

Piotr Potera*

* dr Piotr Potera, Zakład Informatyki Stosowanej UR, Członek ZAE nr 1408, Audytor BGK nr 352

Efekty termomodernizacji ścian zewnętrznych i modernizacji systemu grzewczego

Od powstania, tj. od roku 1998, Fundusz Termomodernizacyjny, cieszy się dużą popularnością o czym świadczy zrealizowanie ponad 21 tysięcy projektów ze średnią wartością premii termomodernizacyjnej wynoszącej 57 tysięcy złotych [1]. Niestety część potencjalnych inwestorów, zwłaszcza niewielkie wspólnoty mieszkaniowe, rezygnuje z podjęcia działań termomodernizacyjnych, uzasadniając to mglistymi i trudnymi do przewidzenia efektami ekonomicznymi.

Przy realizacji przedsięwzięcia termomodernizacyjnego z udziałem pomocy Skarbu Państwa podstawowym czynnikiem determinującym działanie inwestora jest przewidywana premia termomodernizacyjna oraz oszczędność kosztów ciepła. Zgodnie z Ustawą o wspieraniu termomodernizacji i remontów [2] z tytułu realizacji przedsięwzięcia termomodernizacyjnego inwestorowi przysługuje premia na spłatę części kredytu zaciągniętego na przedsięwzięcie termomodernizacyjne, jeżeli z audytu energetycznego wynika, że w wyniku przedsięwzięcia termomodernizacyjnego nastąpi zmniejszenie rocznego zapotrzebowania na energię w budynkach w których modernizuje się wyłącznie system grzewczy co najmniej o 10%, w budynkach, w których po 1984 r. przeprowadzono modernizację systemu grzewczego – co najmniej o 15 %, zaś w pozostałych budynkach – co najmniej o 25 %.

Zgodnie z Art. 5. Ustawy o wspieraniu termomodernizacji i remontów wysokość premii termomodernizacyjnej stanowi 20 % wykorzystanej kwoty kredytu zaciągniętego na realizację przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, z zastrzeżeniem że nie może wynosić ona więcej niż 16 % kosztów poniesionych na realizację przedsięwzięcia termomodernizacyjnego i dwukrotność przewidywanych rocznych oszczędności kosztów energii, ustalonych na podstawie audytu energetycznego.

Konieczność spełnienia szeregu warunków brzegowych dla uzyskania premii termomodernizacyjnej przy złożonej metodologii opracowania audytu energetycznego zawartej w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego [3] sprawia, iż część inwestorów podchodzi nieufnie do tej formy wsparcia. Jakkolwiek przybliżone określenie kwoty kredytu oraz planowanych kosztów

termomodernizacji jest zwykle dla inwestora stosunkowo proste np. w oparciu o znajomość cen jednostkowych na rynku lokalnym dla poszczególnych planowanych ulepszeń termomodernizacyjnych, tak określenie dwukrotności oszczędności rocznej kosztów energii jest praktycznie niemożliwe bez wykonania audytu energetycznego. Koszt takiego audytu, dającego gwarancję pozytywnej weryfikacji przez Bank Gospodarstwa Krajowego (co jest warunkiem uzyskania kredytu termomodernizacyjnego) dla budynku wielorodzinnego jest rzędu 2500-4000 zł [4]. Z prowadzonej przez autora praktyki audytorskiej wynika, iż jednym z głównych problemów są obawy inwestora właśnie o wynik audytu energetycznego. Zwykle przed zamówieniem audytu energetycznego inwestor chciałby wiedzieć, czy zostaną osiągnięte parametry umożliwiające uzyskanie premii termomodernizacyjnej oraz na jaką wartość wsparcia może liczyć. Inwestorzy często pytają o przewidywane oszczędności ciepła. Niestety odpowiedź na to pytanie bez wykonania wstępnych obliczeń zapotrzebowania ciepła w programach komputerowych jest możliwa jedynie w oparciu o doświadczenie audytora w podobnych przypadkach. Często jednak taka argumentacja nie przekonuje inwestora. Wytwarza się więc swoiste "błędne koło" -potencjalny inwestor bez wykonania audytu nie dowie się np. czy i jaką premię termomodernizacyjną może otrzymać, jednocześnie boi się, że wykonany audyt może być "pieniędzmi wyrzuconymi w błoto" gdy z audytu wyniknie np. zbyt mała oszczędność ciepła niż wymagana do uzyskania premii termomodernizacyjnej. Niestety brak jest prostych metod pozwalających szybko i wiarygodnie ocenić przybliżone efekty termomodernizacji. W niniejszej pracy zostaną podane poempiryczne formuły pozwalające w oparciu o podstawowe dane m.in. takie jak powierzchnia użytkowa, powierzchnia ścian podlegających ociepleniu oraz sprawność sytemu grzewczego przed i po termomodernizacji ocenić podstawowe efekty termomodernizacji np. w postaci oszczędności ciepła.

