

Dr inż. Anna Życzyńska

Katedra Konserwacji Zabytków
Wydział Budownictwa i Architektury
Politechnika Lubelska
Ul. Nadbystrzycka nr 40, 20-816 Lublin, Polska
E-mail: a.zyczynska@pollub.pl

Zużycie ciepła i koszty ogrzewania po dociepleniu przegród budowlanych zespołu budynków zasilanych z lokalnej kotłowni olejowej

Słowa kluczowe: współczynnik przenikania ciepła, docieplenie przegród budowlanych, zużycie ciepła w budynku, koszty ogrzewania

Streszczenie: W artykule przedstawiono wskaźniki zużycia energii uzyskane w warunkach eksploatacyjnych i koszty ogrzewania przed i po dociepleniu przegród zewnętrznych grupy ośmiu budynków mieszkalnych wielorodzinnych zasilanych ze wspólnego źródła ciepła. Źródłem ciepła jest kotłownia lokalna opalana olejem opałowym lekkim, dystrybucja ciepła do poszczególnych budynków następuje poprzez osiedlową sieć ciepłowniczą. W celu określenia średnich jednostkowych wskaźników zużycia energii na cele grzewcze dla całego zespołu budynków przeprowadzono analizę zużycia paliwa uwzględniając standardowe warunki obliczeniowe. Analizą objęto okres czterech lat po dociepleniu budynków od 2008-2011 r. i odniesiono do stanu przed dociepleniem z 2006 r., inwestycja była realizowana w 2007 r. Uzyskane rzeczywiste wskaźniki zużycia energii porównano do obecnie obowiązujących wymagań warunków technicznych. Na podstawie danych z eksploatacji budynków przeanalizowano spadek zużycia ciepła z tytułu docieplenia przegród, zmienność cen paliwa i kosztów eksploatacyjnych ogrzewania, określono spadek emisji zanieczyszczeń do atmosfery, oszacowano koszty eksploatacyjne ogrzewania jakie zostałyby poniesione w przypadku braku docieplenia przegród budowlanych.

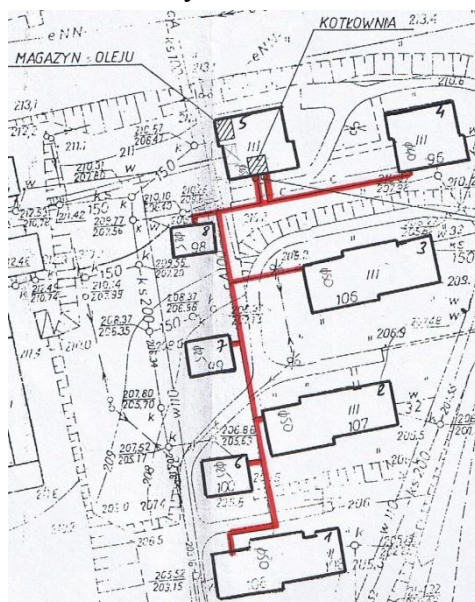
1. Wprowadzenie

Sektor budownictwa jest jednym z większych odbiorców ciepła w gospodarce. Dlatego polityka energetyczna poszczególnych państw ma między innymi na celu wprowadzanie mechanizmów powodujących znaczne ograniczenie zużycia energii w tym sektorze. Energia niezbędna do ogrzewania pomieszczeń stanowi największy udział w strukturze zużycia energii w budynku nie wyposażonego w klimatyzację [2, 5, 13]. Dla różnych typów budynków analizuje się możliwości oszczędzania ciepła poprzez poprawę parametrów izolacyjności cieplnej struktury budowlanej, podnoszenie sprawności systemów ogrzewania, prawidłowy dobór źródła ciepła oraz poprzez zarządzanie energią [1, 4], [6-8], [11-12]. W Polsce i wielu krajach od kilkunastu lat realizuje się inwestycje prowadzące do spadku zużycia ciepła w budownictwie. Inwestycje tego typu wspierane są różnymi mechanizmami finansowymi opartymi na środkach unijnych lub z budżetu państwa. Najważniejszymi efektami tego rodzaju przedsięwzięć są uzyskiwane oszczędności energii, które przyczyniają się do ograniczenia zużycia paliw, a tym samym do zmniejszenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery oraz obniżenia kosztów eksploatacyjnych związanych z ogrzewaniem. Warunkiem uzyskania wsparcia finansowego jest między innymi spełnienie wymagań w zakresie izolacyjności cieplnej przegród budynku. Obliczane w różnych opracowaniach oszczędności energii, wg obowiązującego algorytmu, opartego na przepisach krajowych oraz normach europejskich i polskich, są przybliżonymi wielkościami prognozowanymi. Dzięki wykonywaniu, w warunkach eksploatacyjnych, pomiarów zużycia ciepła lub zużycia paliwa

