872829	kWh	36873	MWh	132742	GJ
Energia paliwa - kotły szczytowe	3626584	kWh	3627	MWh	13056	GJ
Energia elektryczna						
Wytworzona	15085000	kWh	15085	MWh	54306	GJ
Zakupiona	1542458	kWh	1542	MWh	5553	GJ
Sprzedana	7522077	kWh	7522	MWh	27079	GJ

7. CERTYFIKAT ENERGETYCZNY BUDYNKU

W wyniku sumowania pola powierzchni wszystkich stref obliczeniowych otrzymano całkowitą powierzchnię budynku równą 241 515 m², z czego na parking przypada 39 528 m². Przyjęta we wskaźnikach rocznego zapotrzebowania na energię powierzchnia użytkowa budynku wynosi 201 987 m², która jest różnicą pomiędzy całkowitą powierzchnią i powierzchnią parkingu.

Obliczone łączne roczne zapotrzebowanie na energię netto dla budynku „Berlaymont” obliczone dla klimatu Warszawy wynosi 26 190 575 kWh/rok co jest równe 94 286 GJ/rok. Wskaźnik zapotrzebowania na energię netto dla budynku „Berlaymont” odniesiony do powierzchni użytkowej wynosi **129,7 kWh/(m² rok)**.

Obliczone łączne roczne zapotrzebowanie na energię brutto budynku wynosi 34 519 794 kWh/rok co jest równe 124 271 GJ/rok. Wskaźnik zapotrzebowania na energię brutto dla budynku „Berlaymont” odniesiony do powierzchni użytkowej wynosi **170,9 kWh/(m² rok)**.

W wyniku analizy energetycznej układu trigeneracji energii oszacowano roczne zapotrzebowanie na gaz ziemny do napędu silników gazowych w ilości 3,79 mln. Nm³/rok, oraz do zasilania kotłów gazowych w ilości 0,37 mln. Nm³/rok. Wskaźnik zapotrzebowania na gaz dla budynku „Berlaymont” wynosi 20,6 Nm³/(m² rok).

W trakcie obliczeń wyznaczono również wskaźnik emisji CO₂ na podstawie ilości spalanej paliwa gazowego w układzie trigeneracji energii w budynku oraz na podstawie ilości energii elektrycznej pobieranej z sieci elektroenergetycznej. W obliczeniach przyjęto, że pobierana z sieci energia elektryczna wytwarzana jest w elektrowni gazowej o sprawności wytwarzania energii elektrycznej na poziomie 35 %. Obliczony dla budynku „Berlaymont” wskaźnik emisji dwutlenku węgla wynosi **41 kg CO₂/(m² rok)**.

Dla potrzeb certyfikatu energetycznego budynku „Berlaymont” utworzono skalę liczbową dla wskaźnika łącznego rocznego zapotrzebowania na energię netto i brutto, wskaźnika rocznej emisji CO₂ oraz klasyfikację literową dla budynków. Skala wskaźników zapotrzebowania na energię dla budynków ma wartość minimalną 50 kWh/(m² rok) i maksymalną 470 kWh/(m² rok) i została podzielona na 7 przedziałów o rozpiętości 60 kWh/(m² rok), którym przypisano wartości literowe od A do G, przy czym klasę A uznaje się za najlepszą. Środki przedziałów przypisanych poszczególnym klasom przypadają na wartościom wskaźnika równym odpowiednio 80, 140, 200, 260, 320, 380 i 440 kWh/(m² rok). Zestawienie klas i przedziałów skali pokazano w tabeli 4 poniżej.

Tablica 4. Klasyfikacja budynków w zależności od wartości wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię netto i brutto dla budynku

Klasa budynku	Wartość minimalna i maksymalna wskaźnika	Środek przedziału
	kWh/(m ² rok)	kWh/(m ² rok)
A	min 50,0 max 109,9	80
B	min 110,0 max 169,9	140
C	min 170,0 max 229,9	200
D	min 230,0 max 289,9	260
E	min 290,0 max 349,9	320
F	min 350,0 max 409,9	380
G	min 410,0 max 469,9	440

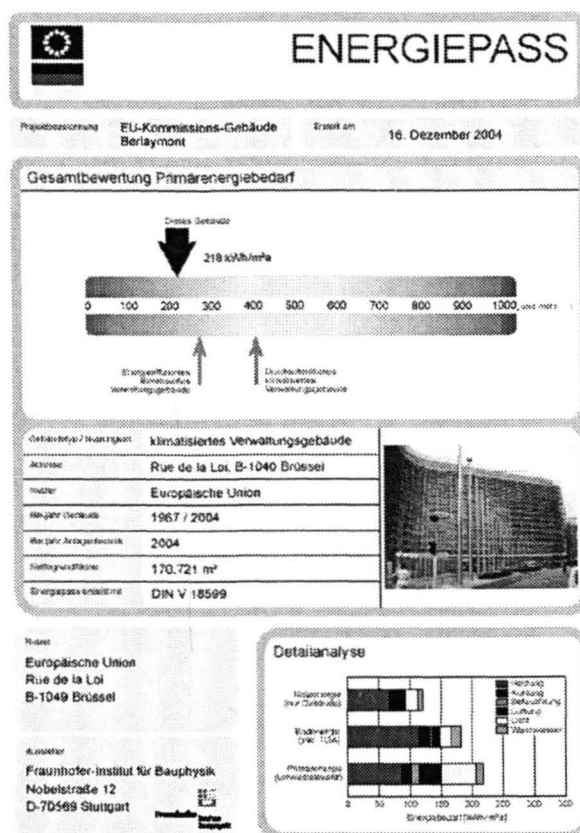
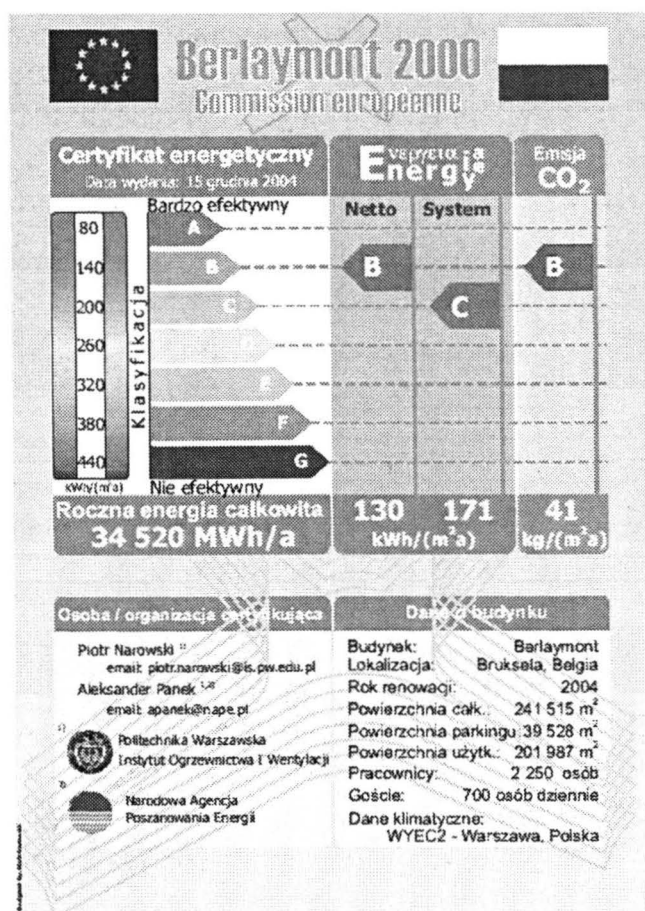
Analogicznie utworzono skalę i klasyfikację dla wskaźnika emisji dwutlenku węgla o zakresie od 10 do 150 kg CO₂/(m² rok) z podziałem na 7 klas o szerokości przedziałów 20 kg CO₂/(m² rok). Skala i klasyfikacja wskaźnika emisji CO₂ została pokazana w tabeli 5.

Tablica 5. Klasyfikacja budynków w zależności od wartości wskaźnika rocznej emisji dwutlenku węgla

Klasa budynku	Wartość minimalna i maksymalna wskaźnika	Środek przedziału
	kg CO ₂ /(m ² rok)	kg CO ₂ /(m ² rok)
A	min 10,0 max 29,9	20
B	min 30 max 49,9	40
C	min 50,0 max 69,9	60
D	min 70,0 max 99,9	80
E	min 100,0 max 109,9	100
F	min 110,0 max 129,9	120
G	min 130,0 max 149,9	140

Na podstawie przygotowanych skal i klasyfikacji wskaźników oraz na podstawie wykonanych obliczeń symulacji energetycznej budynku „Berlaymont” i analizy pracy jego układu trigeneracji energii zakwalifikowano siedzibę Komisji Europejskiej do klasy B według wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię netto, do klasy C według wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię brutto oraz do klasy B na podstawie wskaźnika emisji CO₂. Wartości te przedstawiono graficznie na certyfikacie energetycznym budynku „Berlaymont” przekazanym do Dyrekcji Generalnej Transportu i Energii Komisji Europejskiej w Brukseli.

Na rysunkach poniżej przedstawiono certyfikaty energetyczne budynku „Berlaymont” oddanego do użytkowania 2004 po renowacji i modernizacji przekazane do Dyrekcji Generalnej Transportu i Energii Komisji Europejskiej 16 grudnia 2004 przez stronę polską i niemiecką.



Rys. 12. Certyfikaty energetyczne budynku „Berlaymont” przekazane przez Polskę i Niemcy do Dyrekcji Generalnej Transportu i Energii Komisji Europejskiej 16 grudnia 2004 r.

8. WNIOSKI

Opisany w artykule przykład opracowania świadectwa energetycznego budynku Komisji Europejskiej „Berlaymont” położonego w Brukseli obrazuje złożoność tego procesu. Oczywiście zastosowana metodologia wyznaczania wskaźników energetycznych jest znana jakkolwiek dla złożonych systemów takich jak ogromne budynki biurowe wyposażone w złożone systemy trigeneracji energii stwarzają wiele problemów obliczeniowych. W obiektach tej wielkości często można się spotkać z paradoksalnymi na pozór problemami takimi jak na przykład wymóg chłodzenia budynków w czasie zimy przy temperaturze powietrza zewnętrznego w ciągu dnia oscylujących w okolicy 0 °C. Zjawisko to spowodowane jest wielkością zysków ciepła generowanych wewnątrz budynku. Trzeba mieć na uwadze, że moc elektryczna zainstalowana w rozpatrywanym budynku wynosi 13 MW. Jeżeli przyjąć, że chwilowa moc elektryczna pobierana przez budynek w okresie szczytu wynosi 7 MW to około 50 % tej energii pojawi się wewnątrz w postaci zysków ciepła. Innym interesującym zjawiskiem w obiektach o ogromnej kubaturze jest problem rozpraszania energii cieplnej generowanej wewnątrz przez powłokę zewnętrzną budynku. Okazuje się bowiem że wraz z rosnącą kubaturą budynku maleje stosunek jego powierzchni zewnętrznej do jego kubatury co zmniejsza efektywność rozpraszania energii generowanej wewnątrz do środowiska zewnętrznego przez powłokę budynku. Oba te zjawiska prowadzą do wymogu chłodzenia wnętrza budynku w okresach dobowych szczytów ich użytkowania.

Zastosowany do opracowania certyfikatu system klasyfikacji wskaźników rocznego zużycia energii i emisji dwutlenku węgla oraz metodologia obliczeń jest rozwiązaniem zaproponowanym przez autora do rozwiązania zagadnienia certyfikacji konkretnego budynku. Konstrukcja skali i systemu klasyfikacji wynika z doświadczeń przy analizach energetycznych budynków i rozmów prowadzonych w czasie spotkań przedstawicieli poszczególnych państw biorących udział w opracowywaniu certyfikatów dla budynku „Berlaymont”. Zastosowany system klasyfikacji nie jest w żadnym stopniu obowiązujący i nie jest jedynym możliwym rozwiązaniem, które mogłoby być zastosowane przy wprowadzaniu Dyrektywy Europejskiej dotyczącej jakości energetycznej budynków w Polsce. Otwarte pozostaje także pytanie czy należy zastosować jeden wskaźnik efektywności energetycznej budynku czy też należałoby zastosować wiele wskaźników w zależności od celu na jaki jest wykorzystywana energia? Odpowiedzi na to pytanie i wiele innych dotyczących metodologii obliczeń energetycznych budynków powinny zostać rozstrzygnięte przed wprowadzeniem Dyrektywy Energetycznej w Polsce.

9. LITERATURA

1. ”« Berlaymont » Energy Performance Evaluation, Building Data Collection” – Shell Document – DB TREN September 2004
2. A. Panek, P. Narowski – “Report of Calculation and Certificate for « Berlaymont »Building” – Berlaymont Working Group – DG TREN, 16 December 2004 – Internal document
3. P. Narowski, A. Wiszniewski – „Wyniki symulacji energetycznej układu trójgeneracyjnego w budynku „Tulipan” wraz z uproszczoną analizą ekonomiczną” – opracowanie Narodowa Agencja Poszanowania Energii, Warszawa, maj 2004
4. P. Narowski, A. Wiszniewski – „Wyniki uproszczonej analizy energetyczno-ekonomicznej układu trójgeneracyjnego dla Centrum Onkologii i Instytutu Hematologii i Transfuzjologii w Warszawie” – opracowanie Narodowa Agencja Poszanowania Energii, Warszawa, lipiec 2004
5. Strona internetowa konsorcjum „Berlaymont 2000” - <http://www.berlaymont2000.com>

Wentylacja pomieszczeń a oszczędność energii w budynku

Aleksander Pawłowski

Politechnika Łódzka, słuchacz Studium Doktoranckiego

1. WSTĘP

Ciągły wzrost cen energii podyktowany malejącymi w szybkim tempie światowymi zasobami paliw spowodował, że jednym z czołowych mierników postępu technicznego w dzisiejszym przemyśle jest oszczędność energii. Kryteria te nie pomijają również i budownictwa będącego czołowym odbiorcą energii w różnych postaciach.

Obecnie na cele eksploatacji budynków świat zużywa 1/3 nawet do 1/2 ilości paliw. Równocześnie porównując rzeczywisty rozwój techniki ogrzewania, energochłonność procesów budowlanych czy samej konserwacji energii z innymi dziedzinami można stwierdzić, że postęp w tym kierunku jest stosunkowo nieznaczny.

Niezależnie od metody wytworzenia należy wziąć pod uwagę, że największą rezerwą energii dostępnej stosunkowo niskim kosztem jest oszczędność w jej zużyciu. Rozpatrując strukturę zużycia energii w budynku można zauważyć, że w celu redukcji jego zużycia największe zmiany pożądane są w obszarze zmniejszenia strat ciepła w budynkach.

Na zużycie energii cieplnej ogrzewanego budynku składają się:

- straty ciepła przez ściany zewnętrzne ok. 20-35% zużytej energii,
- **straty ciepła na ogrzanie powietrza wentylacyjnego 20-30%**
- straty ciepła przez okna 15-20%
- straty ciepła przez dach 10-20%
- straty ciepła przez piwnicę 5-10%

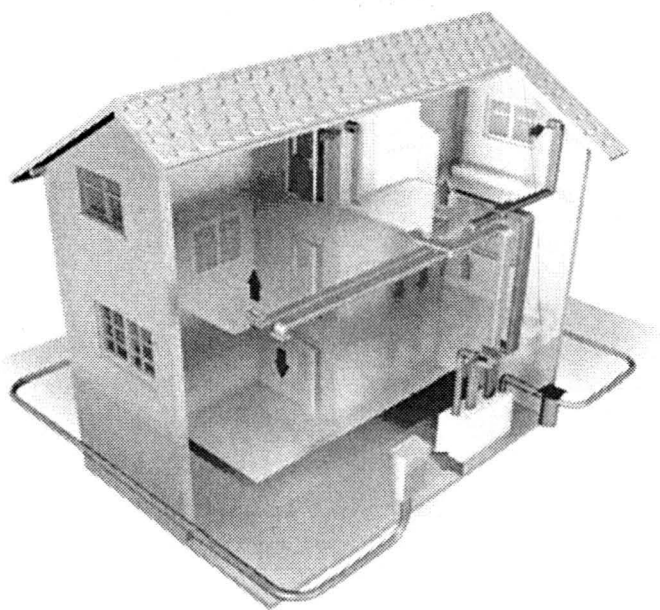
2. ARGUMENTY STOSOWANIA WENTYLACJI MECHANICZNEJ

Widoczny, masowy wzrost prac dociepleniowych elewacji oraz wymiany stolarki okiennej i drzwiowej jest to aktualnie najczęściej stosowanym rozwiązaniem na obniżenie kosztów eksploatacji obiektów budowlanych i szybkim czasie zwrotu kosztów inwestycji.

Większość wykonawców/inwestorów zapomina bądź nie wie jednak, że wraz z doszczelnieniem przegród, naraża budynek i użytkowników na problemy wynikające z niewystarczającej wentylacji pomieszczeń – nadmierna wilgotność, złe samopoczucie ludzi przebywających wewnątrz pomieszczeń, częste wykroplenia pary wodnej na ścianach, a nawet pojawiające się wykwity grzybów.

Nieprawidłowości te są zazwyczaj następstwem odcięcia dopływu świeżego powietrza przez nieszczelności przegród i zburzenia założeń dla wentylacji grawitacyjnej w budownictwie tradycyjnym.

Jedynym rozsądnym rozwiązaniem na powyższe problemy jest mechaniczne wprowadzenie świeżego i takie samo usunięcie „zużytego”, zawilgoconego powietrza przy zastosowaniu systemów mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej. W większości nowoczesnych, dobrze izolowanych budynków jest to wręcz jedyne możliwe rozwiązanie pozwalające na odpowiednie przewietrzanie pomieszczeń.



Rys. 1. Schemat rozprrowadzenie systemu wymuszonej wentylacji nawiewno wywiewnej w budynku mieszkalnym.

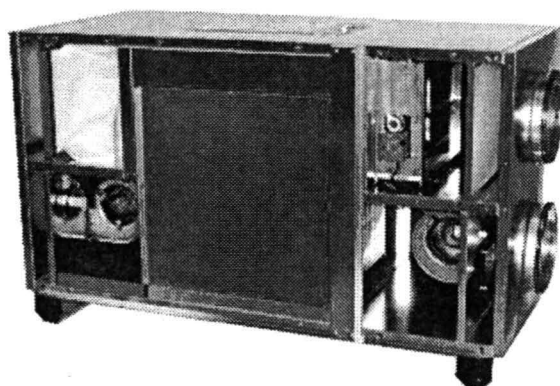
3. ODZYSK CIEPŁA ZE ZUŻYTEGO POWIETRZA

Odpowiednie przewietrzanie pomieszczeń dobrze zaizolowanego budynku (grawitacyjne czy mechaniczne), z pominięciem nowoczesnych technik konserwacji energii jest przyczyną powstawania ponad jednej czwartej strat w jego bilansie ciepła. W dobie współczesnych technologii budowlanych istnieją jednak rozwiązania pozwalające na niemalże całkowite zatrzymanie ciepła zawartego w powietrzu wywiewanym na zewnątrz na rzecz świeżego, wtłaczanego wnętrza nie ograniczając wielkości strumienia wymiany powietrza.

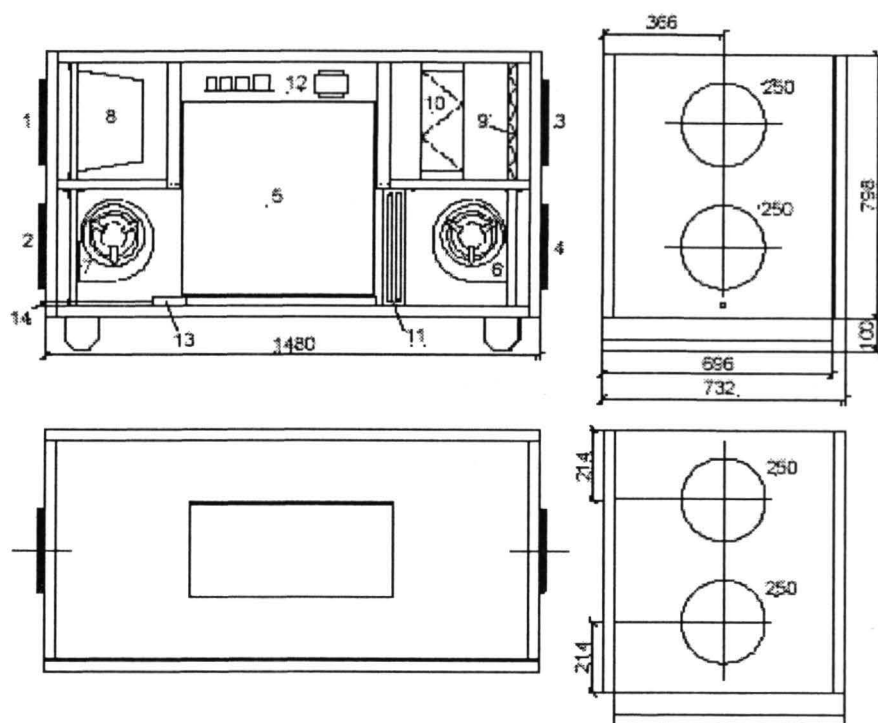
Warunkiem efektywnego działania takiego systemu jest szczelny obiekt, w którym niemalże cały przepływ powietrza do i na zewnątrz budynku realizowany jest przez obieg mechanicznej wentylacji wymuszonej.