Obiekty badań

Podstawowymi czynnikami wyznaczającymi wielkość przewidywanej premii termomodernizacyjnej oraz oszczędności kosztów ciepła są obliczeniowe projektowe obciążenie cieplne budynku (q_{obl}) oraz obliczeniowe sezonowe zapotrzebowanie ciepła (Q_{obl}) w stanie wejściowym i końcowym. W przypadku audytu wielkości te obliczane są zgodnie z normami PN-EN 12831 [5] i PN-EN-13790 [6]. Według normy PN-EN 12831 wartość projektowego obciążenia cieplnego budynku zależy od szeregu czynników i parametrów takich jak: projektowa temperatura wewnętrzna, projektowa temperatura zewnętrzna,

powierzchnia przegród, współczynnik przenikania przegród, parametry geometryczne budynku i jego układ geometryczny, ekspozycja na wiatr, obecność i rodzaj przestrzeni nieogrzewanych, roczna średnia temperatura zewnętrzna, strumień powietrza wentylacyjnego, konfiguracja mostków cieplnych [5]. W przypadku sezonowego zapotrzebowania na ciepło, zgodnie z normą PN-EN-13790 należy dodatkowo znać m.in. uzyski solarne przez przegrody przezroczyste, zyski wewnętrzne, długość trwania sezonu grzewczego, które określa się z dość skomplikowanej metodologii [6].

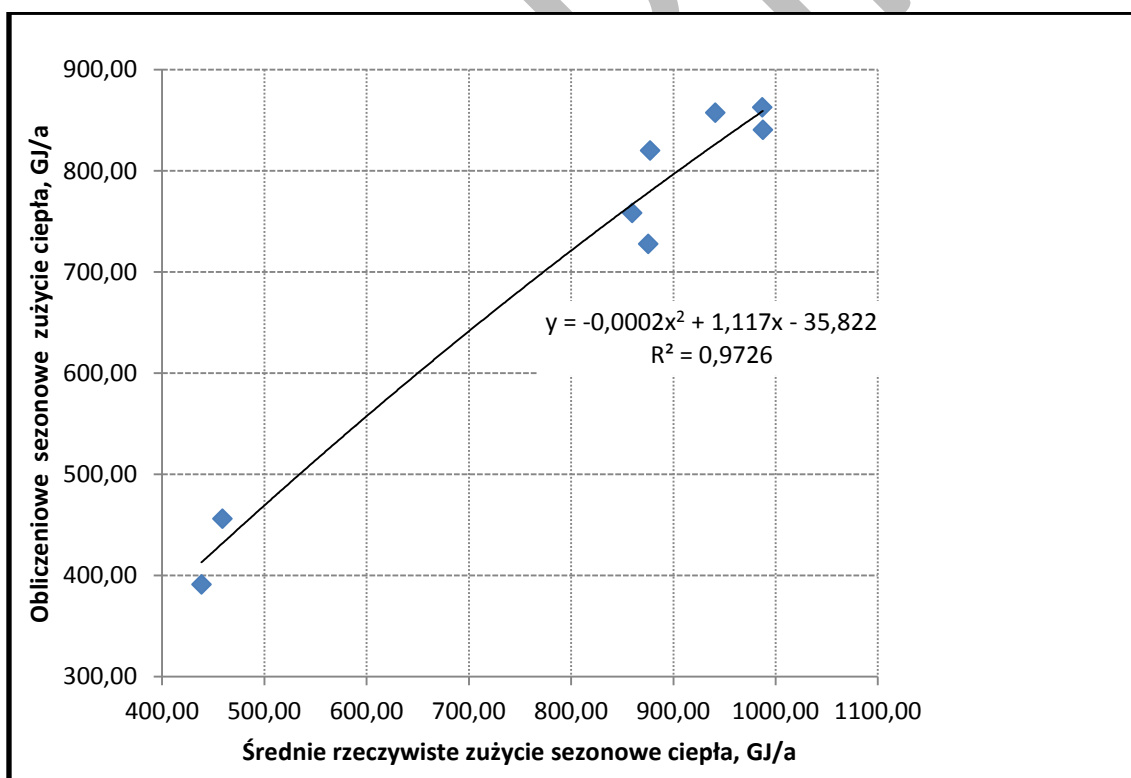
Już tak pobieżne rozważanie wskazują, że jakościowe i ilościowe określenie wpływu tych parametrów na Q_{obl} i q_{obl} w sposób analityczny jest praktycznie niemożliwe. Możliwe jest jednak określenie zależności interpolacyjnych i półempirycznych *ab-initio*, w przypadku, gdy dysponujemy zbiorem analogicznych obiektów o ustalonych parametrach np. powtarzalnych budynków wielorodzinnych zlokalizowanych w niewielkim rozproszeniu.