dla celów grzewczych w budynku, a następnie analizowaniu uzyskanych wyników z uwzględnieniem zmian temperatury zewnętrznej i długości sezonu grzewczego można określić realny poziom oszczędności energii oraz jednostkowe wskaźniki jej zużycia i porównać z wymaganiami. W przypadku występowania wysokich wskaźników przy zarządzaniu nieruchomością należy wprowadzać działania prowadzące do racjonalnego gospodarowania energią w budynku. W artykule przeanalizowano oszczędności energetyczne i średnie rzeczywiste wskaźniki zużycia energii na cele grzewcze uzyskane w warunkach eksploatacyjnych budynku jedynie po dociepleniu przegród budowlanych.

2. Opis obiektu

W grupie ośmiu budynków objętych analizą można wyróżnić dwa typy tj. trzy budynki dwurodzinne parterowe wykonane w technologii tradycyjnej i pięć budynków trzykondygnacyjnych jedno lub dwuklatkowych, dwunastorodzinnych wykonanych w technologii uprzemysłowionej tzw. „cegły żerańskiej”. Osiedle zostało wybudowane w latach 1968 -1978, natomiast w roku 2003 wybudowano istniejącą, jednofunkcyjną kotłownię olejową i sieć ciepłowniczą dwuprzewodową. Lokalizację budynków (trzecia strefa klimatyczna) i trasę sieci przedstawiono na rys.1.



Rys. 1. Lokalizacja zespołu budynków mieszkalnych wraz z trasą sieci ciepłowniczej.

Łączna powierzchnia użytkowa ogrzewana wszystkich budynków wynosi 3745,5 m², znajduje się na niej 66 mieszkań zasiedlonych przez 246 osób. Właścicielem osiedla jest wspólnota mieszkaniowa zarządzana przez licencjonowanego zarządcę nieruchomości. Rozliczenie kosztów eksploatacyjnych następuje proporcjonalnie do powierzchni użytkowej ogrzewanej.

Przed przystąpieniem do docieplenia przegrody budowlane charakteryzowały się następującymi współczynnikami przenikania ciepła [15] wyrażonymi w [W/m²K]: ściany zewnętrzne – 1,15 lub 1,12; stropodachy wentylowane - 0,93 lub 0,72; dach – 1,43; stropy piwnic od 0,83 do 1,01; podłogi na gruncie - 0,56 lub 0,46; okna - 2,6 i 1,8 oraz drzwi zewnętrzne - 2,5 lub 1,8. Współczynnik kształtu A/Ve (A – suma powierzchni przegród oddzielających przestrzeń ogrzewaną od środowiska zewnętrznego, przestrzeni nieogrzewanej i gruntu; Ve – kubatura ogrzewana) budynków dwurodzinnych wynosi 1,01 natomiast pozostałych 0,53 lub 0,54. Instalacje ogrzewcze w budynkach, wykonane pod koniec lat siedemdziesiątych nie były modernizowane, regulacja hydrauliczna realizowana była poprzez

