

Zbigniew PLUTECKI, Michał TOMASZEWSKI, Sławomir ZATOR
POLITECHNIKA OPOLSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI I INFORMATYKI,
INSTYTUT ELEKTROWNI I SYSTEMÓW POMIAROWYCH

Racjonalna gospodarka energią w budynkach

Dr inż. Zbigniew PLUTECKI

Adiunkt na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej. Dorobek naukowy to 29 publikacji w czasopiśmie, materiałach krajowych i międzynarodowych konferencji, udział w 3 projektach badawczych i 1 patent krajowy. Członek Stowarzyszenia Polskich Energetyków. Posiada uprawnienia rzeczoznawcy – audytora energetycznego. Główne kierunki działalności naukowej to optymalizacja układów energetycznych oraz modelowanie zjawisk ciepło-przepływowych.

e-mail: plut@po.opole.pl



Dr inż. Michał TOMASZEWSKI

Adiunkt na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej. Dorobek naukowy to ponad 15 publikacji w materiałach krajowych i międzynarodowych konferencji. Główne kierunki działalności naukowej to rynek energii elektrycznej, racjonalne użytkowanie energii oraz zintegrowane systemy zarządzania.

e-mail: michalt@po.opole.pl



Dr inż. Sławomir ZATOR

Adiunkt na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej. Pełni funkcję z-cy dyrektora Instytutu Elektrowni i Systemów Pomiarowych. Dorobek naukowy to ponad 80 publikacji w czasopiśmie, materiałach krajowych i międzynarodowych konferencji. Ostatnio współautor książki z zakresu regulacji mikroklimatu pomieszczeń. Działalność naukowa obejmuje miernictwo energetyczne oraz optymalizację zużycia energii.

e-mail: zator@po.opole.pl



Streszczenie

W artykule zasygnalizowano problem oszczędzania energii przy jednoczesnym zachowaniu wymagań środowiskowych w budynkach. Podjęcie decyzji zmierzających do oszczędzenia energii wymaga wykonania kompleksowej analizy parametrów środowiskowych i eksploatacyjnych budynku. Przedstawiono uwzględniane elementy i korzyści z realizacji wdrożonego programu modernizacyjnego, w tym zastosowania zintegrowanego zarządzania gospodarką energetyczną na przykładzie budynków użyteczności publicznej. Kompleksowe podejście przynosi wymierne korzyści nie tylko w zakresie zużycia energii, ale i poprawę parametrów środowiskowych.

Słowa kluczowe: racjonalne użytkowanie energii, analiza parametrów środowiskowych i eksploatacyjnych budynku, zintegrowana gospodarka energetyczna.

Rational energy consumption in building

Abstract

The intention of the article is to pay attention to possibilities of energy conservation in an architecture sector, provided that all present environmental requirements are met. It is possible to gain rational economic profits as a result of some investment and organizational efforts. So as to make appropriate decisions in order to succeed in making the above mentioned actions it is necessary to do a complex analysis of environmental and operating parameters of a building. The paper presents profits gained from implementation of a modernization program and application of an integrated management system of energy with reference to public utility buildings. Application of a complex program brings some rational profits, both within the scope of energy consumption and – what is more important – improvement of environmental parameters.

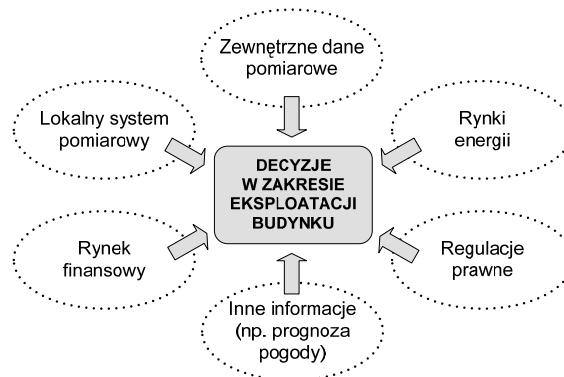
Keywords: rational energy consumption, analysis of environmental and operating parameters of a building, integrated management system of energy.

