

Analiza spadku zużycia energii na ogrzewanie budynku po termomodernizacji

Józef Dopke

Słowa kluczowe: temperatura powietrza, temperatura wewnętrzna, temperatura zewnętrzna, średnia dobową temperatura, stopniodni grzania, liczba stopniodni grzania, temperatura bazowa, sezon grzewczy, zużycie energii, ogrzewanie, termomodernizacja



Streszczenie

Oszacowano oszczędności w zużyciu ciepła na ogrzewanie w wyniku termomodernizacji styropianem o grubości 100 mm budynku jedenasto kondygnacyjnego oddanego do użytku w 1974 r.

Wstęp

Najważniejszym zastosowaniem stopniodni grzania jest analiza historycznego zużycia energii na ogrzewanie istniejących budynków i prognozowanie na podstawie uzyskanych danych i liczby stopniodni grzania obliczonej z przebiegu temperatury powietrza atmosferycznego zużycia energii w następnych latach. Drugim bardzo ważnym zastosowaniem stopniodni grzania jest porównanie skutków termomodernizacji w realnie funkcjonujących budynkach nie teoretyczną metodą obliczeniową, ale na podstawie realnie zużytej energii na ogrzewanie przed i po termomodernizacji. W wyniku termomodernizacji budynek zmienia temperaturę bazową **[1]**, to jest temperaturę poniżej której rozpoczyna się ogrzewanie w celu utrzymania stałej temperatury wewnętrznej powietrza w budynku.

Temperatura bazowa

Ciepło grzania wymagane do utrzymania stałej temperatury wewnętrznej określa wzór **[2, 3]**:

$$q = uA(t_w - t_z) + I \quad \text{dla } t_w > t_z \quad (1)$$

gdzie: q - ciepło wymagane do utrzymania stałej temperatury wewnętrznej,
 u - całkowity współczynnik przenikania ciepła przez elementy budynku,
 A - powierzchnia elementów budynku,
 t_w - temperatura wewnętrzna powietrza,
 t_z - temperatura zewnętrzna powietrza,
 I - wewnętrzne zyski energii od ludzi, urządzeń i promieniowania słonecznego.

Temperatura bazowa t_b jest temperaturą zewnętrzną, powyżej której praca systemu grzewczego nie jest wymagana. Wstawiając warunki $t_b = t_z$ i $q = 0$ do **(1)** i rozwiązując względem t_b otrzymujemy

$$t_b = t_w - I/uA \quad (2)$$

Równanie **(2)** dostarcza definicji bazowej temperatury t_b jako temperatury wewnętrznej powietrza pomniejszonej o poziom wewnętrznych zysków. Ten sam budynek dla temperatury wewnętrznej powietrza t_w równej 23°C może mieć temperaturę bazową $t_b=18^\circ\text{C}$, dla $t_w=20^\circ\text{C}$ – może mieć $t_b=15^\circ\text{C}$ lub dla $t_w=18^\circ\text{C}$ – może mieć $t_b=13^\circ\text{C}$. Dla szpitali zakłada się temperaturę bazową od 18°C do 19°C , ponieważ utrzymuje się w nich wyższą temperaturę powietrza wewnętrznego niż w budynkach mieszkalnych.