kryzy zamontowane przy grzejnikach oraz u podstawy pionów. Kotłownia natomiast wyposażona jest w automatykę pogodową, co umożliwia centralną regulację układu. Przygotowanie ciepłej wody następuje w każdym mieszkaniu lokalnie, elektrycznie. W 2007 r. we wszystkich budynkach jednocześnie wykonano docieplenie ścian zewnętrznych, dachów i stropodachów, wymieniono okna klutek schodowych i drzwi zewnętrznych. System ogrzewania pozostawiono bez zmian. Obliczeniowe współczynniki przenikania ciepła przegród po dociepleniu [15] wyrażone w $[W/m^2K]$ wyniosły: ściany zewnętrzne – 0,25; stropodachy wentylowane – 0,22 lub 0,21; dach – 0,22; stropy piwnic - od 0,83 do 1,01; podłogi na gruncie - 0,56 lub 0,46; okna klutek schodowych - 1,8 oraz drzwi zewnętrzne - 1,8. Należy nadmienić, że z informacji uzyskanych od zarządcy oraz użytkowników wynika, że przed dociepleniem budynki były niedogrzewane i w pomieszczeniach ogrzewanych nie uzyskiwano obliczeniowych temperatur powietrza wewnętrznego. Rysunek 2, przedstawia budynki przed rozpoczęciem inwestycji, natomiast rysunek 3 po jej zakończeniu.



Rys. 2 Budynki przed inwestycją: dwurodzinny, jednoklatkowy, dwuklatkowy [15]



Rys.3 Budynki po inwestycji: dwurodzinny, jednoklatkowy, dwuklatkowy [15]

3. Metodyka obliczeń

Przeprowadzone, dla lat 2008-2011, obliczenia obejmują określenie poziomu zużycia ciepła na cele ogrzewania, emisję zanieczyszczeń oraz analizę kosztów eksploatacyjnych związanych z ogrzewaniem i ich porównanie ze stanem z 2006 r. W oparciu o dokumenty dostawy paliwa przeanalizowano zużycie oleju opałowego lekkiego na ogrzewanie całego zespołu budynków oraz przyjęto ceny jednostkowe, wartość opałową oleju lekkiego i gęstość. Zużycie ciepła oraz koszty eksploatacyjne ogrzewania sprowadzono do jednakowego poziomu odniesienia. W tym celu, na podstawie danych dotyczących długości standardowego i rzeczywistego sezonu grzewczego oraz standardowych i pomierzonych średnich miesięcznych temperatur powietrza zewnętrznego z najbliższej stacji meteorologicznej, wg zależności (1) określono wartości współczynnika korekcyjnego (ϕ) dla zewnętrznych warunków obliczeniowych w danym roku (przy założeniu temperatury wewnętrznej $20^{\circ}C$). Dla całego osiedla, w każdym roku analizowanego okresu określono średni wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową oraz nieodnawialną energię pierwotną. Ze względu na

brak indywidualnego opomiarowania zużycia ciepła w budynkach wskaźniki zawierają również straty energii cieplnej wynikające ze sprawności wytwarzania i dystrybucji ciepła w istniejącym układzie. Następnie uzyskane wyniki porównano z obowiązującymi w tym zakresie wymaganiami warunków technicznych dla budynków mieszkalnych. W celu oszacowania wskaźników finansowych obliczono średnie jednostkowe ceny oleju opałowego lekkiego, średnie jednostkowe koszty ogrzewania przed i po dociepleniu. Efekt ekologiczny został przedstawiony w postaci spadku emisji zanieczyszczeń takich jak dwutlenek węgla, tlenek węgla, tlenki siarki, tlenki azotu, pył i benzo(a)piren.

W obliczeniach wykorzystano następujące zależności:

$$\varphi = \frac{Sd_s}{Sd_r} \quad (1)$$

gdzie:

φ – współczynnik korekcyjny dla danego roku

Sd_r – liczba stopniocdni dla danego roku

Sd_s - liczba stopniocdni dla stacji meteorologicznej w roku standardowym (dla analizowanego przypadku 3825,2 [dzień · K / rok])

$$Q_{co} = 0,001 \cdot \varphi \cdot V \cdot W_o \cdot \rho \quad (2)$$

gdzie:

Q_{co} – zużycie energii cieplnej na cele ogrzewania [GJ/rok]

V – objętość zużytego oleju na cele grzewcze [dm³/rok]

W_o - wartość opałowa oleju (przyjęto 42,6 MJ/dm³)