1. Wstęp

Efektywność w zakresie wykorzystania energii oraz standardy energetyczne budynków w Polsce odbiegają od osiąganych w rozwiniętych ekonomicznie krajach Unii Europejskiej.

Konieczne jest podjęcie działań w zakresie racjonalnej gospodarki energią. Działania te, w zakresie eksploatacji budynków, obejmują np. termomodernizację, zastosowanie nowoczesnych, zaawansowanych technologicznie urządzeń i instalacji, czy też prowadzenie odpowiedniej polityki uświadamiania użytkowników budynku w zakresie oszczędzania zużycia energii.

Podjęcie prawidłowych (racjonalnych) decyzji w zakresie eksploatacji budynku wymaga uwzględnienia szeregu czynników związanych z analizowanym obiektem oraz jego szerokim otoczeniem (rys. 1).



Rys. 1. Czynniki wpływające na decyzje w zakresie eksploatacji budynku
Fig. 1. Parameters that influence on decisions in range of exploitation of building

Racjonalna gospodarka energią w budynku powoduje konieczność określenia odpowiednich warunków eksploatacji, które będą uwzględniały kryterium zapewnienia komfortu cieplnego oraz kryterium ekonomiczne.

2. Wymagania środowiskowe w ujęciu prawnym

Od stycznia 2006 roku weszła w życie Dyrektywa 2002/91/EC [1] zgodnie, z którą należy minimalizować zużycie energii na ogrzewanie, klimatyzację, ciepłą wodę i oświetlenie. Minimalizacja zużycia wiąże się z pomiarem tej energii oraz jej regulacją. Trwa proces dostosowywania przepisów prawa, w tym norm do nowych zaleceń.

Powodem jest potrzeba sprecyzowania i ujednoczenia wymagań środowiskowych dla pomieszczeń różnego przeznaczenia, przy opracowywaniu przepisów techniczno-budowlanych oraz założeń projektowych. Mówi o tym norma PN-ISO 6242:1999 [2], w której określono i podano oficjalną terminologię parametrów środowiska wewnętrznego, wykorzystywanych przy rutynowym sprawdzaniu właściwości użytkowych budynku. Podano w niej

również kryteria, które powinny być stosowane przy ocenie, aby wymagania użytkownika były spełnione.

Kolejne arkusze normy dotyczą wymagań środowiska termicznego, jakości powietrza wewnętrznego, akustycznych i oświetleniowych. Ponadto w rozporządzeniu [2] czynnikami wpływającymi ujemnie na środowisko wewnętrzne są stężenia substancji chemicznych i pyłów, hałas infradźwiękowy i ultradźwiękowy, drgania działające na organizm, mikroklimat gorący i zimny, promieniowanie optyczne i elektromagnetyczne. Szerszą definicję elementów związanych ze środowiskiem wewnętrznym podaje projekt amerykańskiego przewodnika ASHRAE [3]. Są w nim ponadto uwzględnione oddziaływania chemiczne, mechaniczne (osiadanie pyłów oraz hałasy i wibracje), biologiczne (wirusy, bakterie i grzyby) i psychologiczne (rzeczywiste i możliwe zagrożenia).

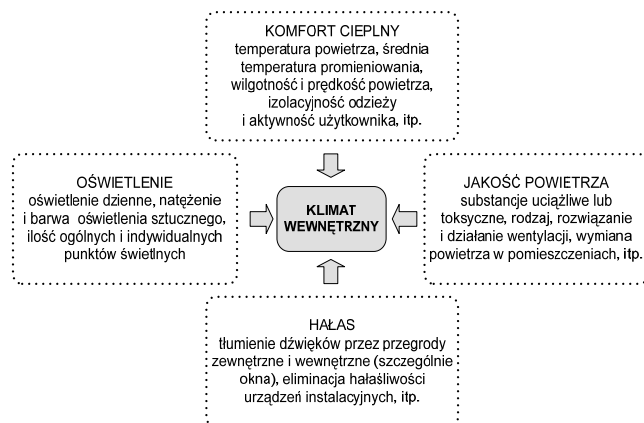
Tak w przewodniku ASHRAE [3] jak i w normie PN-ISO 6242 [4] stwierdzono, że dla podziału typów środowiska wewnętrznego na kategorie najważniejsze są cztery elementy środowiska wewnętrznego: jakość powietrza, klimat wewnętrzny, hałas i oświetlenie [5, 6].