Również i w tej dziedzinie widoczny jest znaczny postęp. Sprawności rekuperatorów (bo tak wymienniki do odzysku ciepła z powietrza) montowanych w obiektach budowlanych jeszcze 5-10 lat temu sięgały 40%, gdy najnowsze urządzenia o tej nazwie osiągają sprawność przekraczającą 90%. Inwestycja jaką jest instalacja wentylacji mechanicznej wraz z odzyskiem ciepła jest z pewnością przedsięwzięciem o wieloletnim czasie zwrotu, jednak jego dokładne określenie może być dość skomplikowane biorąc pod uwagę szereg walorów jakie za sobą niesie, tj.:

- podniesienie komfortu klimatycznego budynku,
- filtracja powietrza,
- skuteczne usuwanie przykrych zapachów,
- brak przeciągów, hałasu ulicznego,
- likwidację nadmiernej wilgoci z pomieszczeń,
- stały (niezmienny) dopływ świeżego powietrza
- znaczne oszczędności w kosztach ogrzewania.



Rys. 2. Centrala wentylacyjna wbudowanym wymiennikiem przeciwprądowym.



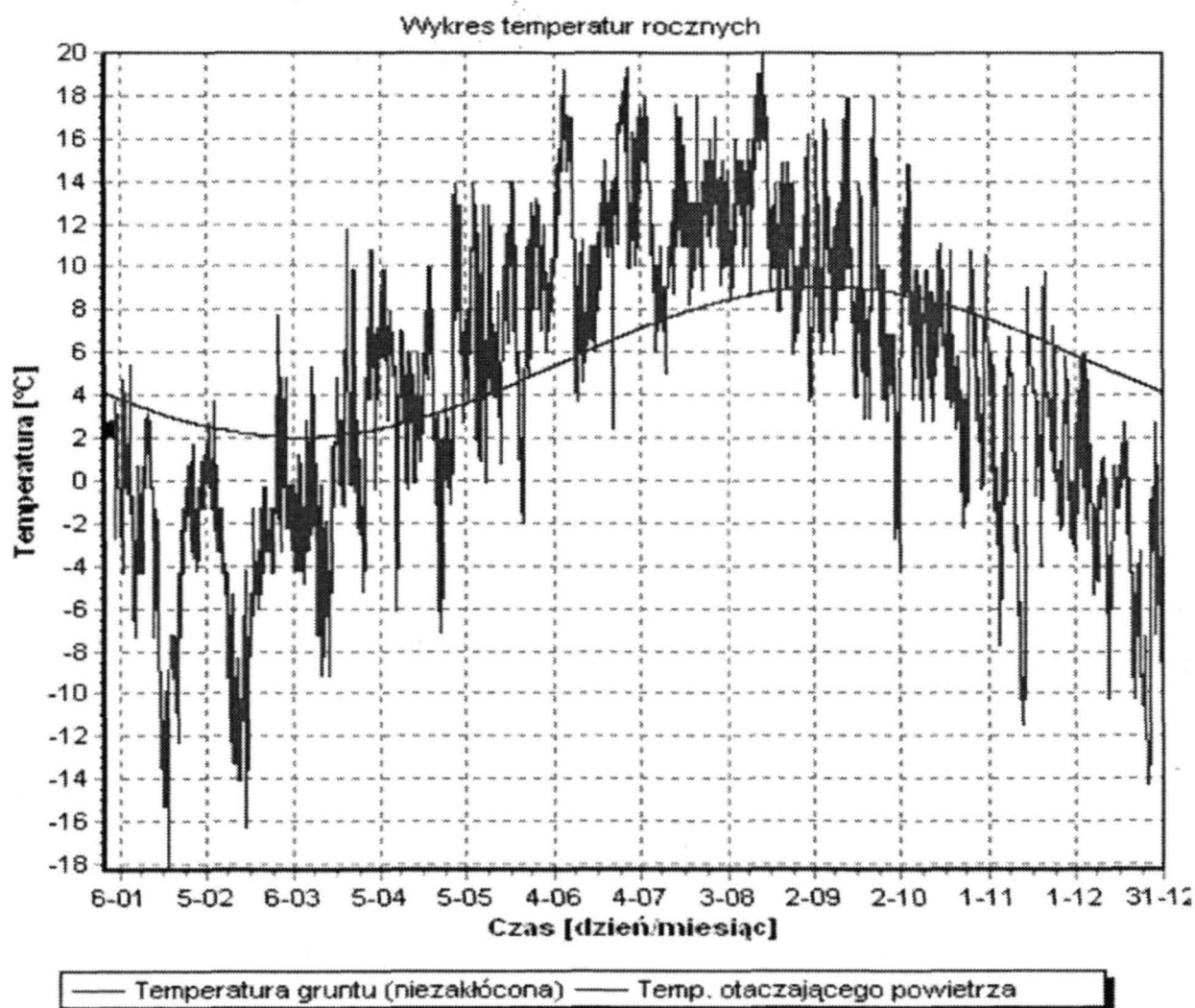
- | | |
|------------------------------------|---|
| 1: świeże powietrze zewnętrzne | 8: filtr świeżego powietrza |
| 2: wyrzut powietrza zużytego | 9: filtr powietrza zużytego |
| 3: wyciąg powietrza z pomieszczeń | 10: przepustnica by-pass |
| 4: nawiew powietrza do pomieszczeń | 11: nagrzewnica wodna |
| 5: wymiennik przeciwprądowy | 12: elektryczna skrzynka przyłączeniowa |
| 6: wentylator nawiewu | 13: odpływ kondensatu |
| 7: wentylator wyciągu | 14: dzwiczki serwisowe |

Rys. 3. Schemat budowy centrali wentylacyjnej z odzyskiem ciepła.

4. NATURALNE SYSTEMY WSTĘPNEJ OBRÓBKİ TERMICZNEJ POWIETRZA WENTYLACYJNEGO

Przebojem w nowoczesnych instalacjach wentylacyjnych w ostatnich latach jest idea wstępnej obróbki powietrza czerpanego z zewnątrz budynku z wykorzystaniem akumulacji i bezwładności cieplnej mas ziemi. Jak wiadomo środowisko atmosferyczne w odniesieniu do występującego pod powierzchnią gruntu jest nieporównywalnie bardziej niestabilne termicznie. Duże masy ziemi podczas całorocznych zmian (wpływów) nasłonecznienia, deszczu czy wiatru w porównaniu z niewielką pojemnością cieplną atmosfery są znacznie mniej podatne na jakiekolwiek zmiany temperatur, będąc jednocześnie znakomitą akumulatorem energii całorocznie od promieni słonecznych. Warunki takie stworzyły ideę przejścia stabilnych temperatur gruntu (patrz Rys. 4.) na rzecz włączanego do budynku powietrza.

W powyższej sytuacji inżynierowie „ekolodzy” opracowują różnego rodzaju wymienniki ciepła mające za zadanie przy znikomym nakładzie pracy urządzeń pompujących stabilizować temperaturę powietrza czerpanego do budynku.

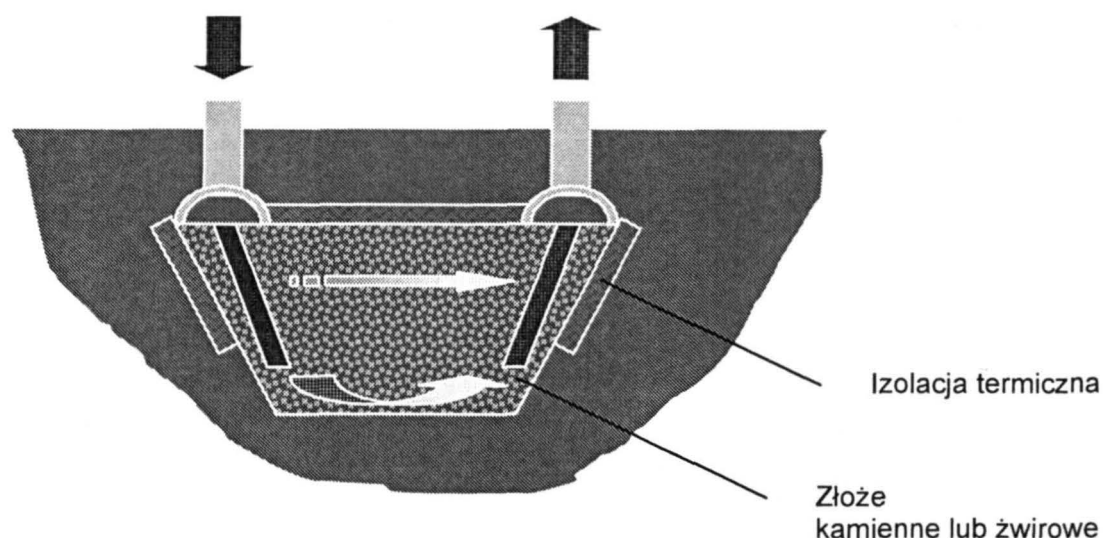


Rys. 4. Porównanie całorocznych wahań temperatur powietrza atmosferycznego nad powierzchnią ziemi oraz gruntu na głębokości 2m.

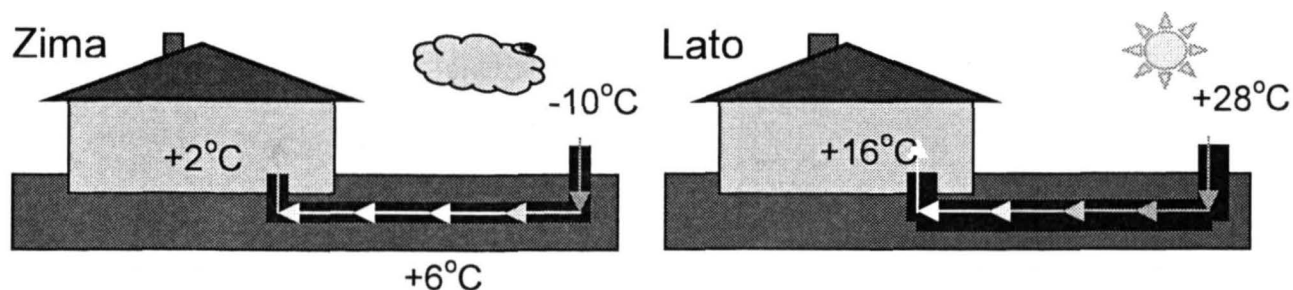
Najczęstszym scenariuszem opisywanej obróbki wstępnej powietrza jest: świeże powietrze zasysane przez czerpnię terenową prowadzone jest do centrali przez specjalnie uformowane złożo kamienne (Rys. 5.), bądź sieć kanałów usytuowanych pod powierzchnią ziemi na głębokości 1,5-2m (Rys. 6., Rys. 7.), na całej drodze przepływu wyrównując temperaturę z otaczającym je gruntem.

Korzyści idące z tego rozwiązania wyczuwalne są zarówno latem i zimą (Rys. 6.). Zimą powietrze czerpane do centrali przepływając przez wymiennik gruntowy pobiera ciepło z ziemi, podnosząc tym samym swoją temperaturę nawet o kilkanaście stopni Kelwina i pozwalając na skuteczniejszą pracę rekuperatora. Latem nawiewane powietrze jest ochładzane i stanowi swojego rodzaju naturalną klimatyzację pomieszczeń.

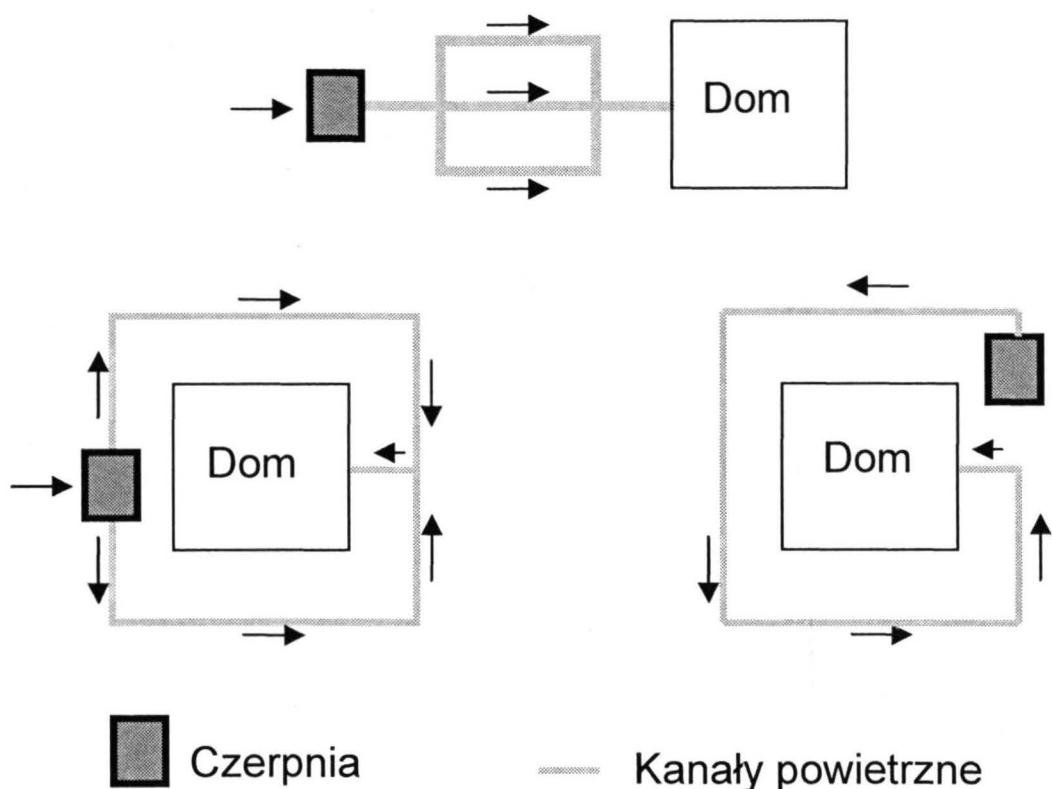
Dobrej klasy centrale wentylacyjne wyposażone są w tzw. bypass pozwalający bądź zatrzymanie rotora (w przypadku wymienników rotacyjnych) w okresie letnim i przeprowadzenie nawiewanego powietrza poza pracującym wymiennikiem oraz wyrzucenie nadmiaru ciepła na zewnątrz budynku. Pracą takiej centrali (przepustnic, wentylatorów, nastaw czasowych i temperaturowych) zarządza zazwyczaj zdalny sterownik elektroniczny pozwalając na pełną kontrolę jej pracy i zmniejszając konieczność obsługi do minimum.



Rys. 5. Schemat wymiennika ze złożem kruszywowym.



Rys. 6. Schematy działania gruntowego wymiennika ciepła w sezonie letnim i zimowym.



Rys. 7. Przykładowe sposoby ułożenia systemu kanałowego GUC dla budynku.

5. WNIOSKI

Średnie zużycie energii cieplnej na ogrzewanie jednego mieszkania w ciągu jednego roku dla przeciętnego budynku wielorodzinnego w Polsce wynosi około 120-150 kWh/m³rok. Jednak zarówno coraz to nowsze normy techniczne dotyczące gospodarki energią, jak i nieustający wzrost cen na to dobro oraz ekonomiczne rozumowanie inwestorów (administratorów) nowobudowanych obiektów zarówno na świecie jak i w Polsce skłania do maksymalnej redukcji jego zużycia. Aktualne budownictwo uzbrojone w najnowsze rozwiązania energooszczędne pozwala na osiągnięcie wskaźników bliskich nawet 30-40 kWh/m³rok. Kluczową rolę w tak osiągniętych wynikach pełni znakomita izolacja termiczna oraz doszczelnienie stolarki, jednak równie ważne jest tu stosowanie mechanicznej wentylacji z odzyskiem ciepła – dające często niemalże 30% spadek zapotrzebowania na energię.

Kolejnym krokiem dla obniżenia współczynników energochłonności może być dobrze zaprojektowany GWC dający dla budynku dodatkowe zyski energetyczne w naszej strefie klimatycznej mogące osiągnąć 5 kWh/m³rok w okresie grzewczym i 2 kWh/m³rok w okresie letnim.

Wpływ głębokości pomieszczenia na zapotrzebowanie na energię do oświetlenia

Anna Romanowska

Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych

1. WSTĘP

Oświetlenie dzienne w budynku zależy od wielu czynników niezależnych od człowieka i takich które, człowiek może organizować i regulować. Do czynników niezależnych od człowieka należą: pora roku i dnia oraz naturalny wynikający z warunków klimatycznych np. stan atmosfery (zachmurzenie, mgła.) Do czynników na które mamy wpływ należy zaliczyć: orientację budynku w stosunku do stron świata, jego rodzaj, położenie, wielkość i usytuowanie otworów oświetleniowych w stosunku do kształtu i wymiarów pomieszczenia, przepuszczalność światła, otoczenie budynku (przeszkody na drodze światła, oraz ze względu na światło odbite). Wpływ ma również faktura, barwa powierzchni wnętrza, głównie sufitu, ścian i podłogi.

2. ZAŁOŻENIA DO OBLICZEŃ

Symulacje przeprowadzono dla 3 pomieszczeń różniących się głębokością. Pozostałe wymiary są takie same. Budynkiem wyjściowym jest budynek P1 o wymiarach $3,0 \times 3,0 \times 3,0$ m, jest to moduł z którego zbudowane są pozostałe budynki Wymiary budynków są następujące:

P1 - $3,0 \times 3,0 \times 3,0$ m,

P2 - $3,0 \times 6,0 \times 3,0$ m

P3 - $3,0 \times 9,0 \times 3,0$ m

Wszystkie budynki zostały wyposażone w okno umieszczone centralnie na jednej ze ścian. Analizy energetyczne przeprowadzono ze względu na:

- orientację względem stron świata;
- wielkość okna;
- czas użytkowania;
- właściwości optyczne przeszkleń.

3. METODA OBLICZENIOWA

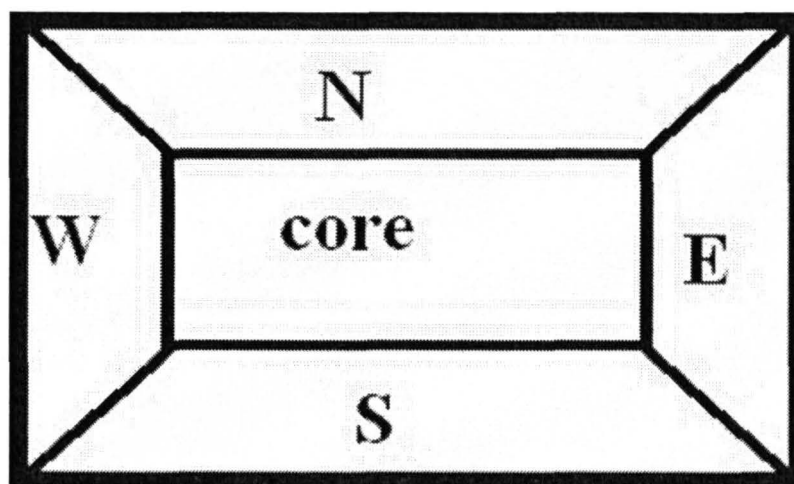
Symulacje energetyczne oświetlenia przeprowadzono przy użyciu programu Energy-10. Program ENERGY-10 służący do projektowania budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię uwzględnia możliwość zastosowania 12 strategii energooszczędnych, mających na celu zmniejszenie zużycia energii w analizowanym budynku [1,2,3]. Jedną ze strategii dotyczy oświetlenia.

Ponadto Energy –10 łączy obliczenia dla oświetlenia dziennego z analizą termiczną budynku [1]. Obliczenia dotyczące oświetlenia naturalnego wykonywane są przy pomocy procedury podziału strumienia, stosowanej także między innymi w programie DOE-2. Jako pierwsze symulowane jest oświetlenie dzienne. Metoda ta może być stosowana, gdy źródłem światła dziennego są okna i świetliki. Procedura CNE do obliczeń cieplnych uwzględnia wyniki obliczeń oświetlenia (godzina po godzinie) biorąc pod uwagę zmniejszenie ciepła wytwarzanego we wnętrzu budynku przez źródła światła sztucznego (wewnętrzne zyski ciepła).

Jako pierwsze symulowane jest oświetlenie dzienne. Procedura obliczeń odbywa się dwustopniowo, bazując na danych dotyczących budynku [2].

1 krok – program oblicza i gromadzi współczynniki dotyczące oświetlenia naturalnego: dla światła rozproszonego i bezpośredniej wiązki promieni, dla wszystkich otworów w budynku typowym. Jedną parę wartości dotyczy zachmurzonego nieba i pozostałe dotyczą każdej z 20 możliwych pozycji słońca na bezchmurnym nieboskłonie.

2 krok – program oblicza natężenie oświetlenia dla każdej godziny okresu symulacji, w każdej strefie temperaturowej. Rysunek nr 1 przedstawia podział budynku na strefy oświetleniowe.