W takim przypadku możliwe jest określenie zależności pomiędzy Q_{obl} a takimi parametrami jak np. powierzchnia użytkowa i powierzchnia ścian planowanych do docieplenia. W niniejszym artykule zespołem obiektów będzie 8 budynków wielorodzinnych należących do Spółdzielni Mieszkaniowej "Pionierska" w Ustrzykach Dolnych, dla których autor wykonał audyty termomodernizacyjne. Budynki zostały zbudowane w systemie OWT-67N na południowo-zachodnim zboczu góry, w ten sposób że nie ograniczają uzysków solarnych przez okna. Oś poprzeczna wszystkich budynków ma orientację NW-SE. Podstawowe dane dla budynków podano w tabeli 1.

Budynek	Liczba mieszkań w	Liczba mieszkań	Powierzchnia użytkowa, m ²	Średnie rzeczywiste zużycie ciepła przed termomodernizacją, GJ/a	Obliczeniowe zużycie ciepła przed termomodernizacją, GJ/a
Gombrowicza 5	95	28	1828,12	987,57	839,96
Gombrowicza 13	99	37	1706,76	859,67	757,85
Gombrowicza 17	113	37	2298,75	986,91	862,19
Gombrowicza 19	52	16	904,80	438,49	390,92
Gombrowicza 21	103	32	1809,60	875,40	727,26
Gombrowicza 23	101	32	2224,00	940,99	856,88
Gombrowicza 25	96	29	1638,84	877,23	819,52
Gombrowicza 29	57	18	1023,59	458,96	455,80

Budynki posiadają identyczne rozwiązanie w zakresie systemów CO i CWU. Instalacja grzewcza centralnego ogrzewania to instalacja wodna (95C/70C), dwururowa w układzie zamkniętym z rozdziałem dolnym. Rurociągi spawane z rur stalowych czarnych. Poziomy prowadzone w piwnicach, izolowane watą szklaną w płaszczu gipsowym. Piony i gałazki w pomieszczeniach prowadzone po wierzchu ścian, w pomieszczeniach ogrzewanych - nieizolowane. Elementy grzejne – grzejniki członowe lub płytowe zlokalizowane pod oknami, wyposażone w zawory grzejnikowe termostacyjne zarówno w mieszkaniach jak i na klatkach schodowych. Instalacja zasilana poprzez węzeł cieplny wyposażony w regulację centralną pogodową. Obliczenia wykonano dla jednostkowych wewnętrznych zysków ciepła wynoszących 4,6 W/m².

