

Janusz Wojciech Bujak

## Badania poboru energii cieplnej w obiektach szpitalnych

Zużycie energii w budynkach mieszkalnych i obiektach użyteczności publicznej w krajach Unii Europejskiej przekracza obecnie 40% jej całkowitego poboru [1,2]. Efektywniejsze wykorzystanie energii cieplnej w sektorze budownictwa może więc w istotny sposób zmniejszyć jej zużycie i ograniczyć import energii przez UE (która obecnie importuje ok. 48% energii, a do 2020 r. wartość ta może przekroczyć nawet 67% [3]). Państwa członkowskie Unii Europejskiej zostały w związku z tym zobowiązane do zwiększenia efektywności energetycznej budynków istniejących oraz do wdrażania wysokosprawnych rozwiązań energetycznych i technologii w obiektach nowo budowanych [4]. Wprowadzono także dodatkowe wymagania dotyczące regularnych inspekcji budynków i instalacji energetycznych w celu zapewnienia optymalnego zarządzania energią. Opracowano też minimalne standardy dotyczące efektywności energetycznych kotłów wodnych opalanych paliwami płynnymi lub gazowymi.

Wszystkie te działania mają spowodować stosowanie technologii alternatywnych (recykling energii, biomasa, układy skojarzone), poprawiających efektywność energetyczną w budownictwie, zmniejszających zużycie paliw oraz minimalizujących emisję zanieczyszczeń i gazów cieplarnianych do atmosfery [5,6]. W łącznym zużyciu energii cieplnej i elektrycznej w krajach UE udział budownictwa wynosi aż 1/3 całkowitej energii powodującej emisję dwutlenku węgla do atmosfery [7]. Poszukiwanie alternatywnych technologii energetycznych oraz możliwości ich wdrożenia w charakterystycznych grupach budynków wymagają m.in. znajomości przebiegu ich zapotrzebowania na energię cieplną, zarówno w cyklach krótkoterminowych (godzina, doba), jak i długoterminowych (miesiąc, rok), przy czym cykle krótkoterminowe mają szczególne znaczenie w optymalizacji pracy instalacji umożliwiających osiągnięcie maksymalnych efektów ekonomicznych.

W literaturze jest niewiele informacji dotyczących zużycia energii cieplnej w obiektach szpitalnych, zwłaszcza w ujęciu kompleksowym (z rozbiem na pobór energii do różnych celów). Najwięcej danych [8–10] dotyczy budynków mieszkalnych, a zwłaszcza zużycia w tych obiektach ciepłej wody użytkowej. Do rzadkości należą publikacje dotyczące szpitali [11–13], a omawiane w nich wyniki badań – z uwagi na różne strefy klimatyczne – najczęściej nie nadają się do wykorzystania w warunkach polskich.

### Przedmiot i metodyka badań

Badania poboru energii cieplnej w obiektach szpitalnych zostały przeprowadzone w Szpitalu Wojewódzkim we Włocławku w latach 2003–2006. Szpital ten ma 21 oddziałów szpitalnych oraz wiele poradni i przychodni lekarskich. Łączna liczba łóżek szpitalnych wynosi 650. Energia cieplna dostarczana jest do obiektów szpitalnych z własnej kotłowni parowo-wodnej opalanej gazem ziemnym, wyposażonej w dwa wysokociśnieniowe kotły parowe firmy Viessmann typu Turbomat RN-HD, każdy o mocy 665 kW, produkcji pary 1 t/h i ciśnieniu dopuszczalnym 1,6 MPa, a także dwa wysokotemperaturowe kotły wodne o mocy 1960 kW i 4600 kW. Kotłownia szpitalna wytwarza ciepło na potrzeby technologiczne obiektów szpitala, centralnego ogrzewania oraz ciepłej wody użytkowej.