ρ – gęstość oleju (przyjęto 0,85 kg/dm³)

$$EK_H = 100 \cdot \frac{Q_{co}}{A_f \cdot 3,6} \quad (3)$$

$$EK_H^* = EK_H \cdot \eta \quad (4)$$

$$EP_H = w_i \cdot EK_H \quad (5)$$

$$EP_H^* = w_i \cdot EK_H^* \quad (6)$$

$$EP_{HWT} = 55 + 90 \cdot A/V_e \quad (7)$$

$$EP_{HWT}' = 1,15 \cdot EP_{HWT} \quad (8)$$

gdzie:

EK_H – średni wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową dla ogrzewania osiedla wraz ze stratami z tytułu wytwarzania w lokalnym źródle i przesyłu poprzez osiedlową sieć ciepłowniczą [kWh/m²·rok]

EK_H^* - średni wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową dla ogrzewania budynków osiedla pomniejszony o straty z tytułu wytwarzania i przesyłu [kWh/m²·rok]

EP_H - średni wskaźnik zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną dla ogrzewania osiedla wraz ze stratami z tytułu wytwarzania w lokalnym źródle i

- przesyłu poprzez osiedlową sieć ciepłowniczą [kWh/m²·rok] wg [9]
- EP_H^* - średni wskaźnik zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną dla ogrzewania budynków osiedla pomniejszony o straty z tytułu wytwarzania i przesyłu [kWh/m²·rok]
- EP_{HWT} - wskaźnik zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną dla ogrzewania budynków nowych określony wg wymagań warunków technicznych [kWh/m²·rok] wg [10]
- EP'_{HWT} - wskaźnik zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną dla ogrzewania budynków modernizowanych określony wg wymagań warunków technicznych [kWh/m²·rok] wg [10]
- A/V_e - współczynnik kształtu budynku (przyjęto 0,57 1/m jako obliczoną wartość średnią dla całej grupy budynków)
- A_f - powierzchnia użytkowa pomieszczeń o regulowanej temperaturze (łącznie dla wszystkich budynków 3745,5 m²)
- w_i - współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej (wg [9] przyjęto 1,1)
- η - sprawność wytwarzania energii w kotłowni i przesyłu osiedlowej sieci ciepłowniczej (wykorzystując [9] przyjęto 0,85 jako iloczyn wartości 0,89 i 0,95)

$$K_r = V \cdot C_j \quad (9)$$

$$K_r^* = \varphi \cdot V \cdot C_j \quad (10)$$

$$k_j = \frac{K_r^*}{A_f \cdot 12} \quad (11)$$

gdzie:

K_r - roczne koszty zakupu oleju [zł/rok]

K_r^* - skorygowane roczne koszty zakupu oleju [zł/rok]

k_j - koszt jednostkowy ogrzewania [zł/m²·m-c]

C_j - średnia cena brutto oleju opałowego w danym roku [zł/dm³]

Wskaźniki ekologiczne wynikający ze zużycia paliwa wyrażono poprzez określenie emisji dwutlenku węgla (CO₂), tlenku węgla (CO), dwutlenku siarki (SO₂), tlenków azotu (NO_x), pyłu (TSP=PM10) oraz benzo(a)pirenu, wykorzystując zależność (12) oraz założenia zawarte w [14]:

$$E = B \cdot W \quad (12)$$

$$B = 0,001 \cdot \varphi \cdot V \quad (13)$$

gdzie:

E - emisja substancji [kg]

B - zużycie paliwa [m³]

W - wskaźnik unosu [kg/m³]

4. Analiza wyników

W oparciu o powyższe zależności, wykorzystując dane źródłowe z eksploatacji udostępnione przez zarządcę nieruchomości oraz informacje zawarte w dokumentacji budynków w tabelach 1, 2, 3, 4 oraz na wykresach (rys.4 i rys.5) zamieszczono wyniki obliczeń.

4.1. Oszczędność energii na ogrzewanie

Uzyskany dla lat od 2008 do 2011 (rok 2007 przyjęto jako przejściowy ze względu na realizację inwestycji) rzeczywisty poziom oszczędności energii na ogrzewanie został odniesiony do 2006 r. i wynosi dla poszczególnych lat od 16,3 % do 21,5 %.