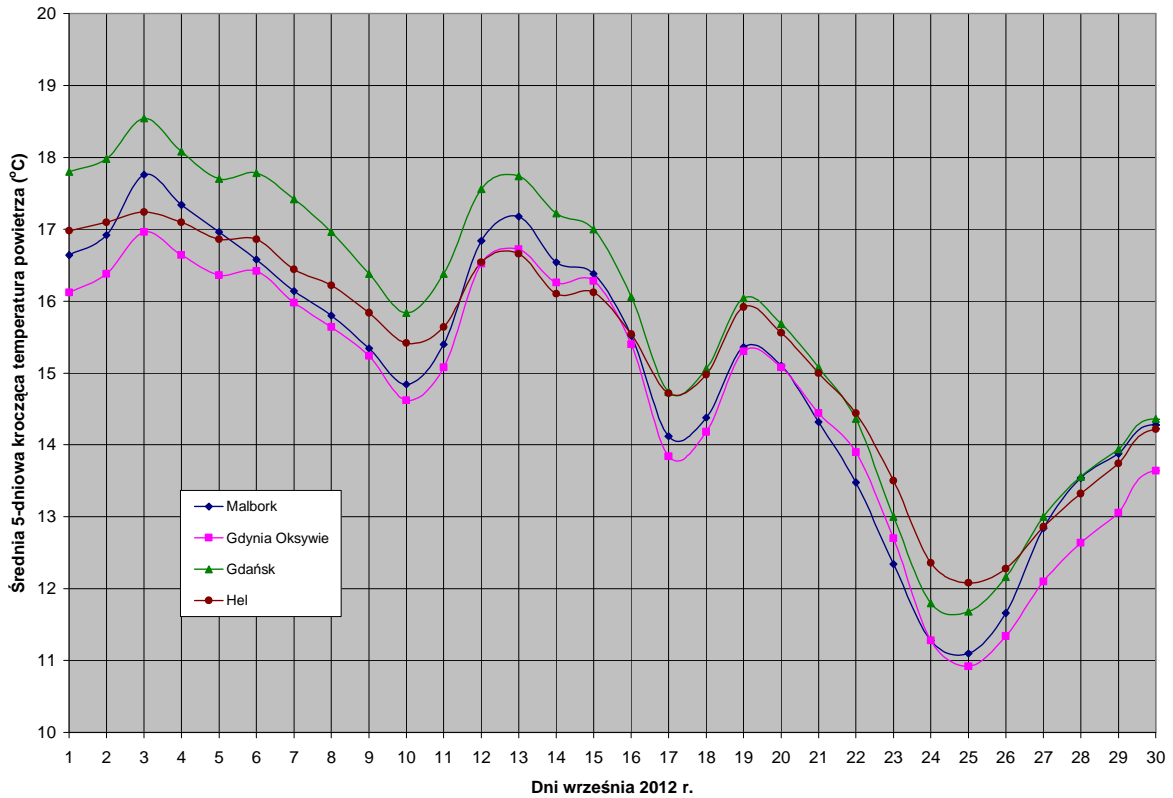
Każdy użytkownik mieszkania ogrzewanego indywidualnym systemem grzewczym sam podejmuje decyzje o momencie rozpoczęcia ogrzewania domu i o utrzymywanej temperaturze wewnętrznej powietrza. Według EIA, Residential Energy Consumption Survey 2003 rzeczywista temperatura bazowa, od której gospodarstwa domowe rozpoczynają ogrzewanie mieszkań, wahała się w latach 1997-2002, np. od $12,7^\circ\text{C}$ do $15,8^\circ\text{C}$ w zależności od stanu USA. Te stany o klimacie zbliżonym do Polski mają temperaturę bazową od 14°C do 15°C (Michigan $15,05^\circ\text{C}$, Illinois $14,94^\circ\text{C}$, Ohio $14,94^\circ\text{C}$, Wisconsin $14,06^\circ\text{C}$, Nebraska $12,94^\circ\text{C}$). Zależy ona w dużym stopniu od jakości izolacji termicznej budynku, przyzwyczajień ludzi i klimatu. Ostatnio przyjmowane temperatury bazowe wynoszą od 10°C do 15°C . Dla dobrze izolowanych domów temperatura bazowa może być niższa, np. 12°C , ponieważ wewnętrzne źródła przyczyniają się w większym stopniu do ogrzewania.

Na **rys. 1 i 2** przedstawiono przebieg pięciodniowej średniej krocącej temperatury powietrza dla początkowych dni sezonu grzewczego 2012/2013 r. Dla Gdańska i Helu (**rys. 1**) pierwsze przekroczenie pięciodniowej średniej krocącej temperatury 15°C nastąpiło 17.09.2012 r. Drugie trwałe przekroczenie wystąpiło w dniu 22 września 2012 r. W obu miastach sezon grzewczy 2012/2013 r. według pięciodniowej średniej krocącej temperatury powietrza zewnętrznego powinien się rozpocząć dla budynków o temperaturze bazowej $t_b=15^\circ\text{C}$ 22 września 2012 r.