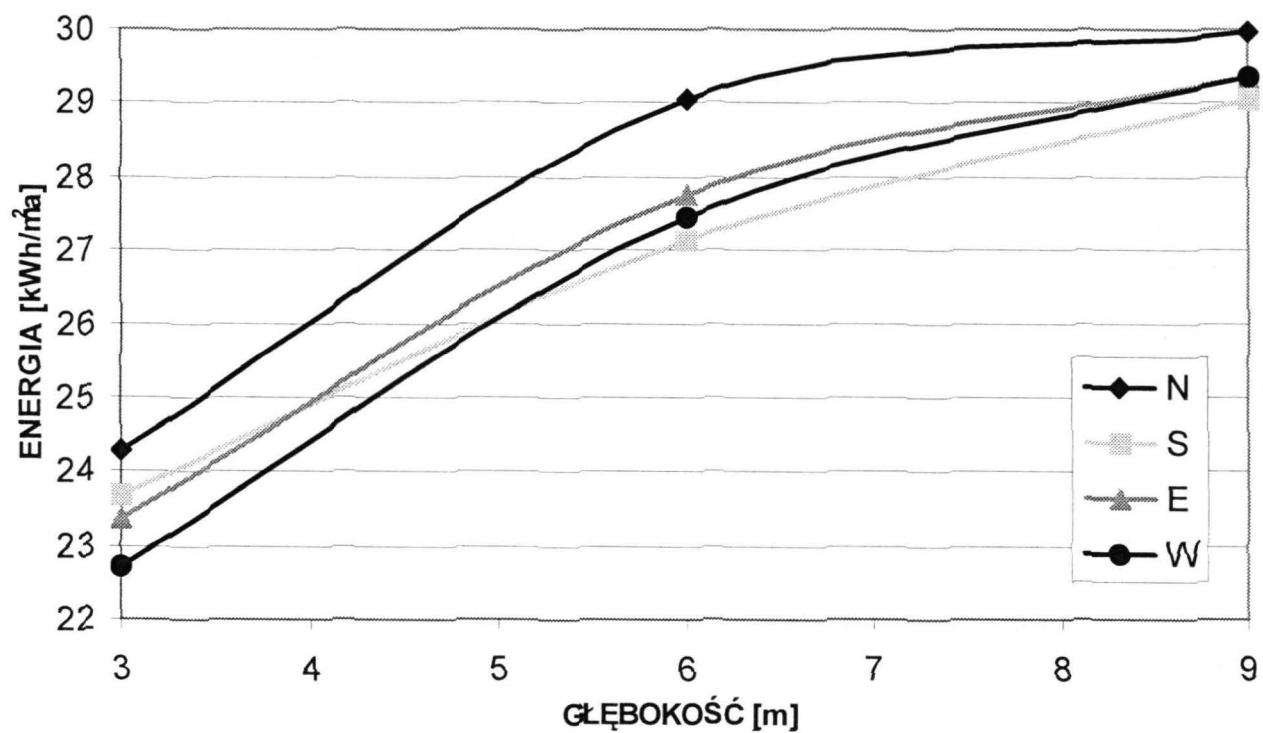


Rys. 1. Podział budynku na strefy oświetleniowe.

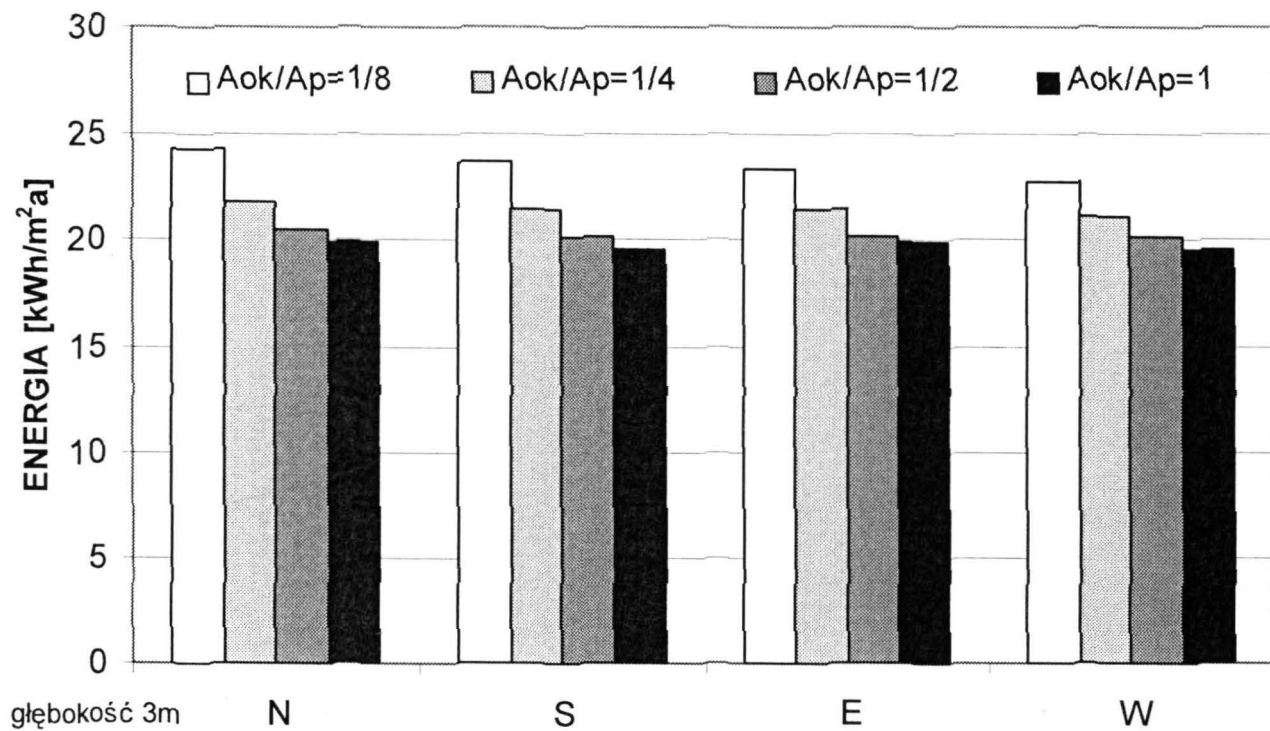
3. WYNIKI SYMULACJI ENERGETYCZNYCH

Analizę oświetlenia wewnętrznego przeprowadzono ze względu na usytuowanie ściany z oknem względem stron świata. Przyjęto stałą powierzchnię okna równą $1,125\text{m}^2$ ($1/8$ powierzchni ściany). Symulacje energetyczne oświetlenia wykonano dla trzech budynków różniących się głębokością pomieszczeń: dla 3m, 6m i 9m.

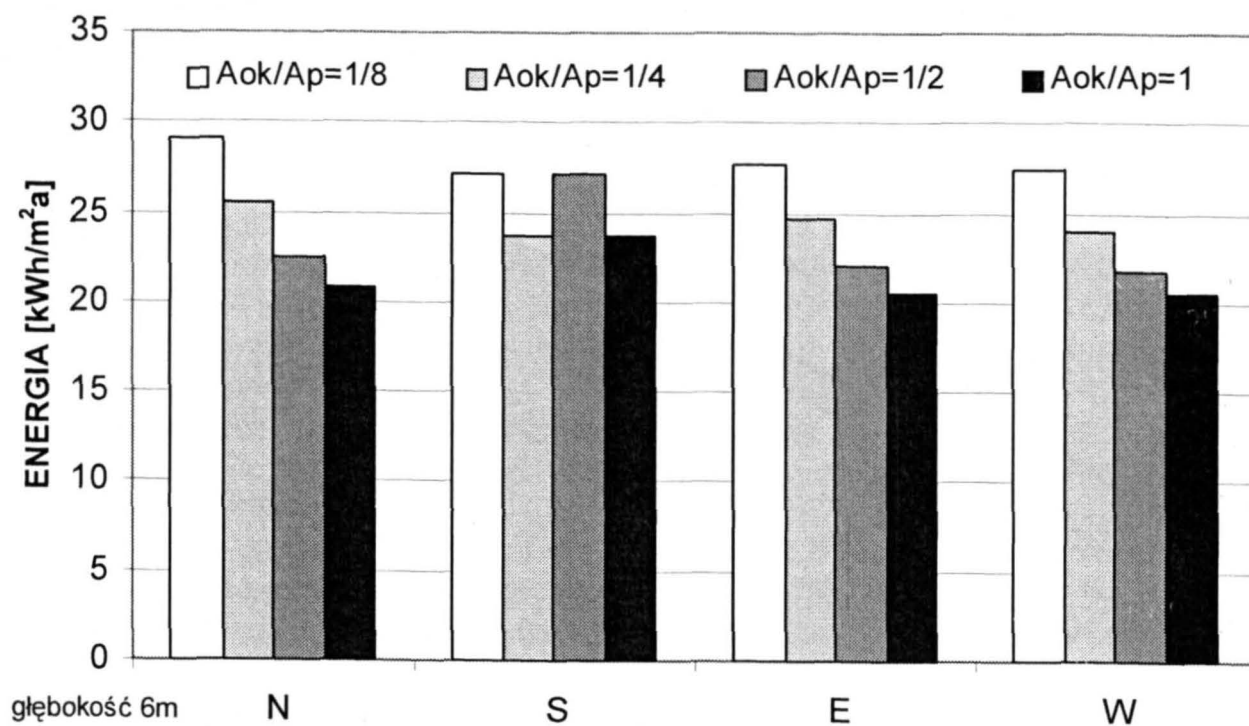
Rysunek 2 przedstawia wskaźniki zapotrzebowania na energię do oświetlenia sztucznego w kWh/m^2 . Najniższy wskaźnik zapotrzebowania na energię do oświetlenia sztucznego uzyskano dla ściany o orientacji zachodniej i głębokości pomieszczenia równej 3m.



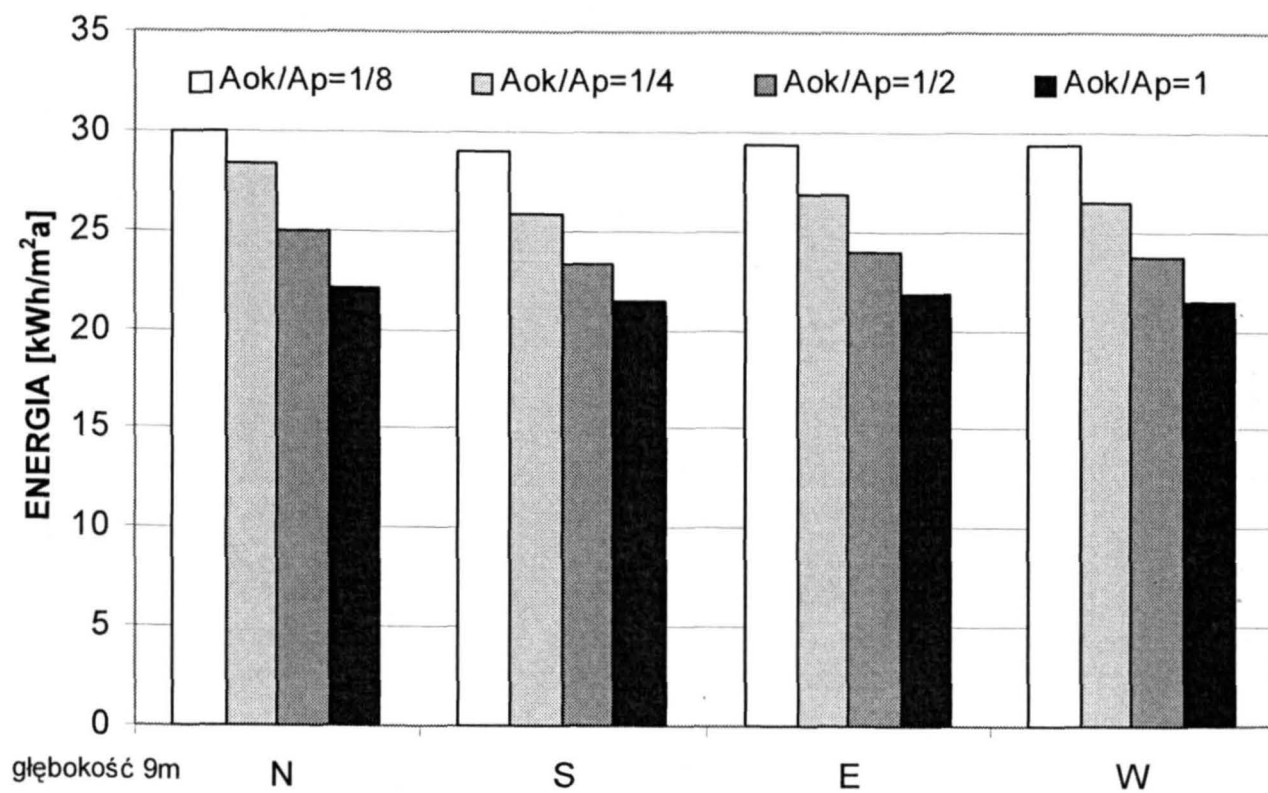
Rys. 2. Wskaźnik zapotrzebowania na energię do oświetlenia.



Rys. 3. Wpływ powierzchni przeszkleń na zapotrzebowanie na energię do oświetlenia sztucznego dla różnych orientacji otworu i głębokości pomieszczenia 3m.



Rys. 4. Wpływ powierzchni przeszkleń na zapotrzebowanie na energię do oświetlenia sztucznego dla różnych orientacji otworu i głębokości pomieszczenia 6m.



Rys. 5. Wpływ powierzchni przeszkleń na zapotrzebowanie na energię do oświetlenia sztucznego dla różnych orientacji otworu i głębokości pomieszczenia 9m.

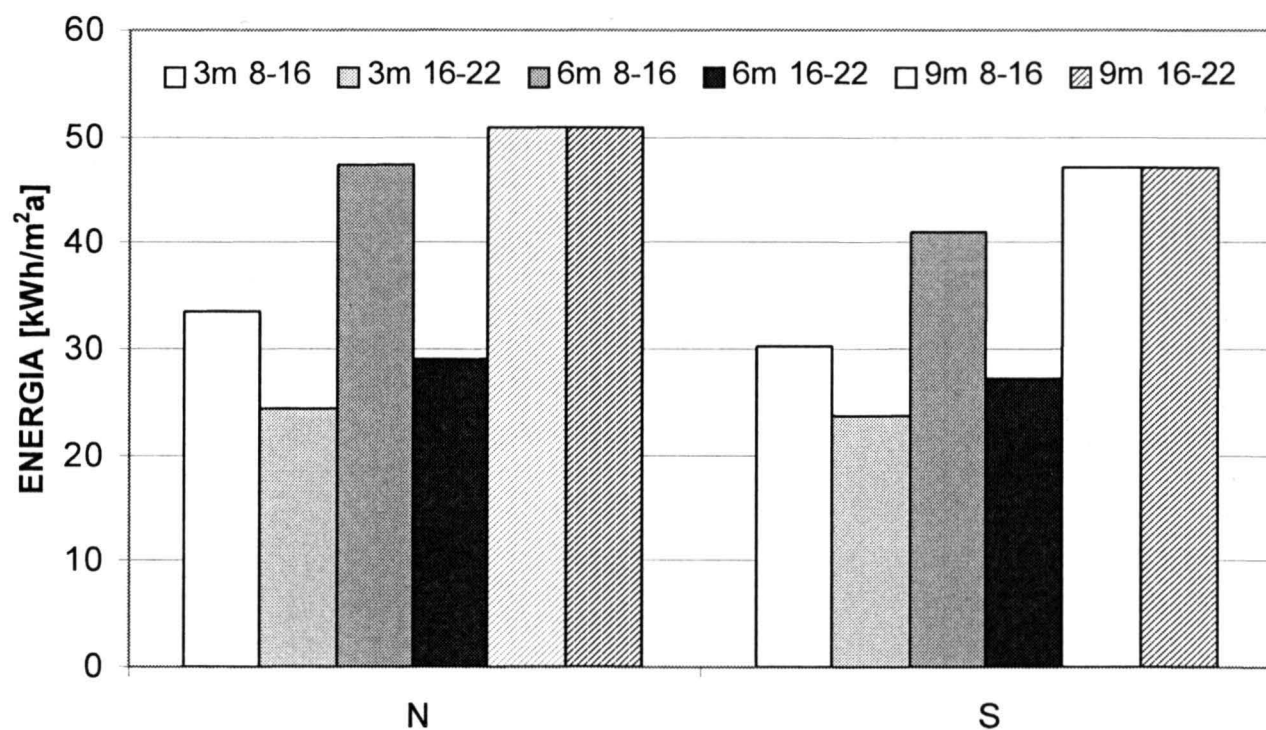
Celem symulacji było sprawdzenie jaki wpływ na oświetlenie wewnątrz będzie miała zwiększająca się powierzchnia przeszkleń. Przyjęte do symulacji okna miały powierzchnię:

- 1,125 m² (1/8 powierzchni ściany),
- 2,250 m² (1/4 powierzchni ściany),
- 4,500 m² (1/2 powierzchni ściany),
- 9,000 m² (1/1 powierzchni ściany).

Z rysunków 3, 4 i 5 dotyczących wpływu powierzchni przeszkleń na zapotrzebowanie na energię do oświetlenia wynika, że dla wszystkich trzech przypadków głębokości pomieszczeń wraz ze wzrostem powierzchni przeszkleń najmniejsze zapotrzebowanie na energię uzyskano dla stosunku powierzchni przeszkleń do powierzchni ściany równym jeden.

Najmniejszy wpływ na zmniejszenie zapotrzebowania na energię można zaobserwować dla przeszkleń równego 1/8 powierzchni ściany. dla wszystkich analizowanych głębokości pomieszczeń.

Kolejną symulację energetyczną przeprowadzono w celu sprawdzenia jaki wpływ na oświetlenie wewnątrz budynków ma czas ich użytkowania, wprowadzając dwa profile użytkowania: biurowy (godziny pobytu ludzi 8-16) i mieszkalny (godziny pobytu ludzi 16-22). Analizę przeprowadzono dla elewacji N i S. Przy stałej powierzchni (1,125 m²) i wysokości okna 1,20 m.



Rys.6. Zapotrzebowanie na energię do oświetlenia budynku typu biurowego i mieszkalnego dla orientacji N i S oraz różnych głębokości pomieszczeń.

Wraz ze wzrastającą głębokością pomieszczenia o orientacji południowej dla budynku mieszkalnego maleje zapotrzebowanie na energię do oświetlenia w stosunku do zapotrzebowania na energię dla budynku biurowego:

Dla orientacji południowej:

- dla głębokości 3m zapotrzebowanie niższe o ok. 21%
- dla głębokości 6m zapotrzebowanie niższe o ok. 33%
- dla głębokości 9m zapotrzebowanie niższe o ok. 38%

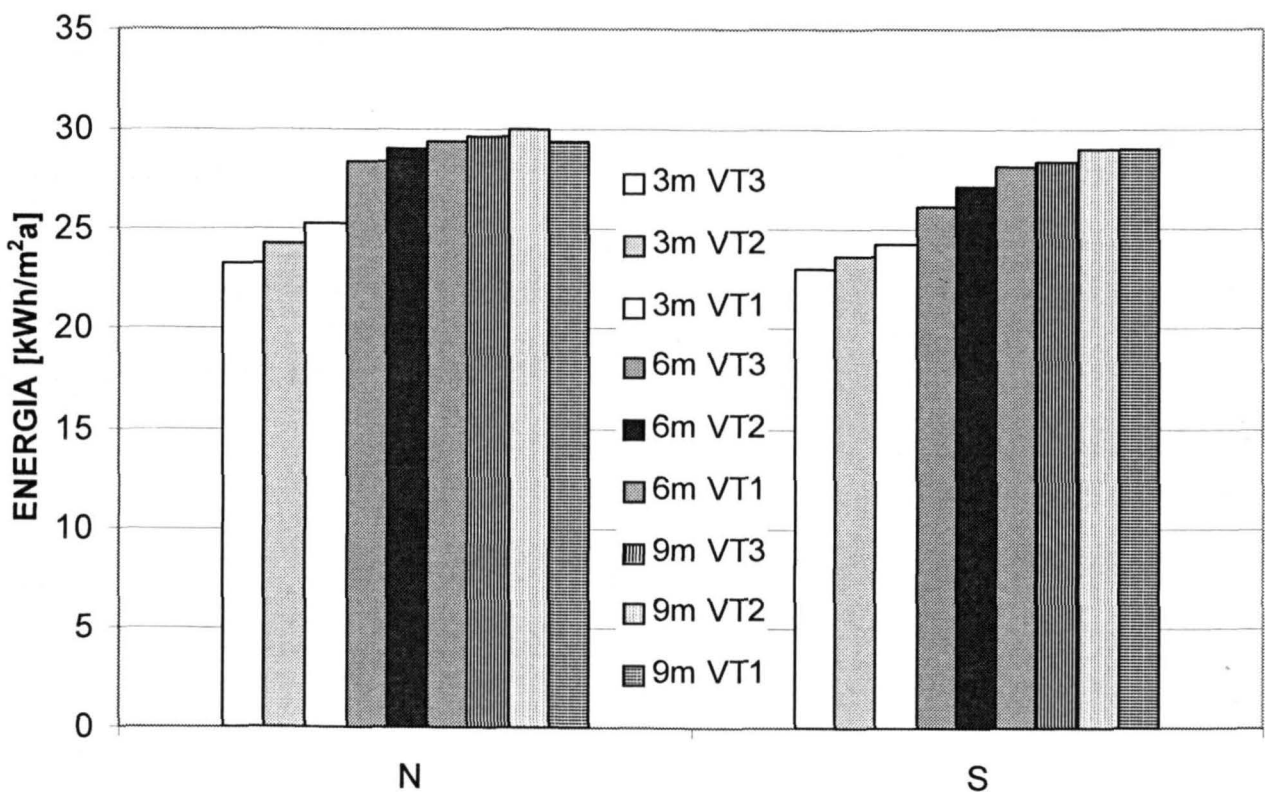
Dla orientacji północnej:

- dla głębokości 3m zapotrzebowanie niższe o ok. 25%
- dla głębokości 6m zapotrzebowanie niższe o ok. 38%
- dla głębokości 9m zapotrzebowanie niższe o ok. 41%

Analizę oświetlenia sztucznego wewnątrz przeprowadzono również dla przeszkleń o różnych właściwościach optycznych. Przeanalizowano wpływ rodzaju szkła na oświetlenie wewnątrz budynków. Zastosowano trzy rodzaje szkła:

- zwykłe VT3 (o przepuszczalności światła słonecznego 0.9),
- niskoemisyjne VT2 (o przepuszczalności światła słonecznego 0.75),
- w kolorze brązowym VT1 (o przepuszczalność 0,75).