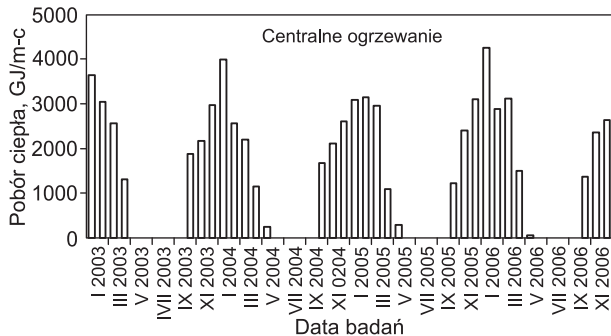
W badanym szpitalu zastosowano system wizualizacji i sterowania nadrzędnego pracą kotłowni parowej, oparty na przemysłowym sterowniku mikroprocesorowym (PLC) serii 90-30 firmy GE-Fanuc. Jest on zaprogramowany do sterowania pracą urządzeń wykonawczych (np. pomp, zaworów regulacyjnych) w funkcji sygnałów dwustanowych i pomiarów analogowych otrzymywanych z przetworników pomiarowych umieszczonych w kotłowni. Program sterownika uwzględnia dodatkowo zadane przez obsługę wartości parametrów technologicznych (np. ciśnienie pary w kolektorze głównym, parametry krzywej pogodowej, kolejność kaskady kotłów, warunki blokowania pracy pomp) – są one ustawiane z poziomu oprogramowania wizualizacyjnego lub za pomocą konsoli operatorskiej. System wizualizacji wykorzystuje oprogramowanie iFIX v.3.0 firmy Intellution®.

Oprócz możliwości wprowadzania nastaw parametrów, system ten spełnia również inne zadania, m.in. umożliwia podgląd parametrów pracy wszystkich instalacji cieplnych i ich prezentację w czytelnej formie graficznej. Z poziomu komputera możliwe jest zdalne sterowanie poszczególnymi urządzeniami. System pozwala na przedstawienie trendów zmian wielkości pomiarowych i ich archiwizację, ułatwiając analizę zdarzeń i obsługę tego bardzo złożonego układu. Zapewnione jest automatyczne sygnalizowanie stanów awaryjnych i ich rejestracja. W ramach oprogramowania wizualizacyjnego zawarto funkcje tworzenia raportów dotyczących zarejestrowanych parametrów pracy i stanów liczników energii umieszczonych w poszczególnych instalacjach kotłowni.

W badaniach wyznaczono wartości poszczególnych strumieni ciepła użytecznego pobranych z kotłowni parowo-wodnej na potrzeby obiektów szpitalnych.

## Wyniki badań

Na rysunku 1 pokazano miesięczny pobór ciepła na potrzeby centralnego ogrzewania w badanym szpitalu w latach 2003–2006. Zapotrzebowanie na to ciepło występowało zazwyczaj od października do maja. Sporadycznie sezon grzewczy rozpoczął się już we wrześniu, natomiast największy pobór ciepła grzewczego występował w poszczególnych latach w grudniu, styczniu i lutym.



Rys. 1. Pobór ciepła na potrzeby centralnego ogrzewania w latach 2003–2006

Fig. 1. Heat energy consumption for central heating in the time span of 2003–2006

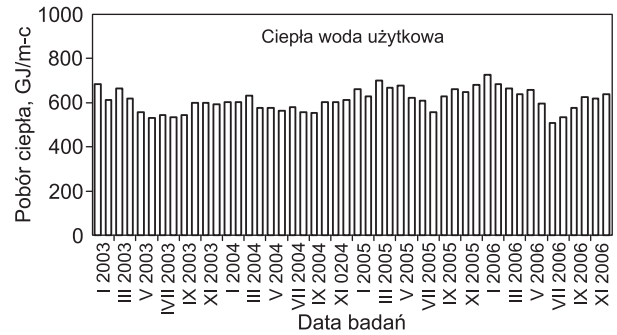
W tabeli 1 zebrano maksymalny dobowy i godzinowy pobór ciepła grzewczego w poszczególnych latach prowadzenia pomiarów. Największe wartości zanotowano w 2003 r., w którym jednostkowy pobór ciepła (wskaźnik kubaturowy), obliczony jako ciepło zużyte na cele grzewcze szpitala przypadające na jeden metr sześcienny ogrzewanych pomieszczeń, wyniósł 23,1 W/m<sup>3</sup>.