Dla rozważanych budynków znane jest zużycie ciepła za lata 1994-1997 i 2006-2010. Wartości średnie podano w tabeli 1. Rzeczywiste średnie sezonowe zużycie ciepła dla tych budynków oraz obliczeniowe zużycie ciepła pozostają dla tych budynków w ścisłej korelacji, co zobrazowano na Rys 1.



Rys. 1 Zależność obliczeniowego zapotrzebowania na ciepło w funkcji rzeczywistego zużycia ciepła

Zależność ta ma charakter wielomianowy drugiego stopnia (dla zależności liniowej otrzymuje się niższy współczynnik determinacji $R^2 = 0,9719$), a współczynnik determinacji $R^2 = 0,9726$

osiąga większą wartość jak dla analogicznego dopasowania omówionego w artykule [7] dla budynków oświatowych. Oznacza to, że próba budynków została dobrana w sposób reprezentatywny.

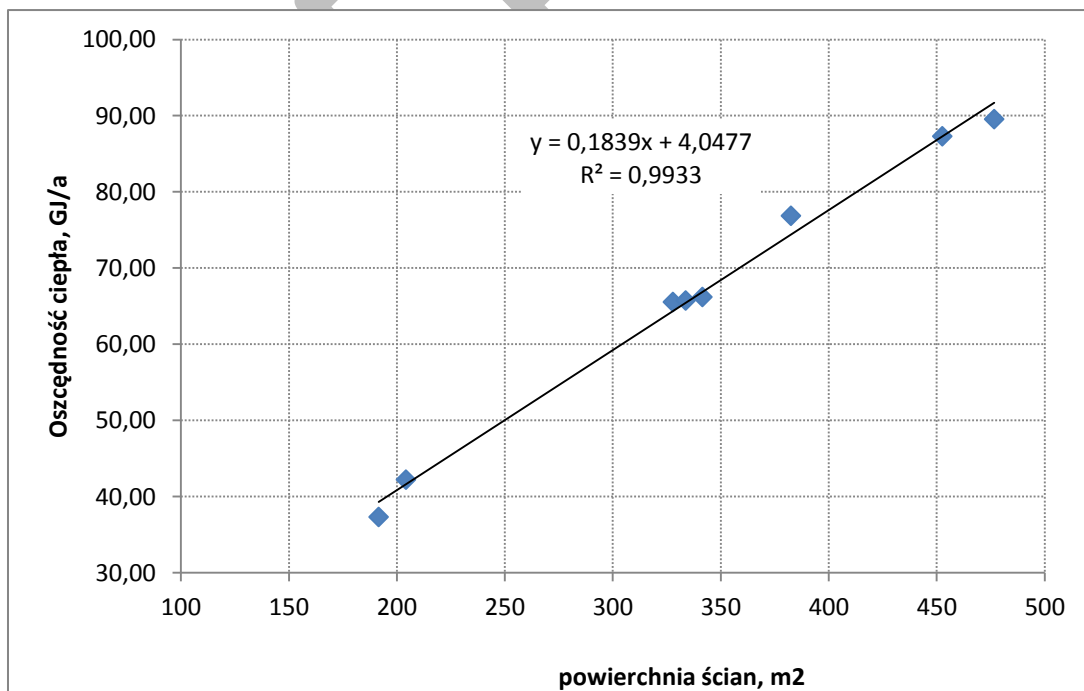
Zależności półempiryczne

Dla uproszczenia poniższe rozważania będą dotyczyć jedynie przypadku docieplenia ścian zewnętrznych budynków. Na początek zostanie podana formuła pozwalająca obliczyć oszczędność ciepła z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego ($\Delta Q_{obl,\eta}$) z obliczeniowego sezonowego zapotrzebowania na ciepło przed ($Q_{obl,0}$) i po ($Q_{obl,1}$) termomodernizacji:

$$\Delta Q_{obl,\eta} = \frac{w_{t0}w_{d0}Q_{obl,0}}{\eta_0} - \frac{w_{t1}w_{d1}Q_{obl,1}}{\eta_1} = \frac{w_{t0}w_{d0}Q_{obl,0}}{\eta_0} - \frac{w_{t1}w_{d1}(Q_{obl,0} - \Delta Q)}{\eta_1} \quad (1)$$