Obliczenia przeprowadzono dla stałej powierzchni ($1,125\text{ m}^2$) i wysokości okna 1,20 m.



Rys.7. Wpływ rodzaju przeszkleń na zapotrzebowanie na energię do oświetlenia sztucznego.

- w przypadku szkła zwykłego VT3 (o przepuszczalności światła słonecznego 0.9) zaobserwowano niewielki wzrost zapotrzebowania na energię wraz ze zwiększającą się głębokością pomieszczenia, niezależnie od orientacji względem stron świata.
- w przypadku szkła niskoemisyjnego VT2 (o przepuszczalności światła słonecznego 0.75) zaobserwowano wraz ze zwiększającą się głębokością pomieszczenia wzrost zapotrzebowania na energię do oświetlenia o ok. 20%, zarówno dla orientacji południowej jak i dla północnej.
- w przypadku szkła w kolorze brązowym VT1 (o przepuszczalność 0,62). zaobserwowano wraz ze zwiększającą się głębokością pomieszczenia wzrost zapotrzebowania na energię do oświetlenia o około 15% niezależnie od orientacji względem stron świata.

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono wpływ geometrii pomieszczeń na zapotrzebowanie na energię do oświetlenia wewnętrznego dla 3 budynków różniących się długością. Analizy energetyczne przeprowadzono programem Energy-10 ze względu na:

- orientację względem stron świata;
- wielkość okna
- czas użytkowania
- właściwości optyczne przeszkleń.

Najniższy wskaźnik zapotrzebowania na energię do oświetlenia sztucznego uzyskano dla ściany o orientacji zachodniej i najmniejszej głębokości pomieszczenia równej 3m.

Z zależności dotyczącej wpływu powierzchni przeszkleń na zapotrzebowanie na energię do oświetlenia wynika, że dla wszystkich trzech przypadków głębokości pomieszczeń wraz ze wzrostem powierzchni przeszklenia najmniejsze zapotrzebowanie na energię uzyskano dla stosunku powierzchni przeszklenia do powierzchni ściany równym jeden.

Wraz ze wzrastającą głębokością pomieszczenia niezależnie od orientacji ściany dla budynku mieszkalnego maleje zapotrzebowanie na energię do oświetlenia w stosunku do zapotrzebowania na energię dla budynku biurowego.

Wpływ rodzaju przeszkleń na zapotrzebowanie na energię do oświetlenia jest różny w zależności od rodzaju szkła: W przypadku szkła zwykłego VT3 występują niewielkie różnice w zapotrzebowaniu na energię do oświetlenia. W przypadku szkła niskoemisyjnego VT2 w zależności od głębokości pomieszczenia różnica dochodzi do 20%. W przypadku szkła w kolorze brązowym VT1 ta różnica wynosi ok. 15%.

5. LITERATURA

1. LB, DOE 2: BDL Summary, Version 2.1E, LBL-34946, Lawrence Berkeley National Laboratory, November 1993.
2. Balcomb J.D.: Using Energy-10 to Design Low Energy Buildings, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, September 1999.
3. Balcomb J.D., Beeler G.: Design Low Energy Buildings with Energy-10, Proc. 24th Passive Solar Conference „Solar'98”, American Solar Energy Society, Albuquerque, June 15-18, 1998.

Systemy wentylacji hybrydowej w budynkach szkolnych

Jerzy Sowa

Politechnika Warszawska, Instytut Ogrzewnictwa i Wentylacji

1. WPROWADZENIE

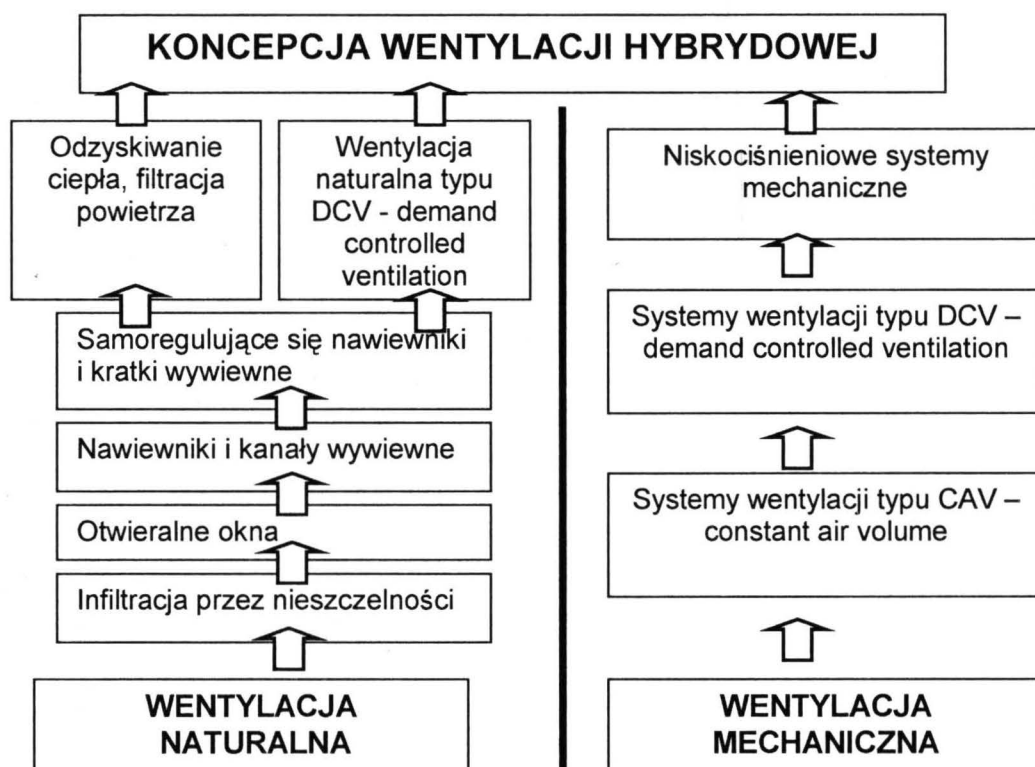
W większości krajów władze: ustawodawcze, wykonawcze i samorządowe deklarują szczególną troskę o dzieci i młodzież szkolną. Świadomość, że inwestycja w edukację społeczeństwa zwraca się wielokrotnie jest coraz powszechniejsza. Ponieważ skuteczność procesu edukacji zależy także od warunków nauczania w ostatnich latach wiele uwagi poświęca się redefinicji zasad projektowania tych obiektów. W krajach rozwiniętych ze względu na zmiany demograficzne (spadek liczby rodzących się dzieci) nie buduje się jednak nowych szkół. Zamożność tych krajów powoduje, że wiele uwagi poświęca się modernizacji obiektów istniejących. Dąży się przy tym do stosowania nowoczesnych rozwiązań technicznych przyjaznych dla środowiska i oszczędzających energię, będących praktycznym przykładem wdrażania idei zrównoważonego rozwoju. Pamięta się bowiem, iż w szkole oprócz usystematyzowanej wiedzy, dzieci przejmują także obserwowane przykłady rozwiązań i wzorce zachowań. Atrakcyjność architektoniczna bryły oraz staranne zaaranżowanie wnętrza sprzyjają rozwijaniu poczucia estetyki i ładu przestrzennego wśród uczniów. W tym kontekście dążenie do zapewnienia możliwie komfortowych warunków środowiska w pomieszczeniach przy jednoczesnym ograniczeniu do akceptowalnego poziomu ryzyka dla zdrowia wynikającego z obecności zanieczyszczeń powietrza staje się oczywiste.

Realizacja tego celu wymaga zastosowania nowoczesnego systemu wentylacji realizującego to podstawowe zadanie przy możliwie niskim zużyciu energii. Coraz powszechniejsze ocenianie budynków z perspektywy uwzględniającej ideę rozwoju zrównoważonego, w tym dążenie do minimalizacji zużycia energii pierwotnej oraz odnoszenie zużycia energii i wykorzystania materiałów do okresu całego życia budynku zwraca uwagę na: grawitacyjną wentylację nawiewno-wywiewną, wentylację hybrydową, wentylację sterowaną poziomem wymagań czy pasywne chłodzenie budynków.

2. SYSTEMY WENTYLACJI HYBRYDOWEJ

Obecne tendencje rozwoju systemów wentylacyjnych w krajach rozwiniętych wskazują, że najprawdopodobniej systemy wentylacyjne budowane w przyszłości (także w Polsce) będą się charakteryzowały następującymi cechami [11]:

- emisja zanieczyszczeń gazowych i pyłowych, zysków ciepła a także wilgoci w pomieszczeniu będzie w miarę możliwości ograniczana,
- opory przepływu powietrza w systemach będą minimalizowane,
- intensywność wentylacji będzie dostosowywana do zmieniających się potrzeb,
- w miarę możliwości do zapewnienia wymaganego przepływu będą wykorzystywane siły naturalne,
- rozplanowanie elementów będzie umożliwiać łatwą inspekcję, adjustowanie i naprawy systemu wentylacji w całym okresie życia budynku,
- nawet w pozoru proste systemy będą wyposażane w zaawansowane systemy automatycznej regulacji.



Rys. 1. Koncepcja wentylacji hybrydowej jako punkt styczności ewolucji systemów wentylacji mechanicznej i naturalnej, [12].

Skonfrontowanie tych cech w możliwościach konwencjonalnych systemów wentylacji naturalnej i mechanicznej wskazuje na konieczność poszukiwania nowych rozwiązań i koncepcji. Podstawowym ograniczeniem tanich systemów wentylacji naturalnej jest ich zbyt silne uzależnienie od zmieniających się warunków atmosferycznych. Z drugiej strony systemy wentylacji mechanicznej niezależne praktycznie od warunków atmosferycznych charakteryzują się zbyt dużym zużyciem energii. Idealny system wentylacji powinien mieć zatem po części cechy wentylacji naturalnej, a po części wentylacji mechanicznej. Świadomość ta doprowadziła to do opracowania założeń systemu wentylacji hybrydowej. W ramach aneksu 35 IEA „Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings” opracowano następującą definicję wentylacji hybrydowej *”Wentylacja hybrydowa jest dwuwariantowym systemem wentylacji sterowanym w taki sposób aby w trakcie utrzymywania akceptowalnego poziomu jakości powietrza oraz*

właściwego mikroklimatu w pomieszczeniach minimalizować zużycie energii. Warianty pracy systemu zależą od wykorzystywanych sił wywołujących przepływ powietrza: sił naturalnych lub wymuszone przez systemy mechaniczne" [12].

Rozwiązania wentylacji hybrydowej mogą się różnić stopniem integracji z architektoniczną koncepcją całego budynku jak również stopniem technicznego zaawansowania. W zastosowaniach przemysłowych wzajemna interakcja pomiędzy budynkiem a systemem wentylacji jest zazwyczaj bardzo ograniczona. Z oczywistych względów ograniczony stopień integracji systemu wentylacji hybrydowej z architekturą obiektu występuje także w budynkach modernizowanych.

Podczas wznoszenia nowych budynków, o ile decyzja o zastosowaniu wentylacji hybrydowej zapada odpowiednio wcześniej, możliwe jest wprowadzenie pewnych elementów architektonicznych w fazie projektowej np. czerpnie powietrza w fasadzie, dodatkowe wieżyczki pełniące rolę zbiorczych kanałów wentylacyjnych, miejsce na kanały wentylacji naturalnej nawiewnej itp. W przypadku ścisłej współpracy architektów i specjalistów z dziedziny HVAC możliwa jest pełna integracja projektu architektonicznego i systemu wentylacji hybrydowej (np. podwójne fasady, zestawy ogniw fotowoltaicznych intensyfikujących działanie wentylacji).

Wybierając system wentylacji hybrydowej należy pamiętać także o pewnych ograniczeniach. Systemy wentylacji hybrydowej są w stanie zapewnić wymaganą intensywność wentylacji pracując w trybie wentylacji naturalnej jedynie w sprzyjających warunkach pogodowych (niska temperatura powietrza zewnętrznego i/lub wiejący wiatr). W takim przypadku niska temperatura powietrza doprowadzanego do pomieszczeń może być nie do zaakceptowania przez użytkowników. Stawia to konieczność przeanalizowania możliwości stosowania urządzeń do podgrzewania powietrza (zastosowania odzysku ciepła) także w przypadku korzystania z naturalnych sił wywołujących przepływ powietrza. Dodatkowo badania wskazują, że jednym z podstawowych czynników decydujących o nie używaniu urządzeń wentylacyjnych lub ich wyłączeniu jest odczucie przeciągu. Czynniki ten musi być zatem starannie przeanalizowany przez projektantów.

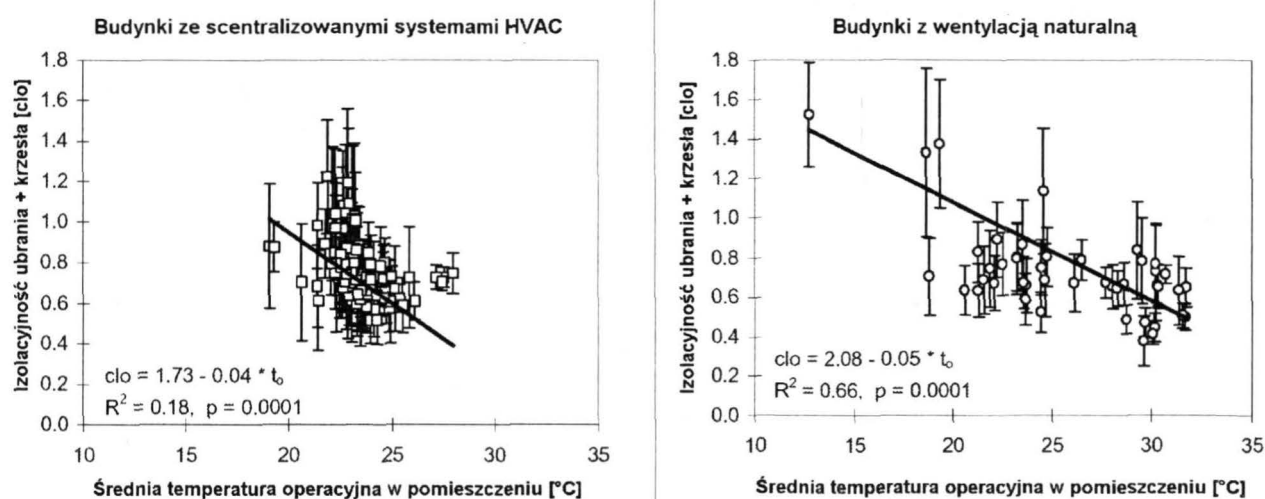
Na obszarach wielu miast oraz obszarów uprzemysłowionych stopień zanieczyszczenia atmosfery sprawia, że lokalizacja czerpni powietrza umożliwiająca pobieranie możliwe czystego powietrza (np. czerpnie dachowe) często nie sprzyja wytwarzaniu wymaganego ciśnienia czynnego (preferowane czerpnie terenowe). Należy także pamiętać, że wiele typów wentylacji hybrydowej, szczególnie korzystających z przewodów wentylacyjnych o dużych przekrojach, stwarza okazję do przenikania hałasu z zewnątrz do budynku. W szczególnie uciążliwych przypadkach może to prowadzić do zaprzestania korzystania z tych rozwiązań.

Ograniczenie stosowania wentylacji hybrydowej (np. w przypadku stosowania pasywnego chłodzenia w okresie nocnym) może wynikać także z przepisów przeciwpożarowych narzucających podział budynku na określone strefy ogniowe. Ponadto wentylacja hybrydowa wymaga stosowania urządzeń (filtrów powietrza, układów do odzyskiwania ciepła z powietrza usuwanego, wymienników gruntowych) charakteryzujących się niewielkimi oporami przepływu powietrza a zatem o powiększonych przekrojach. Fakt ten jak też i łatwy dostęp do czerpni powietrza powinny być także starannie przeanalizowane pod kątem bezpieczeństwa budynku (zamachy terrorystyczne, kradzieże itp.).

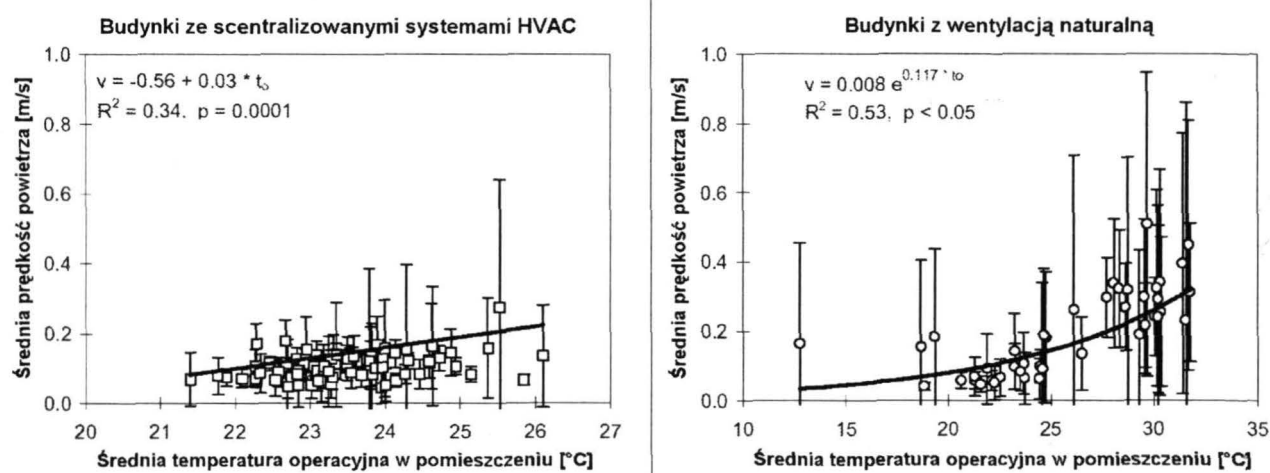
Brak jest większych doświadczeń w stosowaniu systemów wentylacji hybrydowej w Polsce aczkolwiek spotkać już można pierwsze urządzenia polskiej produkcji zaprojektowane specjalnie dla tego typu wentylacji [10].

3. ADAPTACYJNY MODEL KOMFORTU CIEPLNEGO

Właściwy wybór parametrów powietrza w pomieszczeniu ma bardzo duży wpływ na zużycie energii przez systemy wentylacji. Obniżenie dopuszczalnej dolnej granicy parametrów powietrza dla okresu zimowego, wpływa na obniżenie zapotrzebowania na moc nagrzewnic, a w okresie letnim podwyższenie dopuszczalnej temperatury zmniejsza zapotrzebowanie na chłodzenie powietrza wentylacyjnego. Paradoksalnie w wielu budynkach wentylowanych w sposób naturalny odsetek niezadowolonych pomimo dość dużych wahań temperatury nie jest większy od tego spotykanego w klimatyzowanych pomieszczeniach. Analiza tego zjawiska doprowadziła do opracowania adaptacyjnego modelu komfortu cieplnego kwestionującego w dużym stopniu klasyczną już teorię komfortu cieplnego opracowaną przez *Fangera* (wskaźniki PMV i PPD) [7].



Rys. 2. Porównanie izolacyjności cieplnej odzieży w funkcji średniej temperatury operacyjnej w pomieszczeniu w budynkach wentylowanych w sposób mechaniczny oraz naturalny (projekt badawczy ASHRAE RP-884), [5].



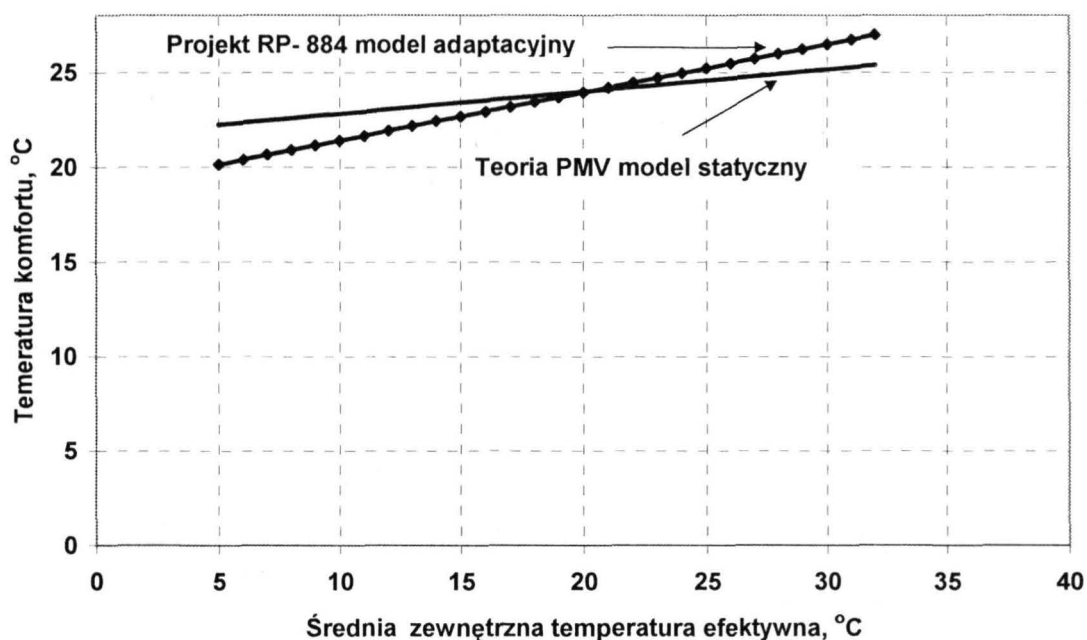
Rys. 3. Porównanie średniej prędkości powietrza w funkcji średniej temperatury operacyjnej w pomieszczeniu w budynkach wentylowanych w sposób mechaniczny oraz naturalny (projekt badawczy ASHRAE RP-884), [5].