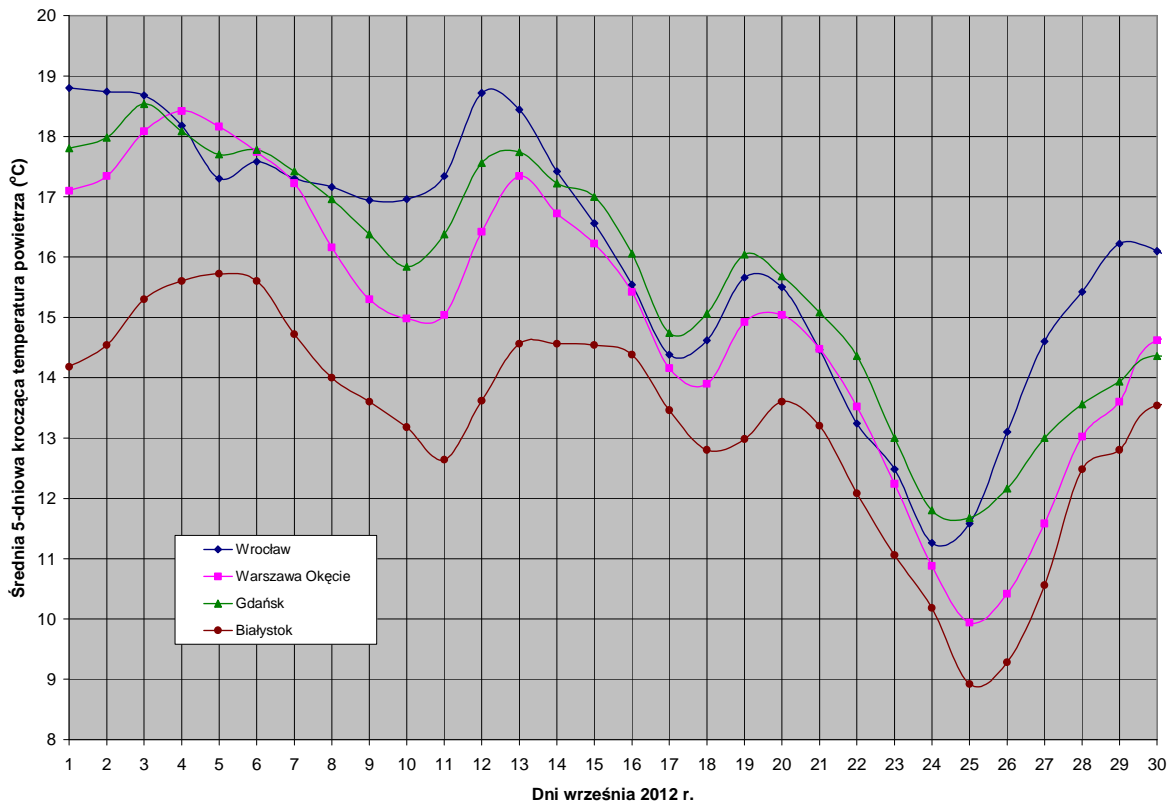
W obecnym sezonie grzewczym dla Gdyni Oksywia i Malborka pierwsze przekroczenie pięciodniowej średniej krocącej temperatury 15°C nastąpiło 10.09.2012 r. Drugie przekroczenie wystąpiło w dniach 17 i 18 września 2012 r. Trwałe przekroczenie wystąpiło od 21 września 2012 r. W Gdyni Oksywiu i Malborku sezon grzewczy 2012/2013 r. według pięciodniowej średniej krocącej temperatury powietrza zewnętrznego powinien się rozpocząć dla budynków o temperaturze bazowej $t_b=15^\circ\text{C}$ 21 września 2012 r. Najbliższym Malborka mieście Tczewie w obecnym sezonie grzewczym rozpoczęto ogrzewanie dopiero 25 września. Ale w mieszkaniach odczuwało się brak komfortu cieplnego sugerującego konieczność wcześniejszego rozpoczęcia ogrzewania.

W obecnym sezonie grzewczym dla najzimniejszego wojewódzkiego miasta Polski Białegostoku (**rys. 2**) pierwsze i trwałe przekroczenie pięciodniowej średniej krocącej temperatury 15°C nastąpiło 7 września 2012 r. i tego dnia powinno się rozpocząć dla budynków o temperaturze bazowej $t_b=15^\circ\text{C}$ ogrzewanie.