Tabela 1. Pobór ciepła na potrzeby centralnego ogrzewania  
Table 1. Heat energy consumption for central heating

2003	2004	2005	2006
Maksymalny dobowy pobór ciepła na potrzeby centralnego ogrzewania, GJ/d			
204,2	136,7	119,3	192,4
Maksymalny godzinowy pobór ciepła na potrzeby centralnego ogrzewania, GJ/h			
10,8	7,1	5,8	9,2
Najniższa temperatura zewnętrzna, °C			
-24,0	-15,0	-10,0	-23,0
Wskaźnik kubaturowy poboru ciepła na potrzeby grzewcze, W/m <sup>3</sup>			
23,1	15,2	12,4	19,7

Rysunek 2 ilustruje wyniki badań miesięcznego poboru ciepła w badanym szpitalu na potrzeby instalacji ciepłej wody użytkowej w latach 2003–2006. Zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową występowało we wszystkich badanych miesiącach i charakteryzowało się małą zmiennością. W całym okresie badawczym wahało się najczęściej w przedziale 500–650 GJ/m-c, przy czym sporadycznie miał miejsce większy pobór ciepła.

Tabele 2 i 3 zawierają odpowiednio charakterystyki godzinowego i dobowego poboru ciepła na potrzeby instalacji ciepłej wody użytkowej badanego szpitala w poszczególnych latach pomiarowych. Średnia wartość współczynnika



Rys. 2. Pobór ciepła na potrzeby instalacji ciepłej wody użytkowej w latach 2003–2006

Fig. 2. Heat energy consumption for domestic hot water preparation in the time span of 2003–2006

nierównomierności poboru godzinowego ciepła w całym 4-letnim okresie pomiarowym wyniosła 2,58. Z kolei współczynnik nierównomierności dobowego poboru ciepła na potrzeby instalacji ciepłej wody użytkowej nieznacznie zmieniał się w poszczególnych latach pomiarowych w zakresie od 1,24 do 1,52.

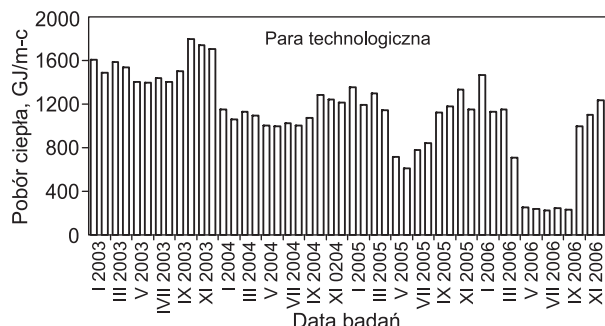
Tabela 2. Godzinowy pobór ciepła na potrzeby instalacji ciepłej wody użytkowej  
Table 2. Hourly heat energy consumption for domestic hot water preparation

2003	2004	2005	2006
Średni godzinowy pobór ciepła na potrzeby ciepłej wody użytkowej, GJ/h			
0,805	0,801	0,852	0,842
Maksymalny godzinowy pobór ciepła na potrzeby ciepłej wody użytkowej, GJ/h			
2,225	1,793	2,375	2,112
Współczynnik nierównomierności poboru godzinowego ciepła			
2,76	2,24	2,79	2,51

Tabela 3. Dobowy pobór ciepła na potrzeby instalacji ciepłej wody użytkowej  
Table 3. Daily heat energy consumption for domestic hot water preparation