Adaptacyjny model komfortu cieplnego jest wynikiem projektu badawczego, który miał na celu zweryfikowanie czy w odniesieniu do budynków wentylowanych w sposób naturalny, a także wentylowanych w sposób mechaniczny lecz pozwalający użytkownikom mieć wpływ na wybrane parametry środowiska, konwencjonalne teorie komfortu cieplnego nie powinny zostać zmodyfikowane.

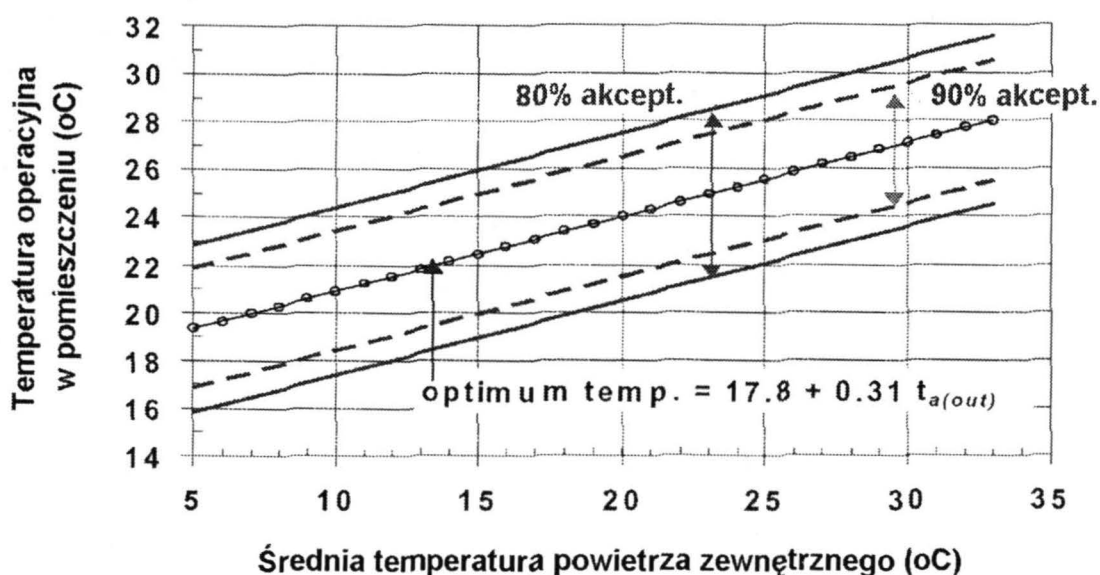
Badania warunków panujących w 160 biurach (22 tys. pracowników) na czterech kontynentach w różnych strefach klimatycznych wykazały (projekt badawczy ASHRAE RP-884), że w obiektach z wentylacją naturalną użytkownicy czynnie reagując na parametry środowiska zmieniają izolacyjność odzieży w szerszym zakresie (rys. 2), akceptując jednocześnie wyższe prędkości powietrza (rys. 3), jak i szerszy zakres temperatury powietrza wewnętrznego [5].

Rezultaty te pozwoliły to na opracowanie nowego adaptacyjnego modelu komfortu cieplnego. W odróżnieniu od teorii konwencjonalnych, weryfikowanych w sztucznych warunkach w komorach klimatycznych, nowy model sprawdzany w budynkach rzeczywistych pokazał, że ludzie mogą osiągać odpowiedni poziom satysfakcji poprzez adekwatne reagowanie na zmieniające się warunki środowiskowe. Uwzględnienie tych wyników i szersze stosowanie wentylacji naturalnej pozwala na bardzo istotne oszczędności eksploatacyjne w systemach HVAC.

Na rysunku 4 przedstawiono porównanie klasycznej teorii komfortu cieplnego i teorii adaptacyjnej. Rys 5 przedstawia preferowane wartości temperatury operacyjnej z zaznaczeniem pasma tolerancji dla 90% i 80% osób zadowolonych. Pasma tolerancji zostały określone na podstawie relacji łączących przewidywaną średnią ocenę i odsetek osób niezadowolonych, używanych także w teorii Fanger'a.



Rys. 4. Porównanie temperatury komfortu określonej na podstawie modelu adaptacyjnego i statycznego modelu PMV (zależności ważne dla budynków wentylowanych w sposób naturalny), [5].



Rys. 5. Preferowana temperatura operacyjna w funkcji średniej temperatury powietrza zewnętrznego (określana w tym wypadku jako średnia miesięczna z minimalnych i maksymalnych wartości dobowych), [5].

4. PRZYKŁADY BUDYNKÓW SZKOLNYCH WYPOSAŻONYCH NIEKONWENCJONALNE SYSTEMY WENTYLACJI

Budynki szkolne stanowią specyficzną grupę budynków użyteczności publicznej. Są to zazwyczaj obiekty niewysokie, przeważają budynki parterowe lub o 2 kondygnacjach naziemnych. Przez większą część roku siły wyporu termicznego są zatem niewystarczające aby zapewnić działanie wentylacji naturalnej. Zastosowanie systemu wentylacji hybrydowej umożliwia przezwycięzenie tej niedogodności. Typowe szkoły są przeznaczone dla kilkuset uczniów co sprawia, że są obiekty dość rozległe. W typowych klasach przypada na ogół 2-3 m² powierzchni podłogi na jednego ucznia co powoduje, że w okresie wykorzystania wymagana jest dość intensywna wentylacja tych pomieszczeń. Jednocześnie okres wykorzystania szkół w skali roku nie jest zbyt długi (6-8 godzin dziennie, 5 dni w tygodniu, z okresowymi przerwami wakacyjnymi). Z tego powodu obiekty szkolne szczególnie nadają się do stosowania wentylacji o strumieniu powietrza uzależnionym od zmieniających się potrzeb. Jednocześnie ponieważ obiekty te nie są wykorzystywane są w okresie największych upałów możliwe jest rezygnowanie w szkołach z systemów mechanicznego chłodzenia.

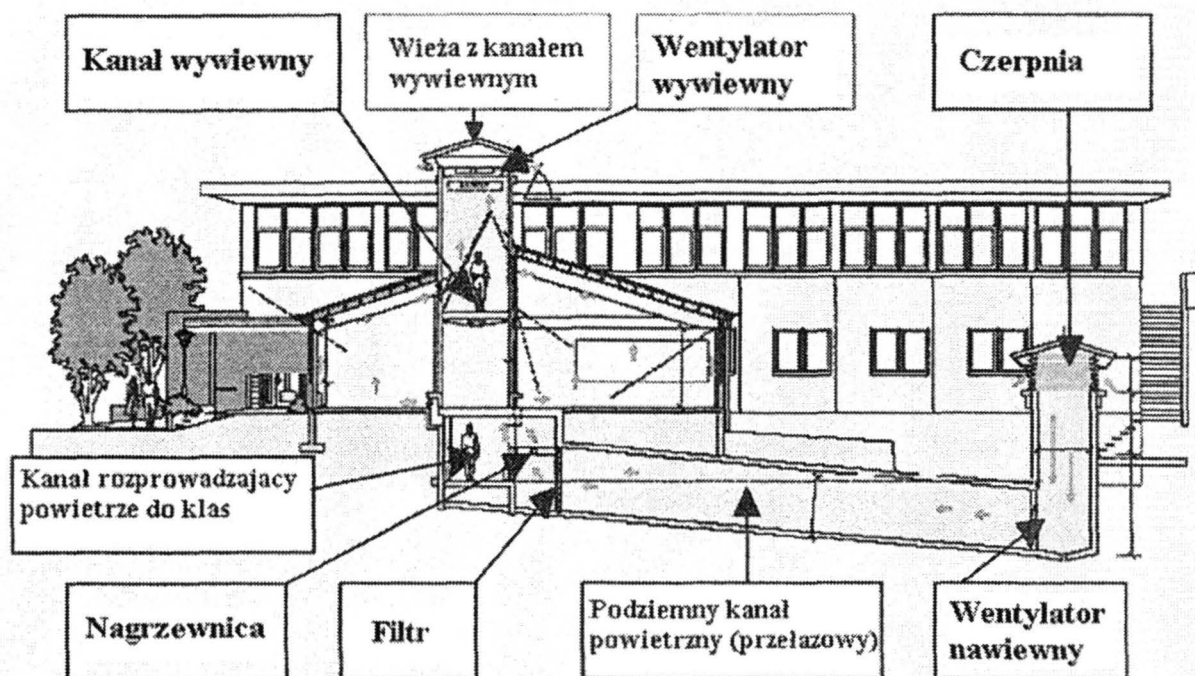
Wielkość działek, na których położone są szkoły umożliwia zazwyczaj stosowanie pomp ciepła lub gruntowych wymienników ciepła gdyż wytyczne projektowania szkół przewidują w ich otoczeniu tereny o przeznaczeniu sportowo-rekreacyjnym.

Poniżej przedstawiono kilka przykładów skandynawskich budynków szkolnych wyposażonych w systemy wentylacji hybrydowej.

Szkoła w Grong, Norwegia

Doskonałym przykładem możliwości wentylacji hybrydowej jest zakończona w 1998 roku modernizacja szkoły podstawowej w Grong (arch. Kåre Herstad). Biorąc pod uwagę, że temperatura powietrza zewnętrznego przez 95% czasu w roku jest niższa od pożądanej temperatury wewnątrz oraz, że na obszarze, na którym znajduje się szkoła nie występują

stałe wiatry zdecydowano się na wentylację grawitacyjną wspomaganą okresowo działaniem wentylatorów. Zaprojektowano także wieżę, która zwiększa ciśnienie czynne ($h=10$ m) oraz umożliwia wykorzystanie energii wiatru. W wieży zamontowano wymienniki do odzysku ciepła z powietrza usuwanego.



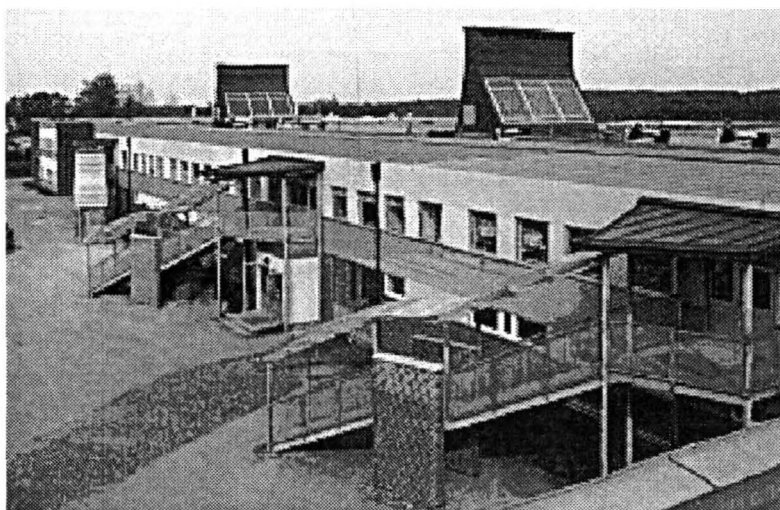
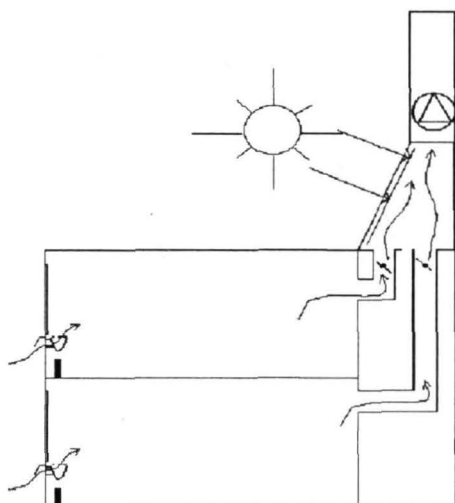
Rys. 6. Schemat wentylacji hybrydowej w szkole w Grong, [2, 12]

Prędkości powietrza na drodze przepływu powietrza nie przekraczają 1 m/s co powoduje, że wymiary filtrów powietrza, wymienników ciepła itp. są znacznie większe w porównaniu z konwencjonalnymi instalacjami wentylacji mechanicznej. Aby wytworzyć wymagane ciśnienie instalacja wyposażona jest w dwa wolnoobrotowe wentylatory osiowe z płynną regulacją wydajności za pomocą przetwornic częstotliwości prądu.

Oba wentylatory pracują jedynie w przypadkach gdy wymagana jest duża intensywność wentylacji (np. chłodzenie naturalne w okresie letnim). W założeniach przy typowej pracy w okresie zimowym pracuje jedynie wentylator nawiewny ze zredukowanymi obrotami. Powietrze z zewnątrz doprowadzane jest poprzez przewód o dużym przekroju i długości 15 m poprowadzony pod powierzchnią terenu. Takie rozwiązanie niweluje dobowe wahania temperatury i w konsekwencji potrzebę mechanicznego chłodzenia obiektu. Projektując system założono następujące oszczędności w wykorzystaniu energii elektrycznej porównaniu do typowego norweskiego budynku szkolnego: oszczędności na skutek zmodernizowanego oświetlenia naturalnego i sztucznego $10,2$ kWh/m² rok oraz na skutek obniżenia zużycia energii do napędu wentylatorów $9,2$ kWh/m² rok. W odniesieniu do wykorzystania ciepła w porównaniu do tradycyjnego budynku założono zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania (na skutek wykorzystania energii słonecznej) o $6,9$ kWh/m² rok oraz na skutek ograniczenia zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania (zastosowanie energooszczędnych okien, materiałów o niskiej emisji zanieczyszczeń, oraz wentylacji hybrydowej ze zmiennym strumieniem powietrza regulowanym przez poziom stężenia CO₂) o $8,7$ kWh/m² rok.

Szkoła w Tanga, Szwecja

Innym przykładem budynku szkolnego z niekonwencjonalnym systemem wentylacji jest szkoła w Tanga (Szwecja). Obiekt składa się z 4 budynków o łącznej powierzchni 9350 m². Szkoła została wzniesiona w roku 1968 a następnie zmodernizowana w roku 2000. Jeden z budynków, o powierzchni 3672 m² został wyposażony w system wentylacji hybrydowej. Działanie wentylacji grawitacyjnej zostało zintensyfikowane poprzez zastosowanie dodatkowych kominów z kolektorami słonecznymi oraz zastosowanie wentylatorów wywiewnych. Do każdego komina podłączone jest kilka klas z obu kondygnacji. Gdy praca wentylatorów nie jest wymagana powietrze przepływa przez kanał obejściowy omijając wentylator. Powietrze do każdej klasy doprowadzane jest poprzez 4 nawiewniki z przepustnicami zlokalizowane pod parapetami okien. Powietrze jest podgrzewane przez grzejniki konwekcyjne służące do ogrzewania pomieszczenia.



Rys. 7. Zasada działania wentylacji szkole w Tanga, Szwecja. [2].

W każdej klasie umieszczono czujnik CO₂. Gdy stężenie dwutlenku węgla przekracza 1000 ppm zapala się czerwone światelko. W zależności od wyboru nauczyciela możliwe są dwie opcje kontrolowania strumienia powietrza wentylacyjnego: ręczna oraz automatyczna (nawiewniki zaczynają się otwierać przy stężeniu 1000 ppm CO₂ i osiągają stan pełnego otwarcia przy stężeniu 1500 ppm). W okresie zimowym działania przepustnic jest zablokowane poza godzinami wykorzystania szkoły (dni robocze od 6 do 18). Gdy temperatura pomiędzy powietrzem w kanale a otoczeniem jest zbyt niska zostaje uruchomiony wentylator wywiewny posiadający możliwość pracy z kilkoma prędkościami obrotowymi. W okresie przejściowym i letnim możliwe jest pasywne chłodzenie pomieszczeń w okresie nocnym. Działanie systemu jest monitorowane przez centralny system zarządzania budynkiem.

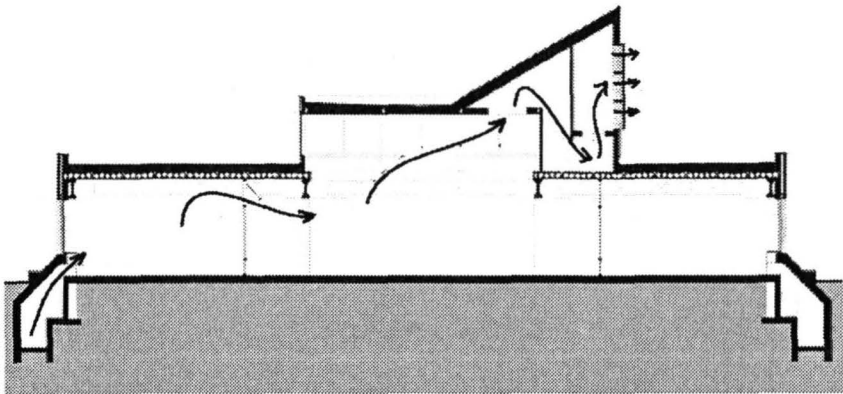
Szkoła podstawowa w Borgen, Norwegia

W latach 2002-2004 zmodernizowano szkołę w Borgen na przedmieściach Oslo. Dużo uwagi poświęcono zmianie organizacji przestrzeni. Poprawiono komunikację wewnątrz szkoły i znacznie zwiększono możliwość różnorodnego wykorzystania przestrzeni w budynku. Propagując idee ekologiczne pomieszczeniom szkoły nadano nazwy związane z kosmosem. Przykładowo trzy główne skrzydła budynku to „Słońce”, „Księżyc” i „Ziemia”, a główny

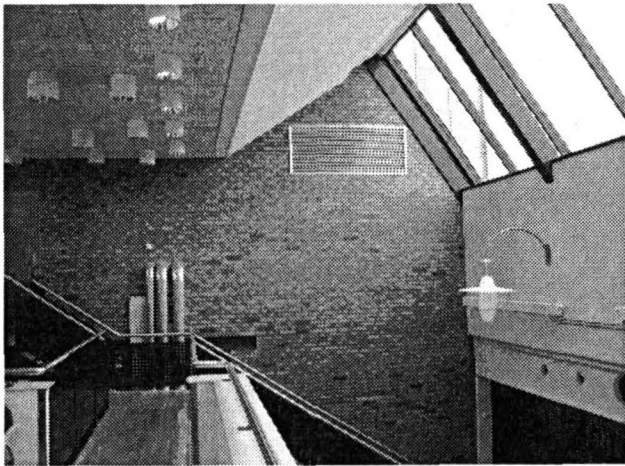
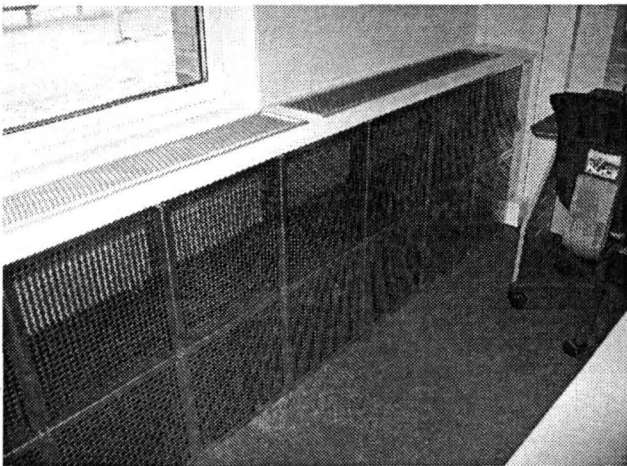
korytarz to „Mleczna Droga”. Dążąc do racjonalizacji zużycia energii w zmodernizowanej szkole zastosowano gruntową pompę ciepła, wentylację hybrydową, zoptymalizowano wykorzystanie oświetlenia sztucznego projektując oświetlenie wielu miejsc światłem dziennym. W wyniku tych działań ograniczono zużycie energii (wartości obliczone a nie mierzone) do 111 kWh/(m²a) co stanowi ok. 50% dla typowych norweskich szkół [4].

Tablica 1. Zapotrzebowania na energię oraz na moc dla szkoły w Borgen po modernizacji [4].

Przeznaczenie energii	Zużycie energii	Moc
	kWh/(m ² a)	W/m ²
Ogrzewanie pomieszczeń	29	30
Podgrzewanie powietrza wentylacyjnego	20	41
Podgrzewanie wody	13	10
Pompy i wentylatory	15	6
Oświetlenie	23	14
Wypożażenie szkoły	11	8
Chłodzenie	0	0
Suma	111	



Rys. 8. Schemat przepływu powietrza w budynku szkoły w Borgen, [4].



Rys. 9. Elementy wentylacji hybrydowej szkoły w Borgen. Podokienne nawiewniki wyporowe, do których powietrze doprowadzane jest z kanałów otaczających fundamenty budynku (strona lewa). Kratka wywiewna odprowadzająca powietrze w hallu szkoły do wyrzutni umieszczonych w dachu (strona prawa) (fot. autora).

Szkoła w Fredrikstad, Norwegia

Bardzo ciekawym przykładem eko-budownictwa jest wzniesione na przełomie 2002/2003 gimnazjum (Kvernhuset School) w Fredrikstad, Norwegia. Na obrzeżach miasta w lesie nad strumieniem zbudowano szkołę dla 450-500 uczniów. Założono przy tym iż promocja rozwiązań proekologicznych będzie się odbywała na 3 poziomach. Za poziom 1 uznano promocję rozwiązań efektywnych ekonomicznie. W całym kompleksie budynków przewidziano zatem znaczne wykorzystanie światła dziennego, zastosowanie wentylacji hybrydowej oraz pompy ciepła czerpiącej ciepło z gruntu. Przewidziano także biologiczną oczyszczalnię ścieków (dla wody szarej i brudnej). Łączna powierzchnia pomieszczeń szkoły to 6488 m², dodatkowe 1847 m² zajmuje sala gimnastyczna.