Dla Warszawy pierwsze przekroczenie pięciodniowej średniej krocącej temperatury 15°C nastąpiło 17 i 18 września 2012 r. Drugie trwałe przekroczenie wystąpiło w dniach 21 września 2012 r. W Warszawie sezon grzewczy 2012/2013 r. według pięciodniowej średniej krocącej temperatury powietrza zewnętrznego powinien się rozpocząć dla budynków o temperaturze bazowej $t_b=15^\circ\text{C}$ 21 września 2012 r.



Rys. 1. Pięciodniowa średnia krocząca średniej dobowej temperatury powietrza [4] w okresie od 01.09.2012 r. do 30.09.2012 r. dla wybranych pomorskich miast



Rys. 2. Pięciodniowa średnia krocząca średniej dobowej temperatury powietrza [4] w okresie od 01.09.2012 r. do 30.09.2012 r. dla wybranych polskich miast

W obecnym sezonie grzewczym dla Wrocławia pierwsze przekroczenie pięciodniowej średniej kroczącej temperatury 15°C nastąpiło 17 i 18 września 2012 r. W dniach od 21 do 27 września 2012 r. średnia pięciodniowa krocząca temperatura była niższa od 15°C. Według pięciodniowej średniej kroczącej temperatury powietrza zewnętrznego ogrzewanie powinno się rozpocząć we Wrocławiu dla budynków o temperaturze bazowej $t_b=15^{\circ}\text{C}$ 21 września 2012 r.

Według przyjętego kryterium ogrzewanie budynków o temperaturze bazowej $t_b=15^{\circ}\text{C}$ powinno się rozpocząć w sezonie grzewczym 2012/2013 r.:

- 7 września 2012 r. w najzimniejszym mieście wojewódzkim Białymstoku,
- 21 września 2012 r. w najcieplejszym mieście wojewódzkim Wrocławiu.
- 21 września 2012 r. w Gdyni Oksywiu i Malborku,
- 22 września 2012 r. w Gdańsku i Helu.

Zużycie ciepła przez budynek 11 kondygnacyjny nie poddany i poddany termomodernizacji

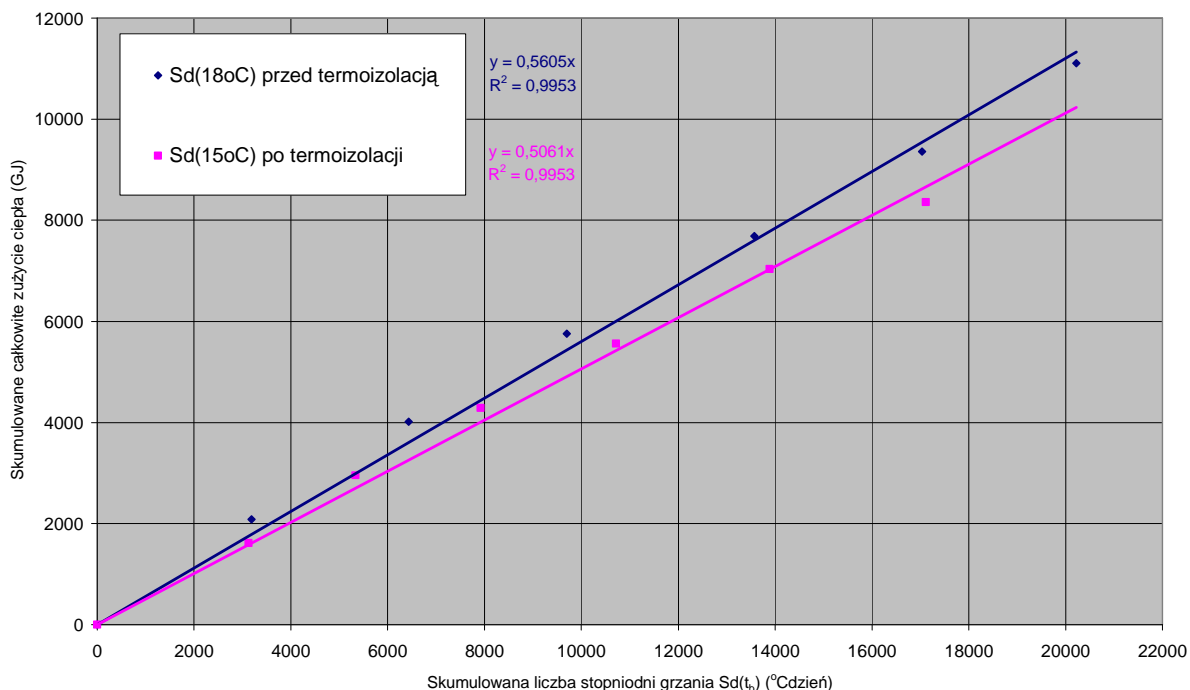
Analizie poddano budynek jedenastokondygnacyjny (88 mieszkań) oddany do użytku w 1974 r. Dla sezonów grzewczych od 1999/2000 r. do 2004/2005 r. wyznaczono liczbę stopniodni grzania $S_d(18^{\circ}\text{C})$ dla temperatury bazowej 18°C przed termomodernizacją oraz dla sezonów grzewczych od 2005/2006 r. do 2010/2011 r. $S_d(15^{\circ}\text{C})$ dla temperatury bazowej 15°C po termomodernizacji. Ze względu na bardzo duży rozrzut zużycia energii przed termomodernizacją wyznaczono proste regresji skumulowanego zużycia ciepła **[5]** względem skumulowanej liczby stopniodni grzania **[6]** w analizowanych okresach (**rys. 3**):