Warunkiem koniecznym realizowania racjonalnej gospodarki energią w zakresie prawidłowego funkcjonowania budynku są pomiary parametrów eksploatacyjnych i środowiskowych.

3. Istotne parametry środowiskowe

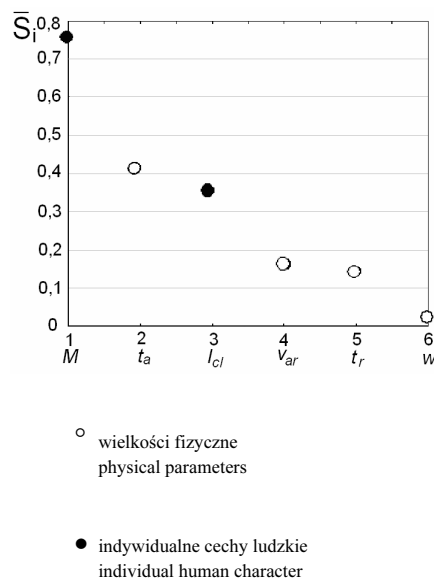
Definicje mikroklimatu oraz jego związek z wielkościami fizycznymi po raz pierwszy spójnie podał Ole Fanger [7]. Wiele z nich znalazło odzwierciedlenie w normach m.in. ISO 7730 [8], w których wiele zagadnień związanych z mikroklimatem doczekało się innego, niż tradycyjne ujęcia, np. obecnie rozpatrywany jest wpływ entalpii wilgotnego powietrza, a nie oddzielnie temperatury i wilgotności. Dyrektywa EPBD [1] zaleca stosowanie takich metod szacowania zużycia energii, aby możliwe było porównywanie efektywności zużycia energii w różnych budynkach. Kryteria regulacji klimatu wewnętrznego w postaci projektu normy prEN 15251:2005 [9] służyć mają projektantom budynków i systemów HVAC (ang. *Heating, Ventilation and Air Condition*) przy ustalaniu parametrów wejściowych, przy obliczaniu zapotrzebowania na moc cieplną oraz do wymiarowania urządzeń grzewczych i wentylacyjnych w budynku. Większość zagadnień dotyczących środowiska wewnętrznego, w nowoczesnym ujęciu, opisują monografie [10, 11, 12].

Planując przeznaczenie budynku i jego wyposażenie techniczne ustala się udział procentowy ludzi niezadowolonych z mikroklimatu jako wskaźnik PPD (ang. *predicted percentage of dissatisfied*). Do oceny wrażeń cieplnych używa się również wskaźnik PMV (ang. *predicted mean vote*). Czynniki wpływające na klimat wewnętrzny podano na rys. 2.



Rys. 2. Główne grupy czynników klimatu wewnętrznego (schemat) [13]
Fig. 2. The main groups of factors of internal climate (schematic diagram) [13]

Wpływ poszczególnych wielkości na komfort cieplny przedstawiono na rys. 3. Największy wpływ na wartość współczynnika komfortu cieplnego mają składowe reprezentujące poziom metabolizmu ciała człowieka oraz temperaturę powietrza. Natomiast zmiany wilgotności powietrza mają niewielki wpływ na ogólny stan komfortu.