2003	2004	2005	2006
Średni dobowy pobór ciepła na potrzeby ciepłej wody użytkowej, GJ/d			
19,32	19,22	20,45	20,21
Średni dobowy pobór ciepła na potrzeby ciepłej wody użytkowej na 1 łóżko, GJ/d			
0,030	0,030	0,031	0,031
Maksymalny dobowy pobór ciepła na potrzeby ciepłej wody użytkowej, GJ/d			
24,24	29,04	25,44	30,76
Maksymalny dobowy pobór ciepła na potrzeby ciepłej wody użytkowej na 1 łóżko, GJ/d			
0,037	0,045	0,039	0,047
Współczynnik nierównomierności dobowego poboru ciepła			
1,25	1,51	1,24	1,52

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki zmierzonego w latach 2003–2006 miesięcznego poboru ciepła zawartego w technologicznej parze nasyconej. Zapotrzebowanie na to ciepło występowało we wszystkich badanych miesiącach i charakteryzowało się małą zmiennością (w całym okresie pomiarowym wynosiło ok. 1100 GJ/m-c). Tylko sporadycznie występowały miesiące o większym lub mniejszym poborze pary technologicznej.



Rys. 3. Pobór ciepła w postaci pary technologicznej w latach 2003–2006

Fig. 3. Consumption of heat in the form of technological steam in the time span of 2003–2006

W tabeli 4 pokazano charakterystykę dobowego poboru ciepła w postaci pary nasyconej. Zużycie ciepła w postaci pary technologicznej było najwyższe w 2003 r., a w kolejnych latach znacząco zmalało na skutek modernizacji systemu grzewczego szpitala polegającej na zastąpieniu urządzeń zasilanych parą nasyconą urządzeniami na gaz ziemny (kuchnia, urządzenia wentylacyjne).

Tabela 4. Dobowy pobór pary technologicznej  
Table 4. Daily technological steam consumption

2003	2004	2005	2006
Średni dobowy pobór ciepła w parze technologicznej, GJ/d			
51,0	36,4	34,8	24,6
Średni dobowy pobór ciepła w parze technologicznej na 1 łóżko, GJ/d			
0,078	0,056	0,054	0,038
Maksymalny dobowy pobór ciepła w parze technologicznej, GJ/d			
68,8	51,32	51,16	37,9
Maksymalny dobowy pobór ciepła w parze technologicznej na 1 łóżko, GJ/d			
0,106	0,079	0,079	0,058
Współczynnik nierównomierności dobowego poboru ciepła w parze technologicznej			
1,35	1,41	1,47	1,54

W tabeli 5 zamieszczono zmierzone ilości energii cieplnej dostarczonej z kotłowni do szpitala na potrzeby centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej oraz pary technologicznej w poszczególnych latach okresu pomiarowego. Całkowita ilość energii cieplnej pobranej przez badane obiekty szpitalne w czasie 4 lat badań (2003–2006) wyniosła 152 078 GJ.

Tabela 5. Energia cieplna dostarczona w ciągu roku z kotłowni do szpitala

Table 5. Annual heat energy supply from boiler room to hospital

Ciepła energia użyteczna	2003	2004	2005	2006
Centralne ogrzewanie, GJ/a	17571	16570	17317	18130
Ciepła woda użytkowa, GJ/a	7052	7015	7464	7377
Para technologiczna, GJ/a	18615	13286	12702	8979
Całkowita ilość energii, GJ/a	43238	36871	37483	34486