- przed termomodernizacją budynku dla sezonów grzewczych od 1999/2000 r. do 2004/2005 r.

$$\Sigma E = 0,5605[\text{GJ}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{dzień}] \cdot \Sigma S_d(18^{\circ}\text{C}) \quad (3)$$

- po termomodernizacji budynku dla sezonów grzewczych od 2005/2006 r. do 2010/2011 r.

$$\Sigma E = 0,5061[\text{GJ}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{dzień}] \cdot \Sigma S_d(15^{\circ}\text{C}) \quad (4)$$



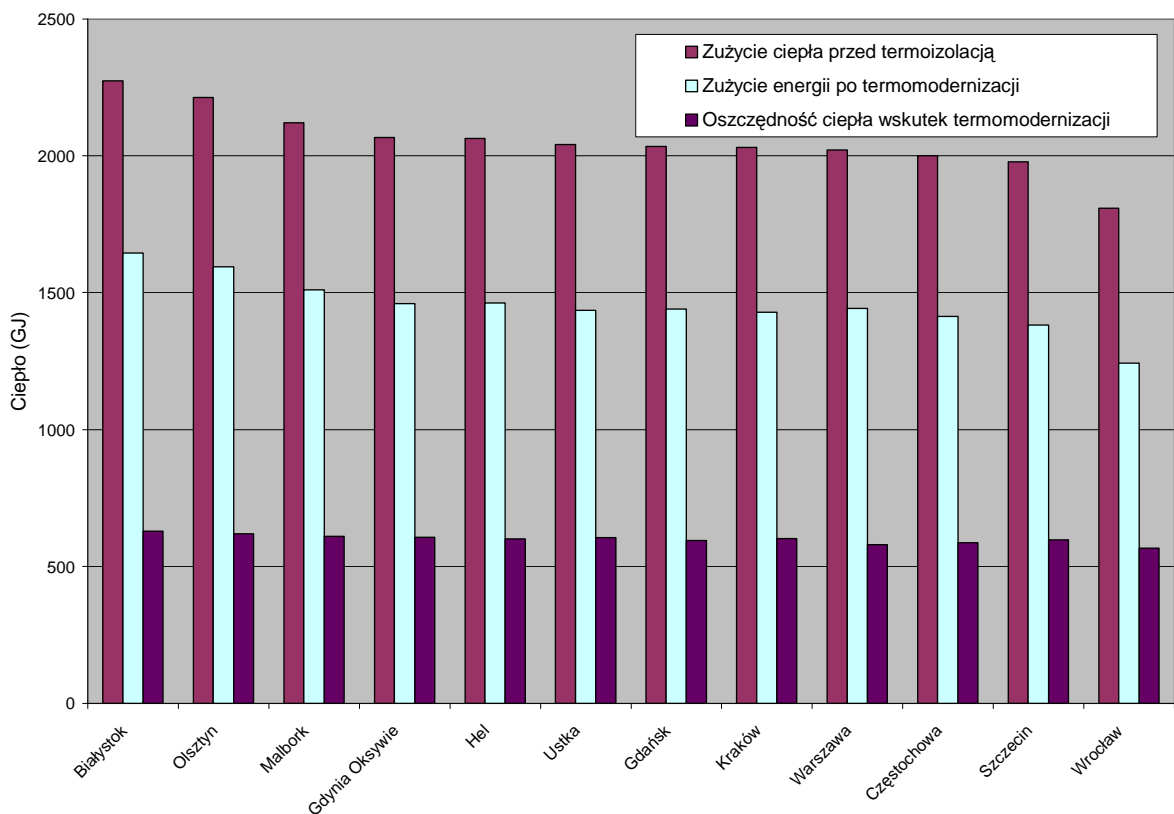
Rys. 3. Proste regresji skumulowanego zużycia ciepła na ogrzewanie budynku jedenastokondygnacyjnego względem skumulowanej liczby stopniodni grzania przed termomodernizacją Sd(18°C) w sezonach grzewczych od 1999/2000 r. do 2004/2005 r. oraz po termomodernizacji Sd(15°C) w sezonach grzewczych od 2005/2006 r. do 2010/2011 r.