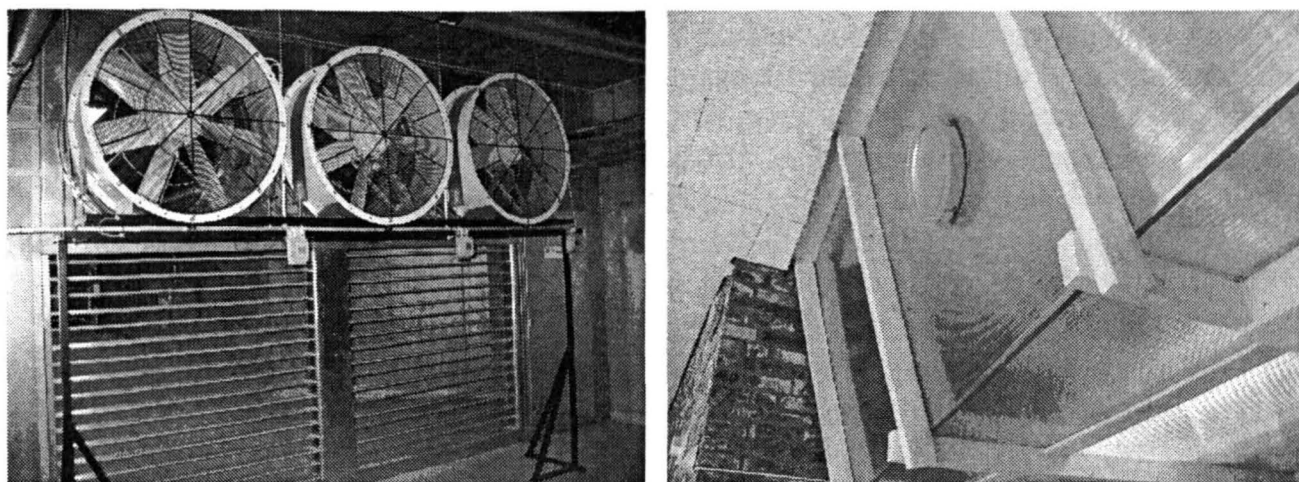
Promocję rozwiązań ekologicznych, które w obecnych realiach ekonomicznych są zbyt drogie, a które w przyszłości mogą być stosowane powszechnie przyjęto jako 2 poziom. Ponieważ część dydaktyczna składa się z 3 budynków w każdym z nich zwrócono szczególną uwagę na inne aspekty:

- w budynku „żółtym” skoncentrowano się na wykorzystaniu energii słonecznej,
- w budynku „zielonym” skoncentrowano się na rozwoju ludzkości i recyklingu materiałów,
- w budynku „niebieskim” skoncentrowano się na wodzie.

Trzeci poziom promocji rozwiązań proekologicznych polega na zorganizowaniu na terenie szkoły stacji badawczej.



Rys. 10. Budynek „niebieski” gimnazjum w Fredrikstad wkomponowany w naturalne otoczenie (fot. autora).



Rys. 11. Elementy wentylacji hybrydowej gimnazjum w Fredrikstad. Wentylatory osiowe umieszczone w korytarzach (kanałach) piwnicznych (strona lewa). Podwieszony przewód wentylacyjny wykonany z półprzezroczystego materiału w celu zapewnienia dopływu światła dziennego do klas (strona prawa), (fot. autora).

5. PROJEKT SUREBUILD

W roku 2002 Politechnika Warszawska oraz Norweski Uniwersytet Techniczny z Trondheim rozpoczęły współpracę w ramach programu SUREBUILD ufundowanego przez Ministerstwo Spraw Zagranicznych Królestwa Norwegii. Projekt jest poświęcony naukowym podstawom modernizacji budynków w Polsce opartej na zasadach rozwoju zrównoważonego, ale specjalna uwaga została poświęcona budynkom edukacyjnym (szczególnie szkołom „tysiąclatkom”). Analizowane w projekcie technologie i rozwiązania techniczne zostały przyporządkowane do następujących kategorii:

- technologie służące efektywnemu ogrzewaniu budynku i przygotowaniu ciepłej wody użytkowej,
- technologie służące efektywnemu chłodzeniu,
- technologie służące efektywnej wentylacji,
- technologie służące efektywnemu wykorzystaniu światła dziennego,
- technologie służące efektywnemu wykorzystaniu oświetlenia sztucznego,
- inne technologie wpływające na zrównoważony charakter budynku.

Analizy nie ograniczały się tylko do rozważań technicznych. Wiele z analizowanych technologii nigdy wcześniej nie było stosowanych w Polsce. Niestety nacisk położony na wymagania nakazowe w przepisach wykonawczych polskiego prawa budowlanego [9] powoduje, że na polski rynek trudno jest wprowadzać rozwiązania innowacyjne. W niektórych krajach rozwiązania, które nie spełniają wymagań nakazowych mogą być stosowane o ile inwestor udowodni w wiarygodny sposób (np. ocena niezależnej placówki naukowej), że spełniają one wymagania podstawowe Dyrektywy (89/106/EEC) [6].

Zdecydowana większość polskich szkół jest wentylowana w sposób naturalny. Niestety ten sposób wentylacji, jakkolwiek uznawany na świecie jako spełniający wymagania rozwoju zrównoważonego, nie spełnia oczekiwań użytkowników oraz wymagań prawnych dotyczących wymaganej intensywności wentylacji.

W projekcie SUREBUILD postawiono sobie za cel, że technologie służące efektywnej wentylacji pomieszczeń rekomendowane do zrównoważonej modernizacji szkół będą

musiały pokonać tę niespójność. Jako zasadę przyjęto także, iż wymagania dotyczące zdrowia, higieny i ochrony środowiska są nadrzędne w stosunku do wymagań dotyczących oszczędności energii [6]. Z tego też powodu analizowano także technologie poprawiające jakość powietrza w pomieszczeniach, które nie zmniejszają zużycia energii lub wręcz je zwiększają. Przeanalizowano następujące koncepcje [1]:

- zastosowanie materiałów budowlanych o niskiej emisji zanieczyszczeń gazowych oraz pyłów,
- rozcieńczanie zanieczyszczeń poprzez zwiększoną wentylację,
- zastosowanie wentylacji hybrydowej (wspomaganej wentylacji naturalnej),
- zastosowanie wentylacji mechanicznej o małych oporach przepływu,
- zastosowanie wentylacji o intensywności dostosowywanej do zmiennych potrzeb, DCV,
- zastosowanie odzyskiwania ciepła z powietrza usuwanego,
- zastosowanie wymienników ciepła grunt-powietrze,
- zastosowanie zdecentralizowanych systemów wentylacji mechanicznej,
- zastosowanie zdecentralizowanych systemów automatycznej regulacji,
- zastosowanie wyporowego rozdziału powietrza,
- zastosowanie efektywnej filtracji cząstek stałych,
- zastosowanie filtrów z węglem aktywnym w celu adsorpcji zanieczyszczeń gazowych.

Dla każdej z analizowanych technologii zdefiniowano reprezentatywne wskaźniki, a następnie scharakteryzowano jakie wartości osiągają one w istniejących szkołach, jakie są wymagania dla budynków nowych i gruntownie modernizowanych oraz jakie są ich wartości dla najlepszych rozwiązań osiągalnych na rynku oraz przeprowadzono uproszczoną analizę SWOT [1]

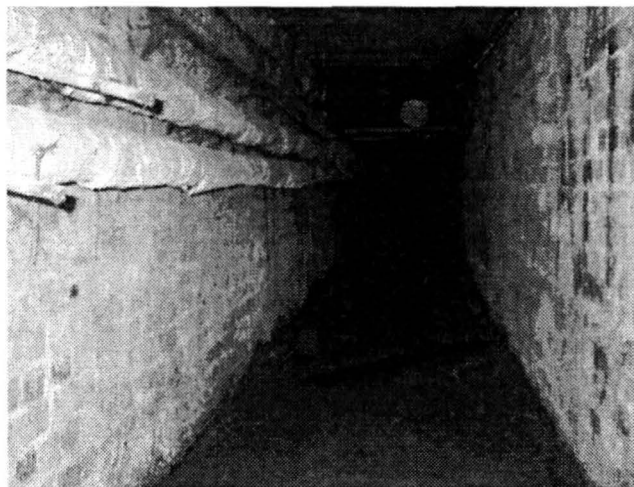
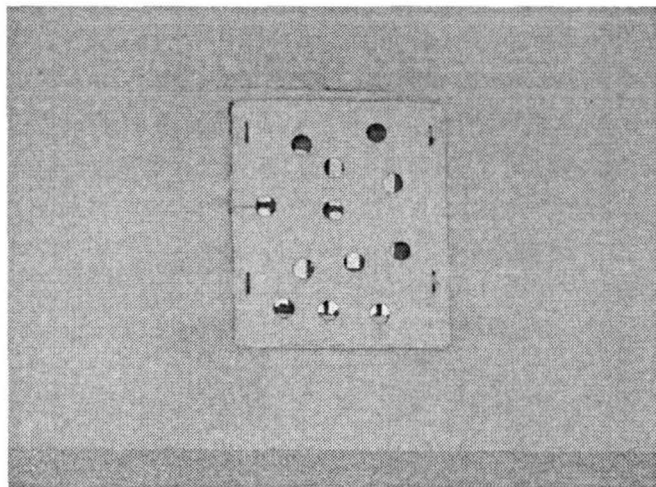
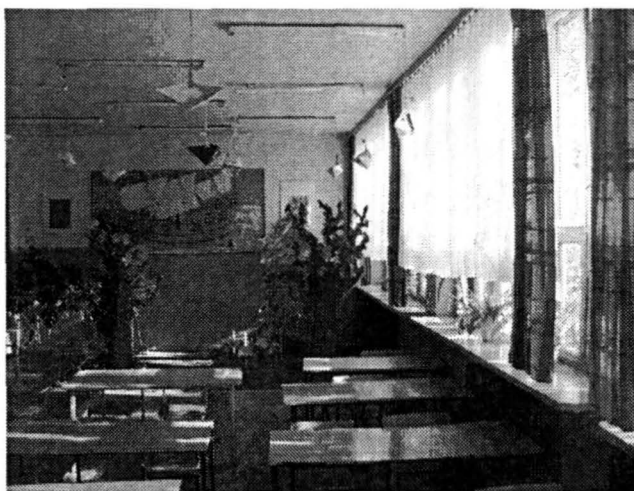
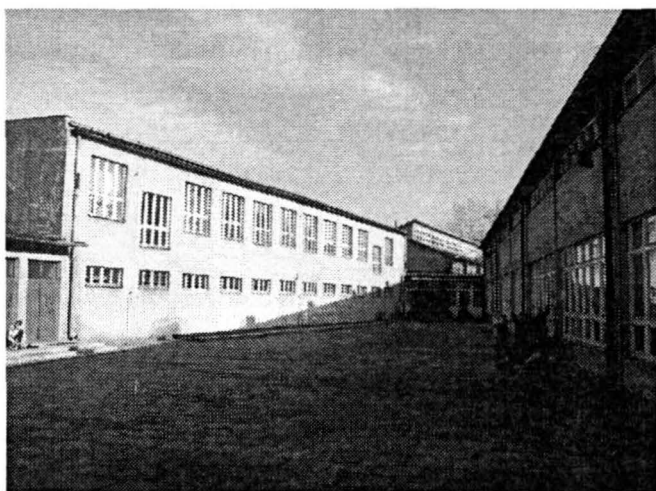
Przeprowadzone analizy wykazały, że nieefektywna wentylacja naturalna powinna być zastąpiona przez systemy zdolne do działania niezależnie od warunków pogodowych (systemy wentylacji hybrydowej lub mechanicznej). Wprowadzenie wymuszonego przepływu powietrza musi jednak uwzględniać zwiększone zużycie energii elektrycznej spowodowane pracą wentylatorów i pomp. Wprowadzenie tych systemów umożliwia jednak zmniejszenie zużycia ciepła i chłodu na cele wentylacji dzięki odzyskowi ciepła z powietrza usuwanego oraz stosowanie wymienników gruntowych. Ponieważ wymagania wentylacyjne uzależnione są od liczby osób przebywających w pomieszczeniu, a szkoły są użytkowane przeciętnie 1400-1600 godzin w roku, duży dodatkowy potencjał dla oszczędzania energii stwarza wentylacja sterowana w zależności od potrzeb. Jednocześnie rozwiązania te wymagają efektywnego i możliwie zdecentralizowanego systemu automatycznej regulacji.

Jako obiekt demonstracyjny w projekcie SUREBUILD wybrano szkołę podstawową nr 1 w Zgierzu. Obecnie jest ona wyposażona w nieefektywnie działający system wentylacji naturalnej. Powietrze napływa do klas poprzez nieszczelne okna gdzie ogrzewane jest przez system centralnego ogrzewania. W założeniu powietrze zużyte przepływa z klas szkolnych do korytarza poprzez kratki wyrównawcze. W celu odprowadzenia powietrza z korytarza przewidziano kanały wentylacyjne zlokalizowane w korytarzu. Jednakże na skutek hałasu przenikającego pomiędzy pomieszczeniami oraz z chęci zaoszczędzenia energii przekroje

kratek wyrównawczych oraz kratek wlotowych do kanałów są silnie przesłonięte (rys. 12). Wpływa to oczywiście na ograniczenie wymiany powietrza w klasach.

Biorąc pod uwagę analizę różnych technologii, które mogą wpływać na poprawę jakości powietrza w pomieszczeniach [1] oraz norweskie doświadczenia związane ze stosowaniem systemów wentylacji hybrydowej w budynkach szkolnych [4] zdecydowano się na następujące rozwiązania:

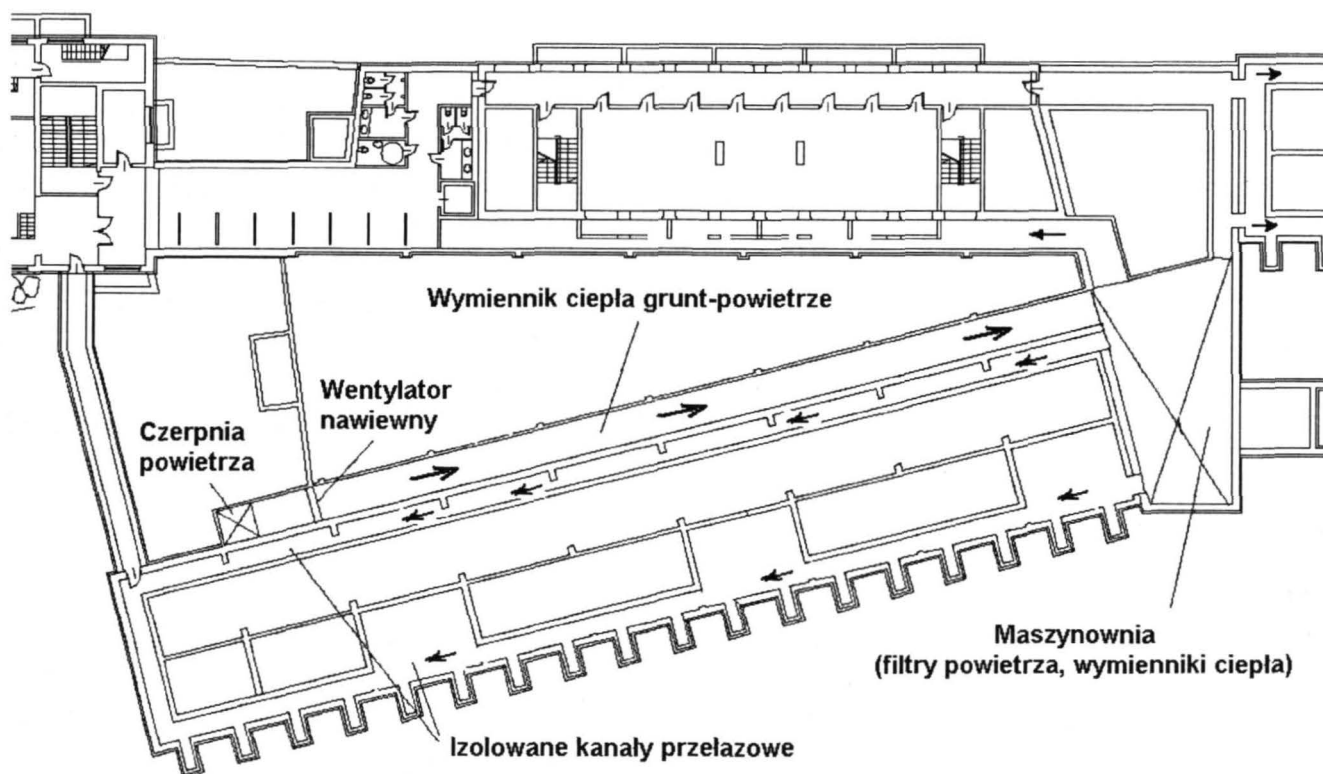
- zastosowanie materiałów budowlanych i wykończeniowych charakteryzujących się niską emisją lotnych związków organicznych i cząstek pyłowych,
- zwiększenie intensywności wentylacji do ok. $40 \text{ m}^3/\text{h}$ ucznia (wymagany strumień wg [8] wynosi $20 \text{ m}^3/\text{h}$ ucznia), w istniejących klasach należy się liczyć, że wartości są zbliżone do wyników badania szkół w Warszawie ok. $2\text{-}3 \text{ m}^3/\text{h}$ ucznia),
- zastosowanie energooszczędnego systemu wentylacji hybrydowej zintegrowanego z bryłą budynku oraz systemem ogrzewania.



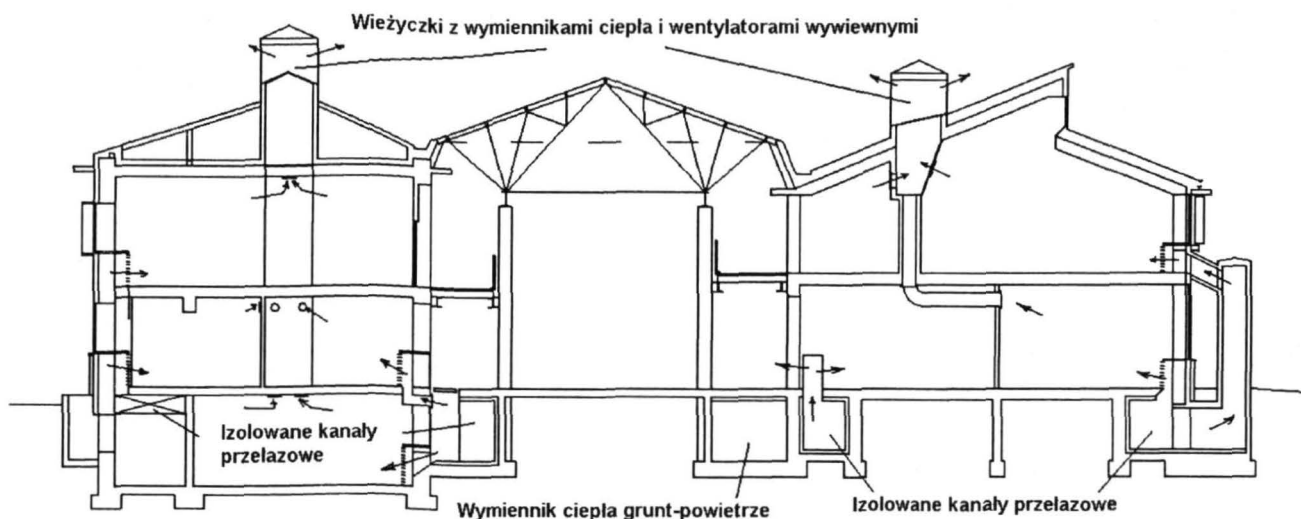
Rys. 12. Szkoła podstawowa nr 1 w Zgierzu wybrana jako obiekt do analiz szczegółowych w projekcie SUREBUILD: dziedziniec wewnętrzny (góra, strona lewa), typowa klasa, (góra, strona prawa), przesłonięte kratki wyrównawcze pomiędzy klasami a korytarzem (dół, strona lewa) oraz kanał przełazowy w podziemiach szkoły, które zamierza wykorzystać się jako element wentylacji hybrydowej (dół, strona prawa). (fot. autora).

Zgodnie z koncepcją architektoniczną modernizacji [3], szkoła w Zgierzu dość mocno zmieniła swój kształt. Nad obecnym dziedzińcem wewnętrznym (rys. 12) przewidziano atrium. System wentylacji naturalnej zastąpiono przez system wentylacji hybrydowej. Czerpnię powietrza zlokalizowano na jednej ze ścian budynku od strony północnej. Powietrze następnie przepływa przez kanał zlokalizowany pod atrium, w którym w okresie zimowym się ogrzewa, a w okresie letnim ochładza. W celu intensyfikacji wymiany powietrza na wlocie do kanału przewidziano wentylator osiowy. Powietrze będzie uzdatniane w maszynowni zlokalizowanej w centralnej części zespołu budynków. Uzdatnione powietrze będzie rozprawdane przez system przełącznych kanałów zlokalizowanych w piwnicy oraz system przewodów doprowadzających powietrze do poszczególnych pomieszczeń (rys.12 i 13).

W celu zwiększenia efektywności wentylacji zdecydowano się na wyporowy rozdział powietrza w klasach. Poszczególne klasy będą wyposażone w czujniki optyczne lub czujniki CO₂, za pomocą których będzie sterowana intensywność wentylacji. Powietrze zużyte będzie przepływało przez kratki wyrównawcze do przestrzeni atrium. Specjalne wieżyczki połączone z atrium wyposażone w wentylator wywiewny będą służyły do zwiększenia wymaganego ciśnienia czynnego. W górnej części wieżeczek zostaną zainstalowane także wymienniki do odzysku ciepła z powietrza usuwanego. W celu optymalizacji zaprojektowanego systemu wykonana zostanie symulacja komputerowa wykorzystująca program ESP-r.