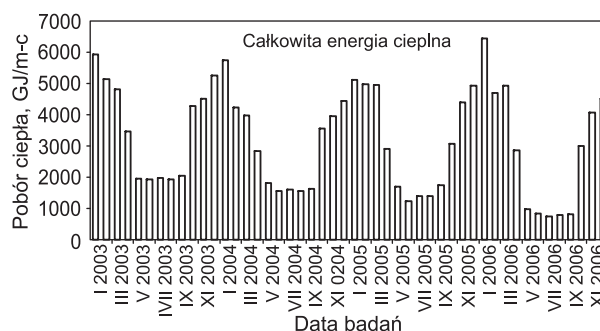
W tabeli 6 porównano średnioroczne wartości pobranego przez szpital ciepła użytecznego w całym okresie badawczym (2003–2006). Z tego zestawienia wynika, że najwięcej energii cieplnej zużyto na potrzeby grzewcze obiektów szpitala – 45,8% całkowitej wytworzonej w tym czasie ciepłej energii użytkowej. Znaczące było także zapotrzebowanie na ciepło w postaci pary technologicznej – 35,2% całkowitej wytworzonej energii cieplnej, natomiast najmniejsze zużycie ciepła było na przygotowanie ciepłej wody użytkowej – osiągnęło ono średni udział w okresie badawczym wynoszący 19% całkowitego wytworzonego ciepła. W tabeli tej podano również średnioroczne zużycie ciepła przypadające na jedno łóżko szpitalne.

Tabela 6. Średnioroczny pobór ciepłej energii użytecznej (w latach 2003–2006)

Table 6. Mean yearly heat energy consumption in the time span of 2003–2006

Centralne ogrzewanie	Ciepła woda użytkowa	Para technologiczna	Razem
Średnioroczny pobór energii użytecznej, GJ/a			
17 397	7 227	13 396	38 020
Średnioroczny pobór energii użytecznej, %			
45,8	19,0	35,2	100,0
Średnioroczny pobór energii użytecznej na 1 łóżko, GJ/a			
26,8	11,1	20,6	58,5

Na rysunku 4 scharakteryzowano zmienność całkowitego poboru energii cieplnej w badanych obiektach szpitalnych w latach 2003–2006.



Rys. 4. Całkowity pobór ciepła w badanych obiektach szpitalnych w latach 2003–2006

Fig. 4. Total heat energy consumed in the investigated hospital premises in the time span of 2003–2006

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że zużycie energii cieplnej w obiektach szpitalnych charakteryzuje się dużą zmiennością, na co decydujący wpływ ma pobór ciepła na potrzeby centralnego ogrzewania. Zapotrzebowanie na ciepło w badanym szpitalu w miesiącach zimowych (grudzień–marzec) osiągało 4000÷5000 GJ/m-c, sporadycznie przekraczając 5000 GJ/m-c, a tylko w jednym miesiącu (styczeń 2006 r.) przekroczyło 6000 GJ/m-c. Poza sezonem grzewczym pobór ciepła przez obiekty szpitalne był dość stabilny i wynosił średnio 1500 GJ/m-c. Stałość poboru ciepła wynikała ze stałego zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową oraz parę technologiczną.

Wyznaczony na podstawie badań średnioroczny pobór cieplnej energii użytecznej przypadający na jedno łóżko szpitalne (tab. 6) może być wykorzystany do projektowania nowych szpitali (na 600÷700 łóżek) oraz modernizacji obiektów istniejących – przede wszystkim do prognozowania zapotrzebowania na ciepło do różnych celów, określenia mocy cieplnej źródła ciepła, poszczególnych węzłów cieplnych, wielkości przyłączy itp. Przydatne mogą być też informacje dotyczące tzw. stałych i niskotemperaturowych odbiorów ciepła w skali roku w postaci ciepłej wody użytkowej. Mogą one zostać wykorzystane do różnych analiz w nowo budowanych i istniejących dużych szpitalach poszukujących rozwiązań w zakresie optymalizacji zużycia energii cieplnej.