Następnie obliczono zużycie ciepła na ogrzewanie analizowanego budynku w sezonie grzewczym 2010/2011 r. w dwunastu miastach, pierwszy raz tak jak gdyby ten budynek nie był poddany termomodernizacji i drugi raz tak gdyby on był poddany termomodernizacji. Obliczono również spadek (oszczędność) zużycia ciepła na ogrzewanie w wyniku termomodernizacji budynku w sezonie grzewczym 2010/2011 r. dla dwunastu miast w stosunku do identycznego budynku nie poddanego termomodernizacji (**rys. 4**).

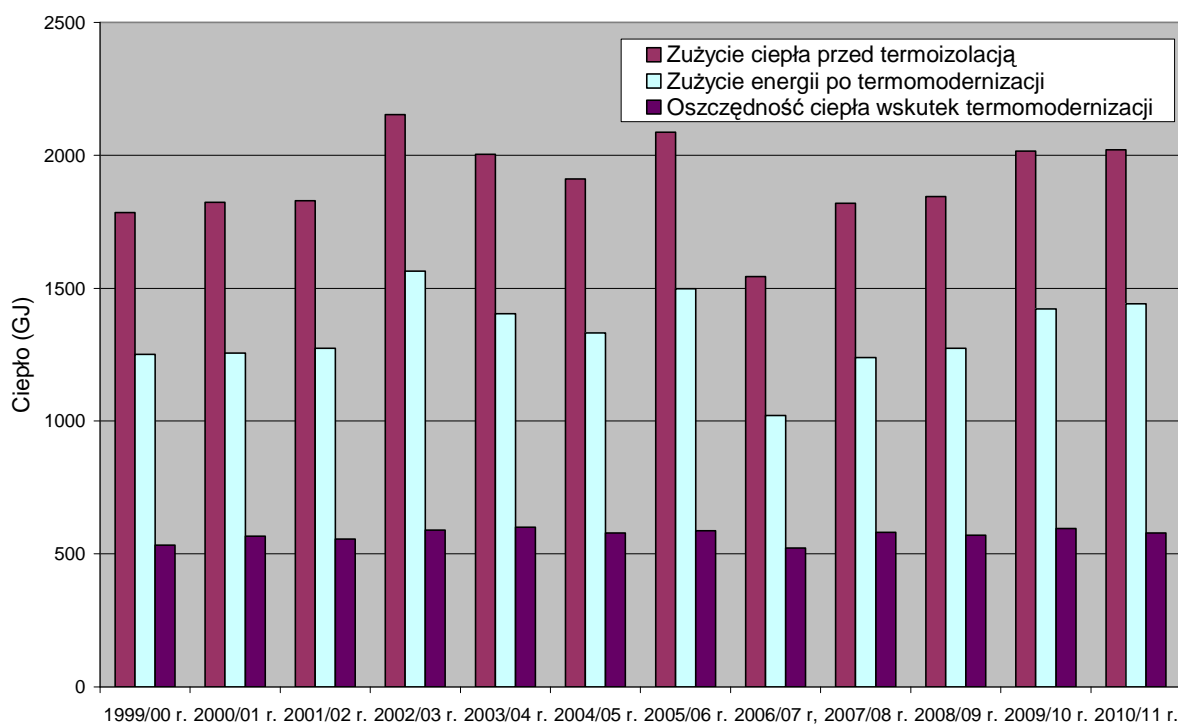
Wyższy **bezwzględny spadek zużycia ciepła** w sezonie grzewczym 2010/2011 r. wystąpiłby w najzimniejszych miastach Białymstoku 628,9 GJ, Olsztynie 618,8 GJ i Malborku 610 GJ a najmniejszy w najcieplejszych miastach Warszawie 579,6 GJ, Częstochowie 586,7 GJ, Szczecinie 596,5 GJ i Wrocławiu 566,2 GJ.