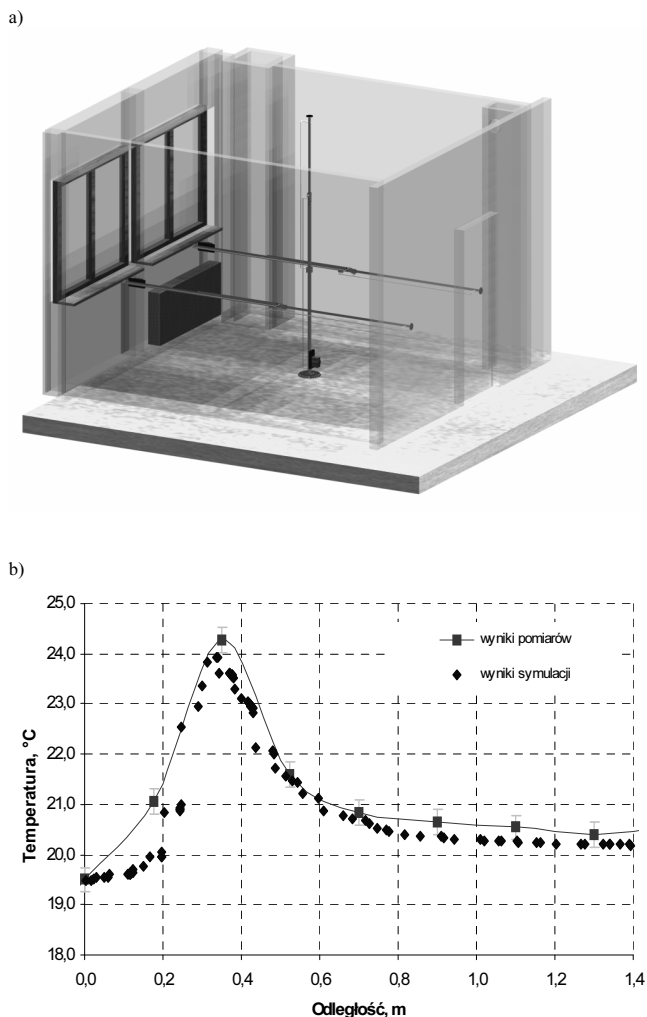
Rys. 3. Ilustracja rezultatów analizy wrażliwości sieci względem poszczególnych wejść [15]
Fig. 3. The illustration of results the sensibility analysis of net in relation to particular inputs [15]

W zakresie komfortu wewnętrznego pomieszczeń należy zwrócić również uwagę na naturalne zmiany występujące na przestrzeni całego okresu użytkowania budynku, począwszy od jego wybudowania aż do rozbioru. Inną grupę zagadnień stanowią metody pomiaru wielkości fizycznych, wpływających na komfort cieplny, pozwalające wyznaczyć odpowiednie wskaźniki. W tym zakresie ważnym jest dobór odpowiedniej metody pomiarowej parametrów komfortu, tj. temperatury, wilgotności, prędkości i ciśnienia powietrza, średniej temperatury promieniowania.

Równie ważne jest wytypowanie odpowiedniego miejsca, w którym mierzone wielkości będą reprezentatywne dla całej strefy przebywania ludzi. Szczegółowy przegląd metod pomiaru oraz przyrządów pomiarowych wielkości charakteryzujących komfort cieplny można znaleźć m.in. w podręczniku [12].

Na rynku są dostępne urządzenia do pomiaru mikroklimatu. Brakuje jednak mierników przestrzennego rozkładu temperatury powietrza. Przyrząd taki (MRT-01) zaprojektowano i zbudowano w Instytucie Elektrowni i Systemów Pomiarowych Politechniki Opolskiej. Przykład wyników obliczeń numerycznych [14] i rzeczywistych pomiarów wykonanych miernikiem MRT-01 przedstawia rysunek 4.

W pomieszczeniu, w którym będą przebywać ludzie powinno być zapewnione oświetlenie naturalne i sztuczne. Zasady oświetlenia dzieli się na trzy podstawowe grupy: fizjologiczne estetyczne i ekonomiczne. Na jakość oświetlenia pomieszczeniu, które ma zapewnić określony system oświetleniowy, mają wpływ następujące parametry: poziom natężenia oświetlenia i jego równomierność, rozkład luminancji, ograniczenie oślnienia przykrego, barwa światła oraz tętnienie światła. Zasady doboru oświetlenia oraz pomiaru jego jakości podano w normie [16]. Negatywny wpływ na zdrowie ludzi ma hałas, co jest również przyczyną złego samopoczucia tak w domu jak i w pracy.