Tabela 1. Zapotrzebowanie na ciepło

Lp.	Rok	φ	V	$\varphi \cdot V$	Q_{co}	q_j
-	-	-	dm ³ /rok	dm ³ /rok	GJ/rok	GJ/m ²
1	2006	1,010	70713	71420	2586	0,690
2	2007	1,041	60779	63271	2291	0,612
3	2008	1,074	55151	59232	2145	0,573
4	2009	1,030	58025	59766	2164	0,578
5	2010	0,897	65164	58452	2117	0,565
6	2011	1,025	54684	56051	2030	0,542

Natomiast wskaźniki zapotrzebowania na energię, co przedstawiono na rys.4, kształtują się na następującym poziomie:

- wg wymagań warunków technicznych [10] dla budynku „nowego”

$$EP_{HWT} = 106,3 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$$

- wg wymagań warunków technicznych [10] dla budynku „modernizowanego”

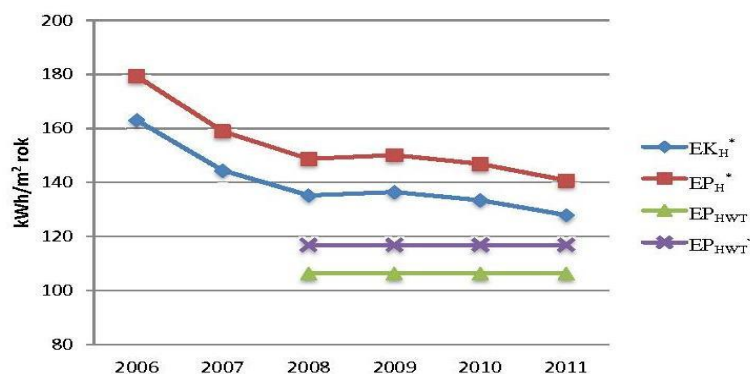
$$EP_{HWT}^* = 116,9 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$$

-średni wskaźnik po termomodernizacji w latach 2008-2011 z wyłączeniem roku 2007 prowadzenia inwestycji odpowiednio

$$EK_H^* = 133,2 \text{ kWh/m}^2\text{rok} \text{ oraz } EP_H^* = 146,5 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$$

-rozbieżność pomiędzy stanem rzeczywistym a wymaganiami technicznymi:

$$\Delta EP_H = 25,3 \%$$



Rys. 4 Wartość EK_H^* i EP_H^* w odniesieniu do EP_{HWT} oraz EP_{HWT}^*

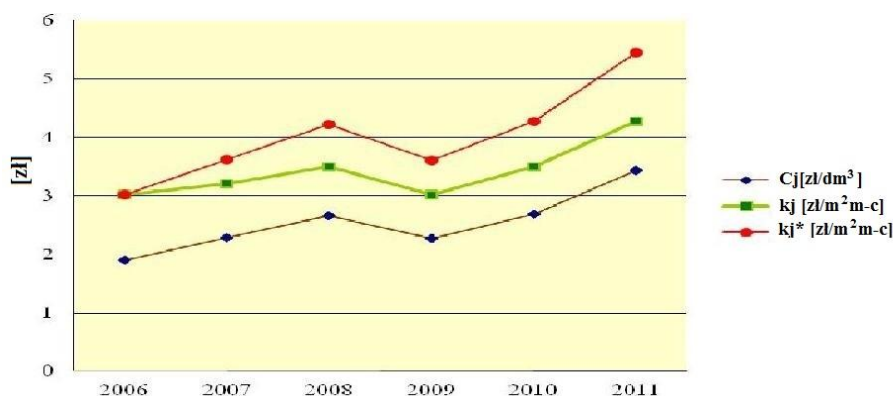
4.2. Koszty eksploatacyjne

Tabela 2 zawiera roczne koszty eksploatacyjne ponoszone przed i po wykonaniu docieplenia przegród budowlanych, średnie jednostkowe ceny zakupu paliwa oraz oszacowane jednostkowe miesięczne opłaty za 1m² ogrzewanej powierzchni. W tabeli 2 przedstawiono roczne koszty zakupu oleju (K_r^{**}), a na rys. 5 jednostkowe koszty ogrzewania (k_j^*) w przypadku braku ocieplenia przegród zewnętrznych budynków (dla każdego roku założono zużycie energii cieplnej na poziomie roku 2006, natomiast cenę zakupu paliwa przyjęto, jako wartość średnią dla danego roku).