Wyższy **procentowy spadek zużycia ciepła** w sezonie grzewczym 2010/2011 r. wystąpiłby w: najcieplejszych miastach Wrocławiu 31,3%, Szczecinie 30,2%, Uście 29,7%, Krakowie 29,6%, Gdyni Oksywiu 29,4% i Częstochowie 29,3% a niższe w Gdańsku 29,2%, Helu 29,1%, Malborku 28,8%, Warszawie 28,7%, Olsztynie 28% i najzimniejszym mieście wojewódzkim Białymstoku 27,7%.

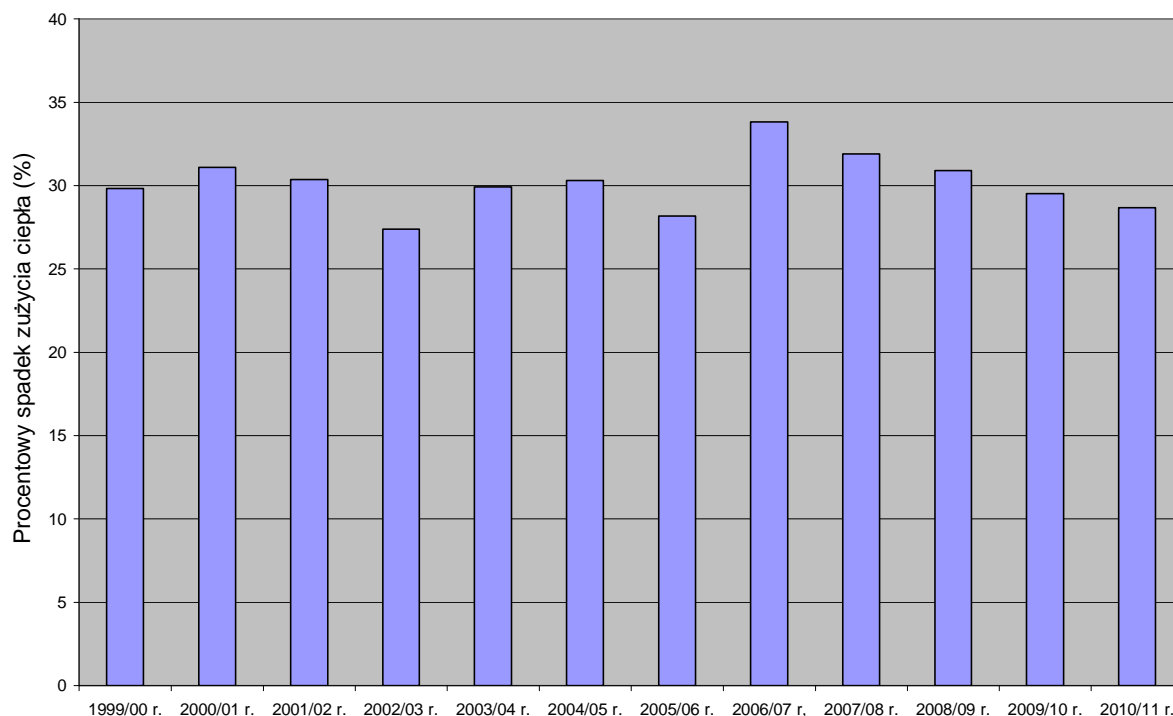
W Warszawie największe procentowe oszczędności w zużyciu ciepła wskutek termomodernizacji budynku (**rys. 5, 6**) wystąpiłyby w najcieplejszym sezonie grzewczym 2006/2007 r. i wynosiłyby 33,8% a najmniejsze w najzimniejszym sezonie 2002/2003 r. i wynosiłyby 27,4%. Oszczędności bezwzględne zużycia ciepła byłyby najwyższe w najzimniejszym sezonie 2002/2003 r. a najniższe najcieplejszym sezonie grzewczym 2006/2007 r.