Rys. 4. Rozkład temperatury w ogrzewanym pomieszczeniu:
a) lokalizacja miernika *MRT-01* podczas kolejnych serii pomiarów,
b) porównanie wyników pomiarów i symulacji - poziomy rozkład temperatury powietrza wewnątrz pomieszczenia w pobliżu okna i grzejnika [14]

Fig. 4. The distribution of temperature in heated room:
a) the localization of the meter *MRT-01* while series of measurements,
b) the comparison of results of measurements and simulation - the horizontal distribution of temperature of internal air nearby of window and heater [14]

4. Parametry eksploatacyjne

Do najważniejszych instalacji energetycznych budynków należy zaliczyć: instalacje grzewcze w tym centralne ogrzewanie i układ do przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz instalacje elektryczne w tym oświetleniowe.

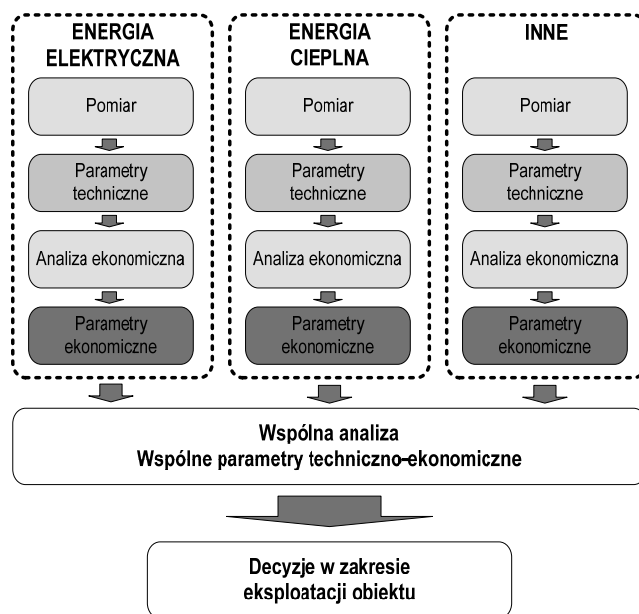
Podstawowym procesem eksploatacyjnym pracującej instalacji centralnego ogrzewania jest dostarczanie tylko takiej ilości ciepła do budynku, lub jego części, jaka w danym momencie jest potrzebna, przy zapewnieniu wymagań komfortu cieplnego. Proces ten można kontrolować stosując odpowiednie narzędzia pomiarowe (czujniki temperatury, ciśnienia, przepływomierze itp.) i regulacyjne (sterownik, zawory regulacyjne, pompy, itp.) przy odpowiednio zaprojektowanej i wykonanej instalacji. Przykład instalacji grzewczej pozwalającej na realizację ww. celów przedstawiono w publikacji [15].

Podobnie jak w przypadku pracy instalacji c.o. przebiega proces eksploatacji instalacji ciepłej wody użytkowej z taką tylko różnicą, że wielkość dostarczanego strumienia ciepła nie zależy od zewnętrznych warunków meteorologicznych lecz nadaje za zużyciem ciepłej wody przez odbiorców.

Instalacja elektryczna powinna w okresie jej użytkowania zapewniać możliwość bezpiecznego korzystania z odbiorników energii elektrycznej, zgodnego z ich przeznaczeniem i warunkami założonymi w projekcie tej instalacji. Z punktu widzenia dyrektywy [1] istotne jest zużycie energii na cele oświetleniowe.

5. Zużycie energii a zintegrowana analiza parametrów środowiskowych i eksploatacyjnych

Racjonalna gospodarka energią w budynku wymaga określenia kierunków i wariantów modernizacji obiektu oraz wyboru optymalnych warunków eksploatacji w ramach dostępnych możliwości zmniejszania kosztów zużycia energii. Podjęcie odpowiednich decyzji warunkujących powodzenie wymienionych działań wymaga wykonania zintegrowanej analizy parametrów środowiskowych i eksploatacyjnych budynku przedstawionych na rys. 5. Dodatkowo dla potrzeb analizy konieczne jest uwzględnienie charakterystyki budynku, czyli cech obiektu takich jak: funkcja, ilość i struktura osób z niego korzystających, charakterystyka instalacji itp. W każdym z wyróżnionych obszarów powinna być wykonana analiza techniczna, a elementem koniecznym do jej wykonania jest kompleksowy pomiar parametrów eksploatacyjnych i środowiskowych [17].