gdzie η_0, η_1 - sprawności całkowite systemu grzewczego przed i po termomodernizacji w_d, w_t - dzienne i tygodniowe przerwy w ogrzewaniu, $\Delta Q = Q_{obl,1} - Q_{obl,0}$ - zmniejszenie obliczeniowego sezonowego zapotrzebowania na ciepło (bez uwzględnienia sprawności), które dla badanych obiektów wykazuje zależność liniową (rys. 2) od powierzchni modernizowanej przegrody (A_{sc}):

$$\Delta Q = \alpha_1 A_{sc} + \beta_1, \text{ gdzie } \alpha_1 = 0,1839, \beta_1 = 4,0477$$



Rys. 2 Zależność oszczędności ciepła dla termomodernizacji ścian zewnętrznych od ich powierzchni

Trzeba zauważyć, że współczynnik α_1 będzie zależał m.in. od różnicy współczynnika przenikania ciepła ściany przed i po dociepleniu (U_0 i U_1), zależnej od grubości warstwy styropianu. W ogólnym przypadku:

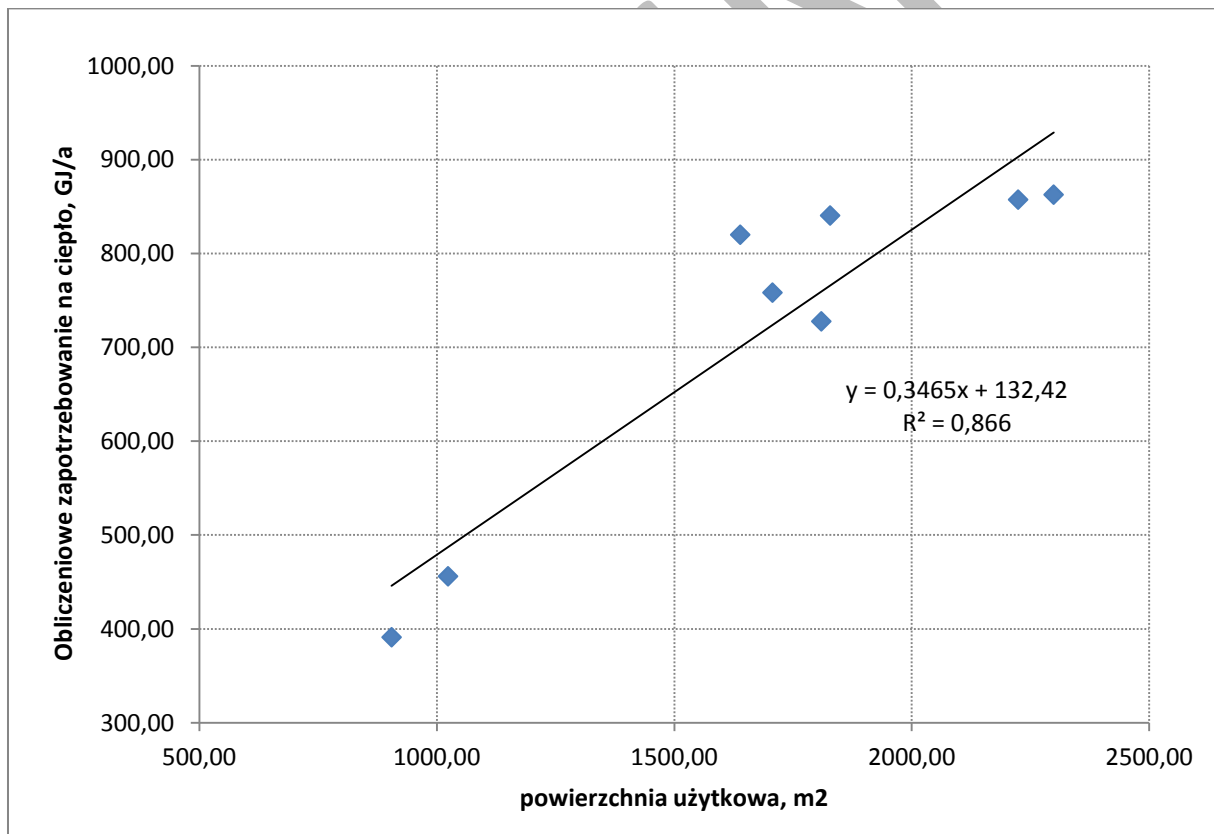
$$\alpha_1 = 0,1839 \cdot (U_0 - U_1) / (0,621 - 0,187) = 0,4237 \cdot (U_0 - U_1) \quad (3)$$