Tabela 2. Koszty eksploatacyjne

Lp	Rok	C _j	O _z	K _r	K _r *	K _r **
-	-	zł/dm ³	zł/GJ	zł/rok	zł/rok	zł/rok
1	2006	1,90	52,47	134188	135698	135698
2	2007	2,28	62,97	138648	144258	162838
3	2008	2,66	73,46	146933	157558	189977
4	2009	2,27	62,69	131640	135668	162123
5	2010	2,69	74,29	175032	157236	192120
6	2011	3,43	94,73	187557	192255	244971

Oz – średni koszt jednego GJ ciepła dla grupy budynków



Rys. 5 Zmienność jednostkowych kosztów ogrzewania i cen oleju lekkiego opałowego

4.3. Efekt ekologiczny

W tabeli 3 przedstawiono emisję zanieczyszczeń w poszczególnych latach analizowanego okresu oraz w tabeli 4 jej spadek w odniesieniu do 2006 roku. Przez ΔE oznaczono procentowy spadek emisji zanieczyszczeń. Rodzaj paliwa nie uległ zmianie dlatego procentowy spadek emisji każdego rodzaju zanieczyszczenia będzie taki sam.

Tabela 3. Emisja zanieczyszczeń

Lp.	Rok	B	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	PM10	Benzo(a)piren
-	-	m ³ /rok	kg/rok	kg/rok	kg/rok	kg/rok	kg/rok	kg/rok
1	2006	71,42	364,2	142,8	40,7	192834	24,28	0,0186
2	2007	63,27	322,7	126,5	36,1	170832	21,51	0,0165
3	2008	59,23	302,1	118,5	33,8	159927	20,14	0,0154
4	2009	59,77	304,8	119,5	34,1	161368	20,32	0,0155
5	2010	58,45	298,1	116,9	33,3	157821	19,87	0,0152
6	2011	56,05	285,9	112,1	31,9	151335	19,06	0,0146

Tabela 4. Spadek emisji zanieczyszczeń

Lp.	Rok	ΔE	ΔSO_2	ΔNO_x	ΔCO	ΔCO_2	$\Delta PM10$	$\Delta Benzo(a)piren$
-	-	%	kg/rok	kg/rok	kg/rok	kg/rok	kg/rok	kg/rok
1	2007	11,4	41,5	16,3	4,6	22002	2,77	0,0021
2	2008	17,1	62,1	24,3	6,9	32907	4,14	0,0032
3	2009	16,3	59,4	23,3	6,6	31466	3,96	0,0031
4	2010	18,2	66,1	25,9	7,4	35013	4,41	0,0034
5	2011	21,5	78,3	30,7	8,8	41499	5,22	0,0040

5. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonego docieplenia ścian zewnętrznych, dachów, stropodachów i wymiany okien na klatkach schodowych oraz drzwi zewnętrznych rzeczywiste oszczędności energii (uzyskane w warunkach eksploatacyjnych) odniesione do standardowych warunków obliczeniowych roku 2006 (przed dociepleniem) zawierały się dla poszczególnych lat w okresie od 2008 do 2011 w przedziale od 16,3 do 21,5 %. Uzyskany spadek zużycia ciepła jest niższy od oczekiwanego i należy przypuszczać, że wynika to z braku przeprowadzenia rzetelnej regulacji hydraulicznej instalacji ogrzewczej.

Uśredniona dla całej grupy budynków najniższa wartości wskaźnika zużycia energii końcowej w warunkach eksploatacyjnych, wyniosła 127,9 kWh/m²rok, natomiast wskaźnika zużycia nieodnawialnej energii pierwotnej 140,7 kWh/m²rok. Przy uśrednionej, wymaganej dla budynków po modernizacji wartości wynoszącej 116,9 kWh/m²rok uzyskana wartość przekracza wymaganą o ok. 20,4 %. Wskazuje to na konieczność prowadzenia dalszych działań zmierzających do ograniczenia zużycia ciepła w zespole budynków między innymi poprzez podniesienie sprawności wykorzystania i eksploatacji oraz sprawności przesyłu w instalacji ogrzewczej oraz racjonalne gospodarowanie energią przez użytkowników budynków.