Rys. 5. Zintegrowana analiza parametrów środowiskowych i eksploatacyjnych

Fig. 5. The integrated analysis of environmental and exploitation parameters

Pomiędzy poszczególnymi obszarami, wyróżnionymi na rys. 5, występują współzależności o różnym charakterze, które implikują w kolejnym etapie konieczność wykonania wspólnej analizy techniczno-ekonomicznej i określenie wspólnych założeń decyzyjnych dla całego budynku dotyczących jego dalszej eksploatacji.

6. Przykład możliwości ograniczania kosztów energii

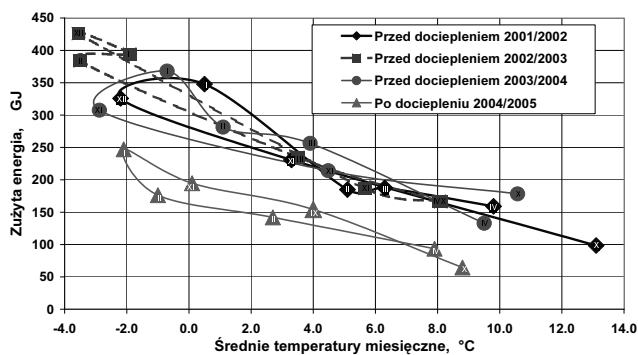
Istnieje wiele dróg pozwalających uzyskać zmniejszenie opłat za zużytą energię i media. Podstawowy kierunek to modernizacja budynku i jego instalacji technicznych, które podano w tablicy 1.

Tab. 1. Metody zmniejszenia kosztów energii
Tab. 1. Methods of decrease of energy costs

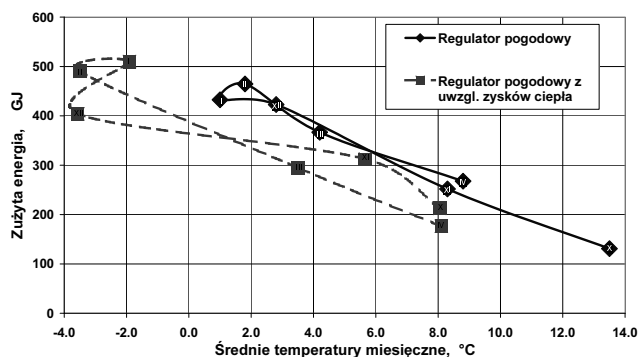
METODY WYSOKONAKŁADOWE		METODY NISKONAKŁADOWE
Energia elektryczna	Energia ciepła	Energia elektryczna i ciepła
Modernizacja instalacji elektrycznej	Termomodernizacja budynku	Dobór optymalnej taryfy
Zmiana profilu obciążenia - sterowanie popytem na energię elektryczną (Demand Side Management - DSM) w zakresie obiektu	Dostosowanie instalacji energetycznych do potrzeb regulacji	
Zastosowanie oświetlenia strefowego	Zaawansowana regulacja	Dobór optymalnej mocy zamówionej
Regulacja natężenia oświetlenia	Odzysk energii	
Kompensacja mocy biernej	Odnawialne źródła energii	Personalna polityka wewnętrzna (szkolenia dotyczące oszczędzania energii)
	Optymalizacja ekonomiczna pracy podzespołów	
	Akumulacja ciepła i chłodu	

Efekt synergii ww. metod uzyskać można stosując systemy zintegrowane (np. korzystając systemu BMS) występujących w „inteligentnym budynku”. Coraz częściej takie systemy stosuje się w nowych budynkach, jednak czynnikiem ograniczającym ich powszechne stosowanie jest wysoki koszt inwestycyjny. Dostępne systemy oferują standardowe procedury i algorytmy regulacji, w których brakuje optymalizacji zużycia energii przez budynek wykorzystujący odnawialne źródła oraz odzysk energii.