Rys.13. Rzut fundamentów i piwnic szkoły podstawowej w Zgierzu po modernizacji z zaznaczeniem elementów wchodzących w skład systemu wentylacji hybrydowej (opcja) [3].



Rys.14. Przekrój przez dwa budynki szkolne połączone atrium (obecnie wewnętrzny)

6. PODSUMOWANIE

W nowowznoszonych i modernizowanych szkołach realizowanych zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju konieczne jest zastosowanie nowoczesnych systemów wentylacji. Analizy teoretyczne oraz bardzo pozytywne doświadczenia z pierwszych realizacji wskazują na systemy wentylacji hybrydowej jako niezmiernie ciekawy sposób zapewniania wymaganej jakości powietrza. Systemy wentylacji hybrydowej wsparte zastosowaniem wymienników do odzyskiwania ciepła z powietrza usuwanego, przeponowymi wymiennikami gruntowymi czy gruntowymi pompami ciepła charakteryzują się niewielkim zużyciem energii. Rozwiązania te są szczególnie popularne w krajach skandynawskich. Z technicznego punktu widzenia nic nie stoi na przeszkodzie aby stosować te rozwiązania także w Polsce. Do przewyciężenia pozostają jednak pewne zbyt sztywne wymagania rozporządzeń wykonawczych do polskiego prawa budowlanego.

Polsko-Norweski projekt badawczy SUREBUILD stwarza okazję do opracowania zasad kompleksowej modernizacji opartej na zasadach rozwoju zrównoważonego polskich szkół (szczególnie szkół tysiąclatek). Zmodernizowanie szkoły podstawowej nr 1 w Zgierzu zgodnie zaleceniami opracowanymi w ramach projektu SUREBUILD oprócz stworzenia niezmiernie ciekawego obiektu demonstracyjnego pozwoliłoby na zgromadzenie danych umożliwiających weryfikowanie przeprowadzonych analiz i symulacji oraz poprawę wiarygodności metod poszukiwania rozwiązań optymalnych.

7. LITERATURA

1. Andresen I, Aschehoug Ø, Matusiak B, Nesje A, Panek A, Pracki P, Rynska ED, Sowa J, Sustainable Rehabilitation Of School Buildings In Poland- A State-Of-The-Art. Warsaw University of Technology, Norwegian University of Science and Technology, Norway SINTEF Civil and Environmental Engineering, Norway, Warsaw/Trondheim 2004.
2. Aggerholm S, Control Strategies for Hybrid Ventilation w Hybrid Ventilation: An Integral Solution for Ventilation, Health and Energy (ed. van Heemst), TU-Delft, Faculty of Civil Engineering and Geoscience, str. 33-41, 2001.

3. Budzyński, M, Badowski Z, Zrównoważona modernizacja szkoły podstawowej w Zgierzu, Koncepcja, Marek Budzyński – Architekt Sp z o.o., Warszawa, 2004.
4. Buvik K, Glimpse of some Norwegian schools, SINTEF, Civil and Environmental Engineering, Trondheim, Norway, 2003.
5. de Dear R, Adaptive Thermal Comfort in Natural and Hybrid Ventilation, First International One day Forum on Natural and Hybrid Ventilation, HybVent Forum'99, 09/1999, Sydney, Australia, IEA International Energy Agency, Energy Conservation In Buildings And Community Systems Annex 35 HybVent, 1999.
6. Dyrektywa Rady Wspólnot Europejskich w sprawie zbliżenia ustaw i aktów wykonawczych Państw Członkowskich dotyczących wyrobów budowlanych (89/106/EEC) wraz z Dokumentami Interpretacyjnymi, ITB, Warszawa, 1994-96.
7. Fanger PO, Komfort cieplny, Arkady, Warszawa, 1974
8. PN-B-03430:1983/Az3:2000 "Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej - Wymagania", 2000.
9. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz. U. Nr 75, poz. 690, z późniejszymi zmianami, 2002/2004.
10. Sowa J, Wentylacja hybrydowa - przyszłość wentylacji czy przejściowa moda?, II Kongres techniczno-ekonomiczny INSTALEXPO 2004, str. 63-73, Warszawa 7-8 września 2004
11. Tjelflaat PO, Design Procedures for Hybrid Ventilation, An Integral Solution for Ventilation, Health and Energy (ed. van Heemst), TU-Delft, Faculty of Civil Engineering and Geoscience, str. 69-79, 2001.
12. Wouters P, Heijmans N, Delmotte C, Vandaele L, Classification of Hybrid Ventilation Concepts, IEA International Energy Agency, Energy Conservation In Buildings And Community Systems Annex 35 HybVent

Parameter des Innenraumkomfort (Glas) - sommerlicher Wärmeschutz

Michael V. Sprysch

SPI Braunschweig / HAWK HHG in Hildesheim/Studiengang Architektur

Das Ziel aller Bemühungen der Architekten und Ingenieure sollte heute die Suche nach innovativen Entwicklungen für Konstruktionen in der Architektur sein, mit dem Ziel die Wirtschaftlichkeit zu verbessern und Material sowie Energie einzusparen. Rohstoffe stehen nur begrenzt zur Verfügung und zu viel verbrauchte Materialien belasten zusätzlich die Umwelt.

Architektur war und ist immer eine Abbildung der technischen Möglichkeiten, die ein Zeitalter zu bieten hat. Jede Epoche hat Bauten hervorgebracht, die mit den zu der Zeit vorhandenen Technologien und Materialien möglich waren. In der Antike hat man mit ca. 40 Baustoffen die Tempel, Paläste und Häuser gebaut. Das Mittelalter weist ca. 400 Baustoffe, mit denen die Kathedralen gebaut wurden nach. In der Gegenwart werden die Bauten mit ca. 40 000 Baustoffen errichtet. Diese Zahlen zeigen wie schnell in der letzten Vergangenheit die Bautechnik neue Möglichkeiten findet das Bauen innovativer zu machen. Nur durch kontinuierliche Entwicklungen neuer Baustoffe und Technologien ist ein Fortschritt in der Architektur möglich. Bei der Planung ist die Behaglichkeit der Räume und der Innenkomfort eine der wichtigsten Maximen, die man berücksichtigen soll.

Die Industrie geht auf die Wünsche der Architekten und Planer ein und entwickelt immer neue, bessere Baustoffe.

In diesem Zusammenhang sind Materialien entwickelt worden, die insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Umweltfreundlichkeit entwickelt wurden. Es sind Baustoffe und Konstruktionen die der ganzzeitlichen Erwägung des Energieverbrauchs unterliegen. Der Energieherstellungsaufwand und das Wiederverwerten der Baustoffe wird hier berücksichtigt.

Das Eisen als Baustoff ist hier ein gutes Beispiel. Die ersten Konstruktionen auf Basis dieses Rohstoffs Guß- und Schmiedeeisenkonstruktionen, die im XIX. Jahrhundert gebaut wurden, zeigen die Möglichkeiten. Durch die großen, stützenfreien Räume und die Spannweite wird die Architektur neu definiert. Zuerst waren es die Ingenieure, die Chancen erkannt haben, die Architekten hatten immer noch die klassizistische monumentale

Architektur zelebriert. Eine leichte, transparente, materialminimierte Architektur war für sie halt keine Architektur. Heute versucht man Wege zu finden, den Stahl so minimalistisch wie möglich einzusetzen. Nach wie vor, ist die wichtige Maxime hier „weniger ist mehr“. Die richtige Formgebung des Bauwerkes mit Hilfe der Stahltragstruktur ist natürlich von großer architektonischer Bedeutung. Nicht nur im Hinblick auf seine äußere Erscheinung, sondern auch auf die ästhetische Wirkung des Innenraumes und die Zweckmäßigkeit der Form für die innere Nutzung.

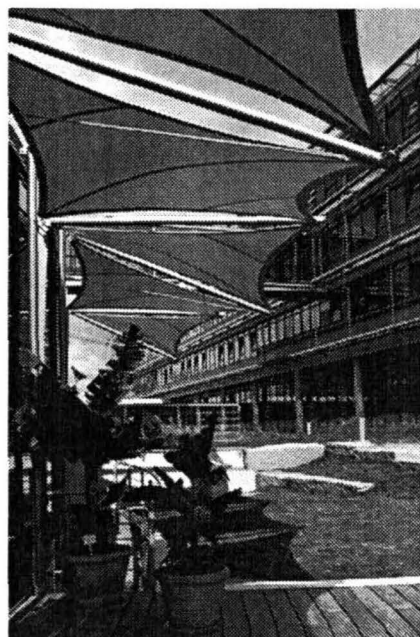
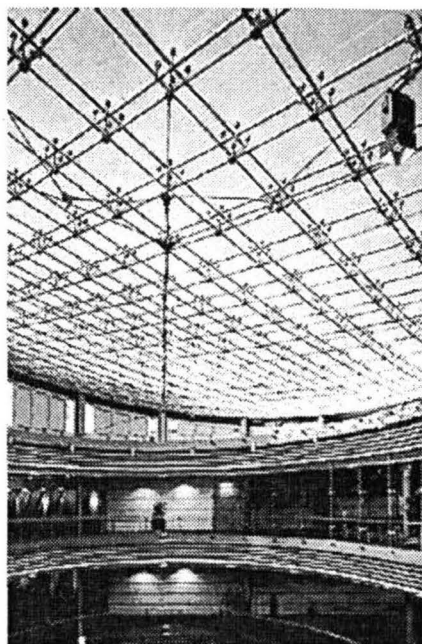
Wichtige Denkweisen in einem Entwurfsprozess sind die Nutzung der Natur, die klimatischen Eigenschaften des Gebäudes und die Topografie des Kontextes. Durch passive und aktive Nutzung der Sonnenenergie werden wichtige Entscheidungen bezüglich der Form des Gebäudes getroffen. Wind und Höhenunterschiede des Geländes werden zu bedeutenden Aspekten des Entwurfes.

Die umweltfreundlichste Lösung zur Deckung des Energiebedarfs eines Gebäudes ist die passive Solarenergienutzung. Hier wird insbesondere der Baustoff Glas in unterschiedlichen Variationen angewandt. Das Glas erlebt zur Zeit eine Renaissance. Die seit Crystal Palast verwendeten Gläser haben sich völlig geändert. Es gibt Technologien die erlauben Formate bis zu 5 m herzustellen. Die einzige Schwierigkeit heute ist der Transport und die Montage von so großen Tafeln. Die Industrie hat uns Gläser für „jede Situation“ geliefert. Gläser wie Floatglas, Spiegelglas, Gussglas, ESG, TVG, VSG, Gläser die für bestimmte Bereiche angewandt werden. Ein ganz wichtiger Bereich ist hier das Glas als Tragkonstruktion. Glas wird als Träger für die Transparenz konzipiert. Es werden Dächer, Decken, Stützen, sogar Brücken in Glas konstruiert. Dabei ist nicht zu vergessen, daß das Glas eine simple chemische Zusammensetzung hat. Quarzsand und Soda kommen in der Natur ausreichend und unkompliziert vor.

Durch das Glas wird die Energie gefangen. Es muss noch dafür gesorgt werden, dass die Energie akkumuliert wird. Eine Möglichkeit hierfür liegt in der Aktivierung der Masse der Konstruktion des Gebäudes, die für die Behaglichkeit des Innenraumes sorgen kann. Die Innenwände und Stahlbetondecken können passiv oder aktiv als „Wärmetauscher“ wirtschaftlich eingesetzt werden.

Große Glasfassaden sind kein Problem mehr im Winter. Die Wärmedämmung der Glaselemente ist so gut, das sie wärmetechnisch fast wie eine herkömmliche Außenwand funktionieren kann. Es gibt kaum Wärmeverluste, die U-Werte können 0,70 bis sogar 0,50 W/m²K erreichen. Dazu kommt noch die Nutzung der Räume. Es werden immer mehr Geräte und Maschinen die Wärme erzeugen z.B. Computer, Drucker usw. eingesetzt, sodaß die Raumtemperatur erhöht wird.

Diese Situation kann zu einem Problem im Sommer führen. Bei der Planung der Fassaden sind die Angaben der DIN 4108-7 zu berücksichtigen. Je nach Speichermasse heizen sich im Sommer die Räume auf und so kann die Behaglichkeit des Raumes negativ beeinflusst werden. Für den Wärmeschutz im Sommer ist für die einzelnen Räume je nach Art der möglichen Belüftung, der auf die Außenwand bezogenen Masse der Innenbauteile und der Orientierung des Raumes ein Höchstwert g_f für den Energiedurchlassgrad des Fensters festgelegt.



Der sommerliche Wärmeschutz ist abhängig vom Sonneneintragskennwert der transparenten Außenbauteile und der Bauart. Der Sonneneintragskennwert hängt von folgenden Größen ab:

- Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung,
- Wirksamkeit der Sonnenschutzvorrichtung,
- Anteil der Fensterflächen an der Fassade,
- Rahmenanteil der Fenster.

Wie hoch die höchsten Innentemperaturen sind, hängt auch von der sommerlichen Klimaregion ab. Weitere Einflussgrößen sind:

- die wirksame Wärmespeicherfähigkeit der raumumschließenden Flächen,
- die Lüftung, insbesondere in der zweiten Nachthälfte,
- die Fensterneigung und -orientierung.

Diese Einflüsse werden mit einem Grundwert S_0 und mit Zuschlagswerten ΔS_x zu einem Höchstwert $S_{\max}$ zusammengefasst und mit den Anforderungen der Räume verglichen.

Damit zu Wohn- und ähnlichen Zwecken dienende Gebäude im Sommer möglichst ohne Anlagentechnik zur Kühlung auskommen und zumutbare Temperaturen nur selten überschritten werden, darf der raumbezogene Sonneneintragskennwert den Höchstwert nicht überschreiten.

Weitere Angaben und Daten bezüglich der Planung des Innenraumes und der Fassade unter Berücksichtigung des Sommerlichen Wärmeschutzes werden an der Konferenz in Slok 2005 vorgestellt.

Problemy związane z zabezpieczeniem wyrobów azbestowo-cementowych

Jan Szulc

Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych

1. WSTĘP

Wyroby azbestowo-cementowe dzięki swoim właściwościom, takim jak niska masa wyrobów, znaczna wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie czy odporność na czynniki atmosferyczne a nawet chemiczne, przez wiele lat były powszechnie stosowane w budownictwie. Produkowano i stosowano elementy pokryć dachowych i elewacyjnych (płaskie i faliste), profile wentylacyjne, rury ciśnieniowe i in. Obecnie ocenia się, że np. łączna powierzchnia pokryć dachowych i elewacyjnych z azbestocementu wynosi w Polsce ok. 2 mld m² a masa wyrobów zawierających azbest to ok. 300 000 Mg.

Rozwijająca się ciągle wiedza medyczna, w wyniku licznych badań, udowodniła w sposób niepodważalny, że uwalniające się z wyrobów włókna azbestu, dostając się wraz z powietrzem do płuc mogą powodować poważne zagrożenie dla ludzkiego zdrowia. Uwalnianie się włókien z wyrobów następuje podczas naturalnego starzenia się materiału, prac remontowo-konserwacyjnych bądź demontażu.

W dniu 19 czerwca 1997 roku ukazała się w Polsce ustawa zakazująca stosowania wyrobów zawierających azbest (Dz. U. Nr 101 poz. 628). Następnie do ustawy tej opracowano rozporządzenia wykonawcze;

- ministra pracy i polityki socjalnej z 2 kwietnia 1998 r. (Dz. U. Nr 45 poz. 280)
- ministra gospodarki z 14 sierpnia 1998 r. (Dz. U. Nr 138 poz. 895)

dotyczące bezpiecznego użytkowania oraz warunków usuwania wyrobów zawierających azbest.

2. WYROBY AZBESTOWO-CEMENTOWE

Azbest jest materiałem mineralnym (uwodnionym lub bezwodnym krzemianem magnezu) występującym w postaci żył lub domieszek w niektórych skałach (serpentyń i hornblenda). Pokłady azbestu znajdują się na Syberii, w Kanadzie i Afryce południowej. Azbest ma strukturę włóknistą, dającą się rozdzielać na bardzo cienkie nici, które można skręcać i tkać. Wytrzymałość na rozerwanie tych nici dochodzi do 800 N/mm². Ponadto azbest jest niepalny, nie ulega działaniu alkaliów a nawet kwasów i wykazuje bardzo dobrą przyczepność do cementu. Stosowano go do wyrobu tkanin ognioodpornych, izolacji ogniowych oraz do produkcji materiałów budowlanych.

Do wyrobu materiałów budowlanych azbestowo-cementowych stosowano azbest chryzotylowy lub amfibolowy, krótko i średnio włóknisty (długość włókien $0,7 \div 5,5$ mm) w ilości ok. $12 \div 16$ % wagowo, w połączeniu z cementami portlandzkimi wyższych marek.

Typowe wyroby azbestowo-cementowe stosowane w budownictwie to;

- płyty i płytki prasowane płaskie (PN-74/B-14040)
- płyty nieprasowane płaskie i faliste (PN-83/B-14041)
- rury wodociągowe i kanalizacyjne
- przewody i profile wentylacyjne (np. MPKA, MPKB)
- płaszcze ochraniające termoizolację na rurach ciepłowniczych (zaprawa, torkret).

3. BEZPIECZNE UŻYTKOWANIE WYROBÓW AZBESTOWO-CEMENTOWYCH

Wspomniane we wstępie rozporządzenia wykonawcze precyzują sposoby postępowania z wyrobami zawierającymi azbest. I tak;

- wyroby o gęstości objętościowej poniżej 1000 kg/m^3 powinny być usunięte,
- wyroby o większej gęstości objętościowej mogą być bezpiecznie użytkowane po wykonaniu przeglądu technicznego, stwierdzającego brak widocznych uszkodzeń mogących stwarzać warunki dla emisji azbestu do otoczenia. Sposób wykonania ww. oceny przedstawiony jest w załączniku nr 1 do rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 1998 r. (Dz. U. Nr 138 poz.895). Ocena polega na przyznawaniu odpowiedniej ilości punktów w zależności od rodzaju wyrobu, jego stanu zewnętrznego oraz jego usytuowania w obiekcie,
- w przypadku uzyskania pozytywnej oceny przeglądu należy dokonać zabezpieczenia wyrobu przed emisją włókien azbestowych poprzez;
 - a. zabudowę przestrzeni w której znajdują się wyroby azbestowo-cementowe, lub
 - b. pokrycie powierzchni zawierających azbest szczelną powłoką ze środków wiążących azbest.
- w zależności od stopnia uzyskanej oceny należy ją powtarzać w okresach 1–5 letnich.

W obecnej chwili, na rynku materiałów budowlanych pojawiły się wyroby malarskie, pozwalające na zabezpieczenie powierzchni zawierających azbest. Przed zastosowaniem określonego materiału należy upewnić się czy posiada on Aprobata Techniczną ITB dla powłok ochronnych zabezpieczających wyroby azbestowo-cementowe.

4. USUWANIE I SKŁADOWANIE USUNIĘTYCH WYROBÓW

W przypadku konieczności usunięcia wyrobu ($\rho_p < 1000 \text{ kg/m}^3$ lub negatywny wynik ww. oceny) należy spełnić warunki określone we wspomnianym wyżej rozporządzeniu:

- obszar prowadzonych prac musi być ogrodzony i odpowiednio izolowany od otoczenia
- demontowanie wyrobów należy wykonywać tak aby wyeliminować lub do minimum zmniejszyć pylenie azbestu (moczenie wodą i utrzymywanie w stanie wilgotnym)

- zdemontowane materiały powinny być pakowane w grubą folię ($>0,2$ mm) i odpowiednio oznakowane
- wszystkie prace powinny być wykonywane przez odpowiednio przeszkolonych pracowników
- po wykonaniu ww. prac wykonawca ma obowiązek złożenia pisemnego oświadczenia o prawidłowym i zgodnym z przepisami wykonaniu prac oraz oczyszczeniu terenu robót z azbestu
- zdemontowane wyroby należy przygotować do transportu na miejsce składowania, wyznaczone przez odpowiedzialne za to służby, poprzez umieszczenie w opakowaniach zbiorczych lub utwardzenie przy użyciu cementu. Opakowania należy odpowiednio oznakować
- transport do miejsca składowania oznakowanych opakowań musi odbywać się zgodnie ze szczegółowymi przepisami ustawy „Prawo o ruchu drogowym”.

Na zakończenie należy dodać, że zgodnie z wspomnianymi rozporządzeniami, wszystkie koszty związane z wykonaniem oceny, zabezpieczaniem czy też demontażem i wywiezieniem wyrobów azbestowo-cementowych ponosi właściciel obiektu lub urządzenia budowlanego.

Biologiczne źródła energii odnawialnej

Maciej Wojtczak

Politechnika Łódzka, Instytut Chemicznej Technologii Żywności

1. WSTĘP

W krajach Unii Europejskiej, mimo zrewidowania zużycia energii po kryzysie naftowym na początku lat siedemdziesiątych, stale wzrasta zapotrzebowanie na energię pierwotną. Kryzys naftowy z lat siedemdziesiątych spowodował wprowadzenie doraźnych instrumentów politycznych i ekonomicznych dla racjonalizacji zużycia energii. Zmniejszono zużycie paliw przez samochody oraz rozwinięto energetykę jądrową jako alternatywę dla elektrowni opalanych olejem.