Wraz ze spadkiem zużycia paliwa następuje spadek emisji zanieczyszczeń, charakterystycznych przy spalaniu oleju opałowego lekkiego, na poziomie równym poziomowi oszczędności energii.

Oszczędności energetyczne generują oszczędności finansowe związane z kosztami eksploatacyjnymi ogrzewania, jednak ciągle rosnące ceny paliwa znacząco zmniejszają te efekty. W omawianym przypadku koszty jednostkowe nie spadały pomimo ograniczenia zużycia paliwa. Jednak z analizy wykonanej dla zapotrzebowania jak dla warunków przed dociepleniem i po uwzględnieniu wzrostu cen oleju koszty eksploatacyjne byłyby wyższe np. w ostatnim roku o ok. 27,3 % . Wzrost cen oleju wchłonął oszczędności finansowe uzyskane z tytułu ograniczenia zużycia ciepła. Różnice występujące pomiędzy uzyskanymi wynikami dla poszczególnych lat wskazują, że wpływ na rzeczywiste efekty energetyczne i finansowe termomodernizacji ma sposób eksploatacji i użytkowania budynku oraz jego wyposażenia technicznego.

Poprawa izolacyjności cieplnej przyczyniła się do likwidacji przemarzania fragmentów przegród budowlanych oraz umożliwiła uzyskanie temperatury wewnętrznej zapewniającej komfort cieplny w ogrzewanych pomieszczeniach. Przeprowadzona inwestycja obejmująca jednocześnie cały zespół budynków podniosła znacząco ich walory estetyczne oraz wartość rynkową nieruchomości. Te niewymierne wymienione efekty mają również duże znaczenie dla właścicieli nieruchomości.

6. Bibliografia

1. Chengmin Ch, Yufeng Z, Lijun M. Assessment for central heating systems with different heat sources: A case study. *Energy and Buildings* 2012; 48:168-174.
2. Colmenar-Santos A, Terán de Lober L N, Borge-Diez D, Castro-Gil M. Solutions to reduce energy consumption in the management of large buildings. *Energy and Buildings* 2013; 56: 66-77.
3. Dane źródłowe od zarządcy budynków dotyczące parametrów i wielkości zużycia oleju opałowego lekkiego oraz kosztów ogrzewania w latach 2006 – 2007.
4. Joelsson A, Gustavsson L. District heating and energy efficiency in detached houses of differing size and construction. *Applied Energy* 2009; 86: 126-134.
5. Leidl Ch M, Lubitz W D. Comparing domestic water heating technologies. *Technology in Society* 2009; 31: 244-256.
6. Mírck O, Thomsen K E, Rose J. The EU CONCERTO project Class 1 – Demonstrating

- cost-effective low-energy buildings – Recent results with special focus on comparison of calculated and measured energy performance of Danish buildings. *Applied Energy* 2012; 97: 319–326.
7. Olesena B W, de Carli M. Calculation of the yearly energy performance of heating systems based on the ichele European Building Energy Directive and related CEN standards. *Energy and Buildings* 2011; 43:1040–1050.
 8. Peeters L, Van der Veken J, Hens H, Helsen L, D’haeseleer W. Control of heating systems in residential buildings: Current practice. *Energy and Buildings* 2008; 40:1446-1455.
 9. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6.11.2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno – użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. nr 201/2008 r., poz. 1240).
 10. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6.11.2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 201/2008 r., poz. 1238).
 11. Schuler A, Weber Ch, Fahl U. Energy consumption for space heating of West-German households: empirical evidence, scenario projections and policy implications. *Energy Policy* 2000; 28: 877-894.
 12. Tolga Baltaa M, Dincerb I, Hepbaslia A. Performance and sustainability assessment of energy options for building HVAC applications. *Energy and Buildings* 2010; 42:1320–1328.
 13. Tuominen P, Forsstr J, Honkatukia J. Economic effects of energy efficiency improvements in the Finnish building stock. *Energy Policy* 2013; 52:181-189.
 14. Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw. Kotły o mocy do 5 MW_t. Krajowy Administrator Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji. Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. Styczeń 2011.
 15. Życzyńska A, Dyś G. Audyty energetyczne. Lublin: 2006.