a)



b)



Rys. 6. Ilustracja rezultatów ograniczenia zużycia ciepła w wyniku:
a) termomodernizacji, b) realizacji algorytmu sterowania uwzględniającego zyski ciepła

Fig. 6. The illustration of heat reduction as result:
a) the thermomodernization, b) the realization of algorithm taking into account the gains of warmth

Na rys. 6 przedstawiono wyniki uzyskane w budynkach użyteczności publicznej jako przykład efektów termomodernizacji i wykorzystania wewnętrznych i zewnętrznych zysków ciepła.

Z kolei monitorowanie zużycia energii elektrycznej [17] pozwoliło zmniejszyć o 30% moc zamówioną.

7. Literatura

- [1] Dyrektywa 2002/91/EC Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 16 grudnia 2002 r. Dotycząca jakości energetycznej budynków, Dz.U. WE L 1 z 4 stycznia 2003 r.
- [2] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dziennik Ustaw z dnia 18 grudnia 2002 r.
- [3] ASHRAE Guideline 10P: Criteria for Achieving acceptable Indoor Environments, Atlanta, May 2005
- [4] PN-ISO 6242-1:1999 Budownictwo. Wyrażanie wymagań użytkowników. Wymagania termiczne
- [5] Andjulovici A., Georgescu S.: Komfort cieplny w budynkach, Arkady, Warszawa 1971
- [6] Bartodziej G., Plutecki Z., Zator S., Tomaszewski M.: Koncepcja modernizacji instalacji energetycznych budynku Filharmonii, Praca niepublikowana, Opole luty 2005
- [7] Fanger P.O.: Komfort cieplny, Arkady 1974
- [8] PN-ISO 7730:2002 (U): Ergonomia. Środowisko termiczne umiarkowane. Określanie wskaźników PMV, PPD i wymagań dotyczących komfortu termicznego
- [9] prEN 15251:2005 Criteria for the Indoor Environments including thermal, indoor air quality, light and noise
- [10] Fanger P.O., Popiolek Z., Wargocki P.(ed.): Środowisko wewnętrzne. Wpływ na zdrowie, komfort i wydajność pracy, Politechnika Śląska, Gliwice, 2003
- [11] Popiolek Z. ed.: Proceedings of Workshop Measurement and Control Techniques for HVAC Systems and Indoor Climate, ENER-INDOOR, Gliwice 2005
- [12] Kabza Z., Kostyrko K.: Metrologia mikroklimatu pomieszczenia i środowiskowych wielkości fizycznych, Wyd. Politechniki Opolskiej, Opole 2003/2004
- [13] Kościuba H., Kruk B.: Wprowadzenie do fizjologii klinicznej, Termoregulacja i wpływ warunków środowiska termicznego na organizm człowieka, PZWL, Warszawa 1995.
- [14] Plutecki Z.: Analiza zjawisk cieplno-przepływowych w ogrzewanym pomieszczeniu, Archiwum Energetyki, tom XXXIII 2004 nr 1-2, Wydawnictwo Komitetu Problemów Energetyki przy Prezydium Polskiej Akademii Nauk, Gdańsk 2004
- [15] Kabza Z., Lichota J., Plutecki Z.: Pomiary energetyczne dla potrzeb wyboru optymalnych warunków użytkowania budynków „zrównoważonego rozwoju”, Raport końcowy do projektu badawczego PB Nr 8 T10C 006 19, Praca niepublikowana, Opole styczeń 2003.
- [16] PN - 84/E - 02033 Oświetlenie wnętrz światłem elektrycznym
- [17] Tomaszewski M., Zator S., Monitoring bieżącego zużycia mediów w zintegrowanej gospodarce energią, Mat. Konferencji „Zintegrowane, Inteligentne Systemy Wykorzystania Energii Odnawialnej”, Częstochowa/Podlesice, 2005
- [18] Górecki K., Tomaszewski M., Monitoring zużycia mediów, 1th Scientific Workshop „Rational Energy Consumption”, INTERREG IIIA , Jarnołtówek, 2005