Tablica 1. Zużycie pierwotne energii w UE w Mtoe [1]

	1973 r.	1990 r.	2000 r.	2001 r.	2010 r.
Pierwotne zużycie energii ogółem	1 158,34	1 322,75	1 460,28	1 482,32	1 617,37
Węgiel	292,82	299,40	212,23	212,24	183,91
Ropa naftowa	689,26	548,95	592,80	599,20	632,45
Gaz	121,69	223,33	338,74	346,53	457,75
Źródła atomowe	17,68	187,79	225,14	231,77	220,44
Źródła odnawialne	35,96	60,93	87,38	88,60	105,84
Import	0,94	2,35	3,64	2,65	4,70
Ciepło	-	-	0,37	0,34	-

Dane w tablicy 1 pokazują zmiany struktury zużycia pierwotnych źródeł energii od roku 1973 do 2001 w krajach Unii Europejskiej oraz prognozę na rok 2010. Obecnie w energetyce unijnej dominuje ropa naftowa i gaz ziemny stanowiąc razem 63,8 % energii pierwotnej. Węgiel dostarcza około 14,4 % energii, źródła atomowe 15,6 %, a źródła odnawialne zaledwie 6%.

Energetyka Unii Europejskiej jest ściśle uzależniona od dostaw surowców z zewnątrz. Obecnie import wynosi około 50% zapotrzebowania, a szacunkowe prognozy przewidują jego wzrost do 70% do roku 2030, przy zachowaniu aktualnych tendencji. Stały wzrost zużycia energii w krajach Unii Europejskiej i związany z tym wzrost importu surowców energetycznych stawia Wspólnotę w trudnej sytuacji zarówno ekonomicznej jak i politycznej. Uzależnienie gospodarki europejskiej od tendencji na światowych rynkach surowców energetycznych, zwłaszcza cen surowej ropy, pokazuje słabość struktury energetyki Wspólnoty w zakresie bezpieczeństwa energetycznego. Prawidłowe funkcjonowanie gospodarki w przyszłości wymaga długofalowej strategii bezpieczeństwa energetycznego zapewniającej nieprzerwaną fizyczną dostępność produktów energetycznych na rynku wewnętrznym po cenach dostępnych dla wszystkich odbiorców z jednoczesnym uwzględnieniem troski o środowisko. [2]

Dążenia Unii Europejskiej do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego powinny być skoncentrowane na równoważeniu i dywersyfikacji źródeł energii zarówno w odniesieniu do surowców oraz regionów geograficznych ich pochodzenia. Bezpieczeństwo energetyczne Wspólnoty powinno się opierać na minimalizowaniu ryzyka związanego z uzależnieniem od importu surowców energetycznych, jednak bez dążenia do samowystarczalności energetycznej.[2]

Inny bardzo ważnym czynnikiem warunkującym politykę energetyczną Unii Europejskiej jest troska o środowisko naturalne. Wzrastająca świadomość ekologiczna społeczeństwa coraz bardziej wpływa na politykę gospodarczą krajów. Dbałość o minimalizowanie wpływu gospodarki na środowisko obejmuje także systemy energetyczne, zwracając uwagę na szkody ekologiczne powodowane przez emisję zanieczyszczeń oraz powstałe na skutek wypadków (wycieki ropy naftowej, skażenia radioaktywne). Do najbardziej niekorzystnych ze względów ekologicznych surowców energetycznych zalicza się paliwa kopalniane oraz energię jądrową. Jednym z najważniejszych problemów ekologicznych jest walka ze zmianą klimatu, powodowaną głównie emisją gazów cieplarnianych. Unia Europejska podpisując w 1997 roku protokół z Kioto [3] zobowiązała się między innymi do redukcji emisji dwutlenku węgla, i chociaż cel roku 2000 r. został osiągnięty to emisja gazów cieplarnianych wzrasta nadal, zarówno w Unii, jak i na całym świecie. Odwrócenie tej tendencji wymaga więcej wysiłku i szerszych działań niż uwzględnia to protokół z Kioto.

Sytuacja na europejskim rynku energetycznym oraz względy ekologiczne zmusiły Unię Europejską do debaty na temat bezpieczeństwa energetycznego. W listopadzie 2000 r. opublikowana została Zielona Księga „Ku europejskiej strategii bezpieczeństwa energetycznego”. [2] W Zielonej Księdze naszkicowano ramy długofalowej strategii energetycznej, która zakłada:

- zrównoważenie polityki energetycznej przez działania na rzecz kontroli zapotrzebowania,
- stosowanie aktywnej polityki oszczędności energii dywersyfikacji źródeł, na korzyść energii nie powodującej zanieczyszczeń,
- rozwój nowych i odnawialnych źródeł energii, w tym biopaliw.

Zielona Księga zakłada podwojenie udziału odnawialnych źródeł energii w ogólnej produkcji z 6 do 12 % i zwiększenie ich udziału w produkcji energii elektrycznej z 14 do 22% do roku 2010.

2. ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII

Odnawialne źródło energii (OŹE) to źródło wykorzystujące w procesie przetwarzania energię słoneczną, energię wiatru, czy biomasy, a także energię kinetyczną płynącej wody lub wewnętrzne ciepło Ziemi. Do OŹE zalicza się, niezależnie od parametrów technicznych, procesy wytwarzające energię elektryczną lub ciepłą pochodzącą z surowców odnawialnych. Wyróżnia się trzy rodzaje odnawialnych źródeł energii:

- energię promieniowania słonecznego i jej pochodne,
- energię wnętrza Ziemi – energia geotermalna,
- energia ruchów planetarnych.

Energia słoneczna jest podstawowym źródłem energii docierającym do Ziemi i może być przekształcana poprzez: konwersję fotowoltaiczną, konwersję fotochemiczną, w tym fotobiochemiczną (fotosyntezę), konwersję fototermiczną.

W szczególności do OŹE należą: elektrownie wodne, elektrownie wiatrowe, elektrownie słoneczne (ogniwa fotowoltaiczne), kolektory słoneczne, źródła geotermiczne oraz systemy biologiczne.

Główną cechą OŹE jest to, że ich zasoby są praktycznie niewyczerpalne i uzupełniają się nieustannie. Produkcja energii z OŹE nie zanieczyszcza środowiska lub czyni to w znacznie mniejszym stopniu niż tradycyjne technologie. Ważną cechą OŹE jest ich globalna dostępność i różnorodność występowania na Ziemi. Rozwój systemów energetycznych wykorzystujących OŹE przyczynia się do dywersyfikacji źródeł energii, decentralizacji produkcji, zmniejszenia niekorzystnego oddziaływania na środowisko energetyki, a tym samym może wpływać na zwiększanie bezpieczeństwa energetycznego Unii Europejskiej. [4,5]

W 1997 przyjęto Białą Księgę Komisji Europejskiej „Energia dla przyszłości – odnawialne źródła energii” [5], w której założono wzrost zużycia energii produkowanej ze źródeł odnawialnych w stosunku do zużycia energii brutto w UE o 12% do roku 2010. Planowany jest wzrost przede wszystkim produkcji energii z wiatru, biomasy, energii geotermalnej, ogniw fotowoltaicznych oraz ciepłej energii słonecznej. Założenie wzrostu poszczególnych form energii odnawialnej przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2. Założenia Unii Europejskiej dotyczące rozwoju odnawialnych źródeł energii do roku 2010 [5]

Rodzaj OŹE	jednostki	1995 r.	2010 r.	Wzrost %
Energia wiatru	GW	2,5	40	1 600
Energetyka wodna	GW	92	105	114
Ogniwa fotowoltaiczne	GWp	0,03	3	10 000
Energia biomasy	Mtoe	44,8	135	301
Energia geotermalna elektryczna ciepła	GW	0,5	1	200
	GWth	1,3	5	385
Ciepła energia słoneczna	mln m ²	6,5	100	1 539
Pasywne systemy słoneczne	Mtoe	-	35	
Inne	GW	-	1	

W 1999 r. Komisja Europejska przyjęła Kampanię Wdrożeniową [6] będącą krótkookresową strategią wprowadzania w życie założeń Białej Księgi i obejmującą wykaz działań niezbędnych do osiągnięcia takiego poziomu inwestycji w ramach OZE w latach 1999-2003, aby było możliwe osiągnięcie celu ostatecznego w roku 2010. W 2001 r. Parlament Europejski przyjął Dyrektywę 2001/77/EC [7] w sprawie promocji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej produkowanej z odnawialnych źródeł energii, wyznaczającą 22,1% udział energii elektrycznej produkowanej z odnawialnych źródeł energii w całkowitym zużyciu energii elektrycznej we Wspólnocie do roku 2010.

W aktualnych dokumentach dotyczących strategii energetycznej [2, 4-8], Unia Europejska wyraźnie wskazuje, że odnawialne źródła energii mają znaczące możliwości zwiększenia bezpieczeństwa zaopatrzenia w energię w Europie. Jednak rozwój ich stosowania będzie zależał od wyjątkowo wielkich wysiłków natury politycznej i ekonomicznej. Wysiłki te powiodą się tylko jeżeli towarzyszyć im będzie rzeczywista polityka popytu ukierunkowana na racjonalizację i stabilizację zużycia energii. W średnim horyzoncie czasowym, odnawialne źródła energii są jedynymi, w odniesieniu do których Unia Europejska ma pewne pole manewru, pozwalające na zwiększenie podaży w obecnych warunkach. Nie wolno nam zaniedbać tej formy energii. Jednocześnie zwraca się uwagę, że tylko instrumenty finansowe (pomoc państwa, ulgi podatkowe i bezpośrednie dotacje) mogą podtrzymać realizację tego ambitnego celu. Należy przeanalizować jeden z możliwych sposobów — przynoszące zysk rodzaje energii takie, jak ropa naftowa, gaz czy energia jądrowa mogłyby finansować rozwój energii odnawialnych, które w przeciwieństwie do tradycyjnych źródeł energii nie korzystały dotąd ze znacznej pomocy.

3. BIOLOGICZNE ŹRÓDŁA ENERGII ODNAWIALNEJ

Do biologicznych źródeł energii odnawialnej zalicza się biomasę, w tym biopaliwa płynne i stałe oraz biogaz. Biomasa jest największym źródłem energii odnawialnej, szacuje się, że stanowi ona 14 % światowej energii pierwotnej. Biomasa, ze swej strony, może przyczynić się w sposób znaczący do wzmocnienia trwałego bezpieczeństwa zaopatrzenia w energię. Biomasa jest występującym powszechnie i mającym wiele zastosowań zasobem, który może z równą łatwością być użyty to produkcji ciepła jak i energii elektrycznej. Biologiczne źródła energii obejmują pozostałości z rolnictwa i leśnictwa oraz plony roślin uprawianych na cele energetyczne. Ogromny potencjał pozostałości z rolnictwa i leśnictwa nie został jeszcze dotąd w pełni wykorzystany. Wszystkie kraje członkowskie Unii Europejskiej podkreślają znaczenie tego rodzaju źródła energii i wprowadzają silne instrumenty wspierające. Wydają się one jednak nie wystarczające aby osiągnąć poziom 135 Mtoe w 2010 r. indykowany w „Białej Księdze”. [5]

Biopaliwa stałe są to substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego nadające się do bezpośredniego spalania. Jako biopaliwa stałe można wykorzystywać odpady produkcji rolnej oraz leśnej, w szczególności słomę, odpady i zrębki drewniane oraz rośliny uprawiane specjalnie w celach energetycznych, np. wierzba energetyczna. Kotłownie na biopaliwa stałe stanowią stosunkowo prosty system wykorzystania biomasy o szerokim zakresie mocy od kilkunastu kW do kilku MW. Oddzielnym rodzajem biomasy są odpady komunalne, które mogą być wykorzystywane jako źródło energii w spalarniach odpadów komunalnych. Jest to rozwiązanie głównie dla dużych ośrodków miejskich, pozwalające na utylizację odpadów i pozyskiwanie energii. Przykładem może być Wiedeń, w którym

funkcjonują spalarnie odpadów komunalnych i odpadów niebezpiecznych o mocy 150 MW, pokrywając około 28% zapotrzebowania energii cieplnej dla miasta.

Biopaliwa ciekłe są to estry olejów roślinnych stanowiące samoistne paliwa silnikowe, benzyny silnikowe zawierające w swoim składzie dodatek bioetanolu w tym bioetanol zawarty w eterze etylo-tert-butylovym lub eterze etylo-tert-amylowym oraz mieszaniny oleju napędowego i estrów olejów roślinnych.

Biodieselem nazywamy olej napędowy stanowiący lub zawierający biologiczny komponent w postaci metylowych estrów wyższych kwasów tłuszczowych. Surowcem dla produkcji estrów metylowych kwasów tłuszczowych są tłuszcze zwierzęce lub oleje roślinne (w tym rzepakowy) oraz odpadowe tłuszcze roślinne. Metylowe estry rzepakowe, mogą być stosowane jako materiał napędowy do silników wysokoprężnych – mogą więc stanowić uzupełnienie lub substytut wobec tradycyjnego oleju napędowego. Ponadto można je stosować zamiast oleju opałowego do ogrzewania budynków. Sztandarowym przykładem takiego zastosowania wykorzystanie ich do ogrzewania siedziby Parlamentu Niemiec – Reichstagu” w Berlinie.

Biokomponentem dla benzyn jest bioetanol. Surowcami do produkcji spirytusu surowego (bioetanolu) na cele energetyczne mogą być odpadowe surowce przemysłu rolno-spożywczego takie jak melas oraz niskowartościowe płody rolne takie jak zboża, ziemniaki, czy buraki cukrowe. W Polsce większość produkcji alkoholu etylowego jest wykonywana w gorzelniach. Proces fermentacji zacieru odbywa się w kadziach fermentacyjnych. Po zakończeniu tego procesu wykonuje się odfiltrowanie roztworu alkoholu od osadów. Następnie roztwór alkoholu poddaje się procesowi rektyfikacji. W wyniku tego procesu otrzymuje się stężony alkohol etylowy, metylowy, oraz lekkie frakcje. Etanol otrzymywany według tej tradycyjnej technologii jest względnie kosztowny jednak istnieją na świecie rozwiązania opłacalne ekonomicznie. Przykładem jest Brazylia, gdzie etanol pochodzący z trzciny cukrowej zapewnia połowę zużywanego paliwa samochodowego, a energia otrzymywana z biomasy stanowi 30 % zużywanej energii.

Biogaz jest produktem fermentacji beztlenowej związków pochodzenia organicznego, zawierających celulozę, białko, węglowodany, skrobię. Surowcem do produkcji biogazu mogą być prawie wszystkie organiczne odpady rolnicze, komunalne oraz osady ściekowe. Szczególnie przydatne ze względu na skład są odchody zwierzęce w postaci gnojowicy lub obornika. Skład chemiczny biogazu jest zróżnicowany i zależy przede wszystkim od materiału fermentowanego i zawiera przeciętnie: 45-65% metanu (CH_4), 25-35% dwutlenku węgla CO_2 , 7-10% azotu, <3% tlenu oraz około 1 % pozostałych domieszek takich jak siarkowodór, amoniak, aldehyd octowy, etan, aceton. Metan jest gazem łatwopalnym, nietrującym, bezwonny i znacznie lżejszym od powietrza. W czasie spalania 1 m³ metanu powstaje około 1,6 kg wody w postaci pary. Wartość opałowa biogazu to 16,8-23,0 MJ/m³, a po oddzieleniu dwutlenku węgla wzrasta do 35,7 MJ/m³.

Pozyskiwanie energii z biogazu może odbywać się poprzez spalanie go w kotle w celu uzyskanie energii cieplnej lub poprzez napędzanie generatora w celu uzyskania energii elektrycznej. Biogaz produkowany jest głównie poprzez:

- fermentacja odpadów organicznych na wysypiskach,
- fermentacja osadu czynnego w oczyszczalniach ścieków
- fermentacja obornika lub gnojowicy w indywidualnych gospodarstwach rolnych.

Biogaz na wysypiskach odpadów powstaje samoczynnie, z jednego Mg odpadów powstaje w ciągu 20 lat przeciętnie 230 m³ gazu wysypiskowego. Istnieje obecnie kilka na świecie sprawdzonych i opłacalnych technologii pozyskiwania energii z biogazu z wysypisk. Produkcja biogazu w oczyszczalniach ścieków może być prowadzona poprzez fermentację beztlenową osadu czynnego w komorach fermentacyjnych. Produkcja biogazu w polskich oczyszczalniach oceniana jest na około 45 Mm³ rocznie, a możliwości na 1330 Mm³

4. PODSUMOWANIE

Obecnie przed Unią Europejską stoi wyzwanie racjonalizacji zużycia energii oraz stworzenie długofalowej wizji bezpieczeństwa energetycznego. Przyjęte obecnie kierunki rozwoju energetyki skupiają się na zmniejszeniu zużycia energii z jednej strony oraz na dywersyfikacji źródeł surowców energetycznych z drugiej strony. W dożęciu do zminimalizowania negatywnych skutków uzależnienia gospodarki europejskiej od tendencji na światowych rynkach paliw kopalnych bardzo ważnym narzędziem jest rozwijanie „zielonej” energetyki opartej na surowcach odnawialnych. Wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w gospodarce jest również podyktowany troską o środowisko naturalne.

Wśród OZE bardzo ważną rolę odgrywają źródła biologiczne, których potencjał nie jest wciąż wykorzystany i tym samym istnieją duże możliwości wzrostu udziału tego segmentu rynku energetycznego. Biopaliwa emitują mniej zanieczyszczeń od paliw klasycznych, a ich masowa produkcja przyczyniłaby się do rozwoju rolnictwa poprzez rozwinięcie poza żywnościowych kierunków wykorzystania produktów rolniczych.

Należy jednak pamiętać, że dla szybkiego i skutecznego rozwoju energetyki opartej na OZE potrzebne są zachęty finansowe lub fiskalne. Wyznaczony cel przez Unię Europejską udziału ich w produkcji energii może pozostać pustym zapisem bez sprzyjających zachęt fiskalnych, przepisów prawnych i porozumień z przemysłem.

5. LITERATURA

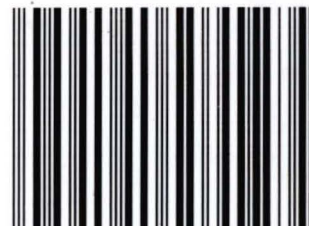
1. Electricity Information 2002 with 2001 data, OECD/IEA, Paris 2002
2. Towards a European strategy for the security of energy supply, Green Paper, COM(2000) 769 final, 29.11.2000.
3. “Climate Change – The EU Approach to Kyoto”, COM(97) 481 final, 1.10.1997.
4. Energy for the Future: Renewable Sources of Energy, Green Paper, COM(96) 576, 20.11.1996.
5. Energy for the Future: Renewable Sources of Energy, White Paper for a Community Strategy and Action Plan, COM(97) 599 final, 26.11.1997.
6. Energy for the Future: Renewable Sources of Energy (Community Strategy and Action Plan) Campaign for take-off, SEC(99) 504.
7. Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market, Official Journal L 283, 27/10/2001.
8. Communication from commission to the council, the European parliament, the economic and social committee and the committee of the regions on the implementation of the Community Strategy and Action Plan Renewable Energy Sources (1998-2000), COM(2001) 69 final, 16.02.2001.



100084

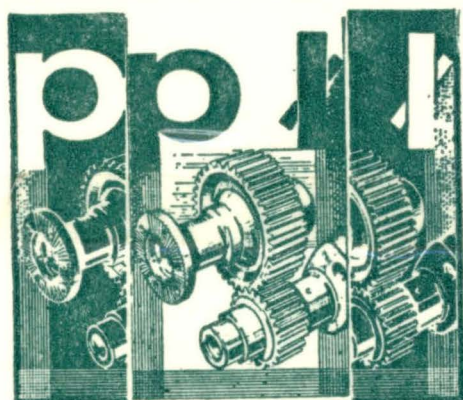
- 5 **Przedmowa**
Piotr Klemm, Dariusz Heim
- 7 **II Sympozjum Naukowe - Budownictwo Ekologiczne**
Dariusz Heim
- 9 **Pracownia Aerodynamiki Obszarów Zabudowy**
Katarzyna Klemm
- 13 **Symulacje energetyczne budynków - rewizja i optymalizacja interfejsu użytkownika**
Piotr Bartkiewicz
- 31 **Rozwiązania energooszczędne we wspólnocie**
Sławomir Grabarczyk
- 43 **Zastosowanie materiałów fazowo-zmiennej do magazynowania energii**
Dariusz Heim
- 57 **Jak ujarzmiono wiatr jako źródło energii**
Imad El-Dine Ibrahim
- 59 **Ocena warunków mikroklimatu wietrznego w strukturach zabudowy**
Katarzyna Klemm
- 69 **Wpływ metylocelulozy na cechy zaczynów gipsowych**
Piotr Konca
- 75 **Certyfikat energetyczny budynku z trigeneracją energii - "Berlaymont"**
Commission européenne
Piotr Narowski, Aleksander Panek
- 91 **Wentylacja pomieszczeń a oszczędność energii w budynku**
Aleksander Pawłowski
- 97 **Wpływ głębokości pomieszczenia na zapotrzebowanie na energię do oświetlenia**
Anna Romanowska
- 105 **Systemy wentylacji hybrydowej w budynkach szkolnych**
Jerzy Sowa
- 121 **Parameter des Innenraumkomfort (Glas) - sommerlicher Wärmeschutz**
Michael V. Sprysch
- 125 **Problemy związane z zabezpieczeniem wyrobów azbestowo-cementowych**
Jan Szulc
- 129 **Biologiczne źródła energii odnawialnej**
Maciej Wojtczak

Biblioteka Główna
pł



210000090536

100084



EXLIBRIS

politechnika łódzka • łódź • biblioteka

ISBN 83-88499-15-7