Rys. 4. Zużycie ciepła przez budynek na ogrzewanie przed i po termomodernizacji oraz oszczędność w zużyciu ciepła wskutek termomodernizacji w wybranych miastach w sezonie grzewczym 2010/2011 r.



Rys. 5. Zużycie ciepła przez budynek na ogrzewanie przed i po termomodernizacji oraz oszczędność w zużyciu ciepła wskutek termomodernizacji w Warszawie w sezonach grzewczych od 1999/2000 r. do 2010/2011 r.



Rys. 6. Procentowy spadek zużycia ciepła na ogrzewanie budynku w Warszawie po termomodernizacji w stosunku do identycznego budynku nie poddanego termomodernizacji w sezonach grzewczych od 1999/2000 r. do 2010/2011 r.

Wnioski

Przy ocenie termomodernizacji należy rozróżniać oszczędności bezwzględne ciepła i procentowe. W sezonie grzewczym 2010/2011 r. najmniejsze oszczędności bezwzględne ciepła były w najcieplejszym mieście wojewódzkim Wrocławiu 566,2 GJ a największe w najzimniejszym mieście wojewódzkim Białymstoku 628,9 GJ. Najwięcej procentowo zaoszczędzić można było w najcieplejszym Wrocławiu 31,3% a najmniej w najzimniejszym Białymstoku - 27,7% ciepła zużywanego na ogrzewanie budynku przed termomodernizacją.

Przy ocenie efektów wprowadzanych działań termomodernizacyjnych należy uwzględnić wpływ zmian klimatu na zużycie energii na ogrzewanie budynków [7]. Zużycie energii przed i po termomodernizacji należy skorygować klimatycznie do średniej wieloletniej liczby stopniodni grzania lub do najcieplejszego (najzimniejszego) sezonu grzewczego, aby sprowadzić dane do wartości porównywalnych niezależnych od zmian klimatu.

W sektorach mieszkalnictwa, komercyjnym i publicznym zużycie energii finalnej z korektą klimatyczną można obliczać dokładniej po rozdzieleniu zużycia stałego i zmiennego [8]. Po korekcie klimatycznej można określić jakie zmiany zużycia energii zależą od klimatu a jakie są rzeczywistym efektem termomodernizacji budynków.

Literatura

- [1] Dopke J.: Wyznaczanie temperatury bazowej budynku. WWW.ogrzewnictwo.pl 24.09.2012 r., WWW.systemyogrzewania.pl 24.09.2012 r., WWW.cire.pl 25.09.2012 r.

- [2] Brown R. H., Marx B. M., Corliss G. F.: Mathematical Models for Gas Forecasting. Department of Electrical and Computer Engineering. Marquette University, Milwaukee
- [3] Degree-days: theory and application TM41:2006. The Chartered Institution of Building Services Engineers 222 Balham High Road, London SW129BS.
- [4] Ogimet. WWW.ogimet.com
- [5] Dopke J.: Skumulowane zmienne zużycie gazu w sezonie grzewczym. WWW.cire.pl 02.03.2009 r., WWW.ogrzewnictwo.pl 02.03.2009 r.
- [6] Dopke J.: Obliczanie miesięcznej liczby stopniodni grzania. WWW.cire.pl 24.03.2009 r., WWW.ogrzewnictwo.pl 26.03.2009 r.
- [7] Dopke J.: Zużycie energii na ogrzewanie budynków w wybranych polskich miastach w sezonie grzewczym 2011/2012 r. WWW.cire.pl/autor,2,36,0.htm 06.09.2012 r., WWW.systemyogrzewania.pl 06.09.2012 r., WWW.info-ogrzewanie.pl 08.09.2012 r., WWW.ogrzewnictwo.pl 18.09.2012 r.
- [8] Dopke J.: Korekcja klimatyczna wolumenu sprzedaży gazu ziemnego dla odbiorców domowych i komercyjnych. www.cire.pl 10.12.2008.

Copyright © 10.10.2012 by Józef Dopke, jozefdopke@wp.pl

All rights reserved. This work may not be translated or copied in whole or in part without the written permission of the publisher (Józef Dopke, jozefdopke@wp.pl), except for brief excerpts in connection with reviews or scholarly analysis. Use in connection with any form of information storage and retrieval, electronic adaptation, computer software, or by similar or dissimilar methodology now known or hereafter developed is forbidden.