## LITERATURA

1. ECN 2002: Energy Research Centre of the Netherlands. [www.ecn.nl](http://www.ecn.nl).
2. European Union Energy & Transport in Figures – 2004 edition, Part 2: Energy. Directorate General for Energy and Transport, European Commission, Brussels 2004.
3. C. VANDERLINDE: Study on energy supply security and geopolitics. Final report of ETAP program. Directorate General Energy & Transport, European Commission, TREN/C1-06-2002, Reprovan de Kamp B.V., The Hague 2004.
4. Energy performance of buildings. Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Communities* 2002.
5. C. PETERSDORFF, T. BOERMANS, O. STOBBE, S. JOOSEN, W. GRAUS, E. MIKKERS, J. HARNISH: Mitigation of CO<sub>2</sub> Emissions from the Building Stock. ECOFYS GmbH, Cologne (Germany) 2004.
6. S. WIEL, N. MARTIN, M. LEVINE, L. PRICE, J. SATHAYE: The role of building energy efficiency in managing atmospheric carbon dioxide. *Environ. Science Policy* 1998, 1(1), pp. 27–38.
7. J. T. HOUGHTON, Y. DING, D. J. GRIGGS, M. NOGUER, P. J. VANDERLINDEN, X. DAI, K. MASKELL, C. A. JOHNSON: Climate Change 2001: Contribution of working group I in the third assessment report (TAR) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge 2001.
8. Energy Consumption in Hospitals. Energy Consumption Guide 72, Best Practice Programme, 1996.
9. A. G. GAGLIA, C. A. BALARAS, S. MIRASGEDIS, E. GEORGOPOULU, Y. SARAFIDIS, D. P. LALAS: Empirical assessment of the Hellenic non-residential building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings. *Energy Conversion & Management* 2007, Vol. 48, pp. 1160–1175.
10. Y. RUAN, Q. LIU, W. ZHOU, R. FIRESTONE, W. GAO, T. WATANABE: Optimal option of distributed generation technologies for various commercial buildings. *Applied Energy* 2009, Vol. 86, pp. 1641–1653.
11. J. S. KATSANIS, P. G. HALARIS, G. N. MALAHIAS, P. D. BOURKAS: Estimation of energy consumption in hospitals. Proc. of the Fifth IASTED International Conference "Power and Energy Systems", Benalmadena (Spain) 2005.
12. J. S. KATSANIS, P. G. HALARIS, P. T. TSARABARIS, G. N. MALAHIAS, P. D. BOURKAS: Estimation of energy consumption for domestic hot water in hospitals. *Series on Energy and Power Systems* 2006, Vol. 2006, pp. 1–7.
13. J. S. KATSANIS, P. G. HALARIS, P. T. TSARABARIS, G. N. MALAHIAS, P. D. BOURKAS: Estimating water and energy consumption of hospitals laundries. *AATCC Review* 2008, Vol. 8, No. 7, pp. 32–36.

## Bujak, J.W. Analysis of Heat Energy Consumption in the Premises of a Hospital. *Ochrona Srodowiska* 2010, Vol. 32, No. 1, pp. 45–48.

**Abstract:** The object under study is the Provincial Hospital in Wloclawek, with 650 beds, which was analyzed for heat energy consumption in the time span of 2003 to 2006. Heat energy consumption for the systems of central heating, domestic hot water preparation and technological steam production was measured separately to calculate the mean yearly heat energy consumption for each of them as a function of the number of hospital beds. The heat consumption values per bed obtained *via* the above route may be of significant help in designing new hospitals (with a bed number ranging between 600 and 700) and modernizing

the existing objects. Another major area where these values are applicable includes, *inter alia*, forecasting the heat demand for a variety of purposes, assessing the thermal power of the heat source, determining individual heat distribution centres, or establishing the capacity of the connection lines. The findings of the study about the so-called constant and low-temperature annual consumption of domestic hot water are expected to be particularly useful for the optimization of heat energy demand in large hospitals – those under construction and the existing ones.

**Keywords:** Hospital, heat energy consumption, heat energy demand, central heating, domestic hot water, technological saturated steam.