gdzie $0,621 \text{ W/m}^2\text{K}$ i $0,187 \text{ W/m}^2\text{K}$ - średnie współczynniki przenikania ciepła dla ścian systemu OWT 67N przed i po dociepleniu 14 cm styropianu EPS 040 Fasada, wynikię z wykonanych audytów energetycznych.

Okazuje się, że zależność obliczeniowego sezonowego zapotrzebowania na ciepło przed termomodernizacją ($Q_{obl,0}$) w funkcji powierzchni użytkowej dla badanego zespołu obiektów jest również liniowa (rys 3):

$$Q_{obl,0} = \alpha_2 \cdot A_u + \beta_2, \text{ gdzie}$$

$$\alpha_2 = 0,3465, \beta_2 = 132,42 \text{ a współczynnik determinacji } R^2 = 0,866$$



Rys. 3 Zależność obliczeniowego zapotrzebowania ciepła od powierzchni użytkowej budynków

Zastanówmy się od czego zależą wartości parametrów interpolacyjnych. Przy ustalonej powierzchni użytkowej i ustalonych jednostkowych wewnętrznych zyskach ciepła będą one wykazywały te same zależności, co $Q_{obl,0}$. Największy wpływ na wartość $Q_{obl,0}$ ma

strumień powietrza wentylacyjnego, który w przypadku mieszkań jest sumą strumieni dla kuchni ($70 \text{ m}^3/\text{h}$), łazienki ($50 \text{ m}^3/\text{h}$) i oddzielnych WC ($30 \text{ m}^3/\text{h}$) [8]. Dla rozważanych budynków w audytach energetycznych obliczenia wykonywano dla połowy mieszkań z oddzielnym WC.

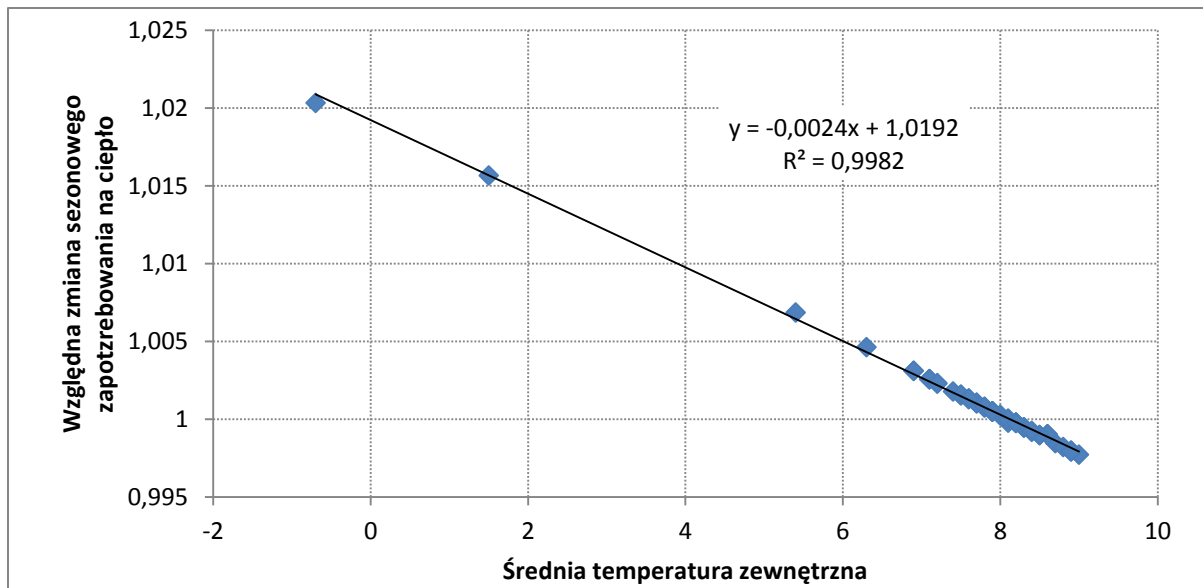
Z przeprowadzonych na potrzeby niniejszej pracy symulacji wynika, że dla mieszkań z oddzielnym WC $Q_{\text{obl},0}$ rośnie średnio o 10,15%, zaś dla wszystkich mieszkań z WC w łazience maleje o 9,95% w stosunku do przypadku 50% mieszkań z oddzielnym WC. Aproksymacja danych dla różnej liczby mieszkań z WC w łazience daje zależność na względną zmianę $Q_{\text{obl},0}$ jako $y = 0,002x + 0,9039$, gdzie x -procentowy udział mieszkań z WC w łazience. Drugim ważnym czynnikiem wpływającym na $Q_{\text{obl},0}$ jest stacja meteorologiczna dla której wykonano obliczenia. Zgodnie bowiem z normą PN-EN ISO 13790 [6] ciepło tracone w danym okresie jest proporcjonalne do iloczynu różnicy temperatury obliczeniowej wewnętrznej i średniej temperatura zewnętrznej w okresie obliczeniowym pomnożonej przez długość okresu obliczeniowego:

$$Q_L = H (\Theta_i - \Theta_{e,\text{sr}})t$$

- Θ_i – temperatura obliczeniowa wewnętrzna
- $\Theta_{e,\text{sr}}$ – średnia temperatura zewnętrzna w okresie obliczeniowym
- t – długość okresu obliczeniowego
- H – współczynnik strat ciepła budynku

W związku z tym, że długość okresu obliczeniowego jest jednoznacznie zdeterminowana przez $\Theta_{e,\text{sr}}$, obliczeniowe sezonowe zapotrzebowanie na ciepło będzie wykazywać zależność od średniej temperatury zewnętrznej w okresie obliczeniowym. Zależność tą wyznaczono dla reprezentatywnego budynku Gombrowicza 13, umieszczając go kolejno w stacjach meteorologicznych, analogicznie jak opisano to w artykule [9]. Wyboru budynku dokonano sugerując się najmniejszym odstępstwem od krzywej interpolacyjnej $Q_{\text{obl},0} = f(A_u)$.

Rozważana zależność interpolacyjna względnej zmiany sezonowego zapotrzebowania ciepła w funkcji średniej temperatury zewnętrznej (liczona względem stacji meteorologicznej Lesko, odpowiadającej rzeczywistej lokalizacji budynku) ma charakter liniowy $y = - 0,0024\Theta_{e,\text{sr}} + 1,0192$ przy $R^2 = 0,9982$.



Rys. 4 Zależność względna zmiana obliczeniowego zapotrzebowania ciepła w funkcji średniorocznej temperatury zewnętrznej

Trzeci i najważniejszy parametr wpływający na obliczeniowe sezonowe zapotrzebowanie na ciepło przed termomodernizacją to współczynnik przenikania ciepła dla ścian. Dla rozważanych budynków wynosił on $0,621 \text{ W/m}^2\text{K}$. Zgodnie z teorią ilość traconego ciepła jest proporcjonalna do współczynnika przenikania ciepła, stąd dla dowolnej wartości współczynnika przenikania ściany przed dociepleniem względna zmiana $Q_{obl,0}$ spowodowana zmianą wartości U_0 wyniesie $U_0/0,621$. Łącząc wszystkie rozważane przypadki dochodzimy do następującej zależności na zmianę wartości parametrów interpolacyjnych α_2 i β_2 :

$$\alpha_2(x, \Theta_{e,sr}, U_0) = 0,5580 U_0 (0,002x + 0,9039)(-0,0024\Theta_{e,sr} + 1,0192),$$

$$\beta_2(x, \Theta_{e,sr}, U_0) = 213,237 U_0 (0,002x + 0,9039)(-0,0024\Theta_{e,sr} + 1,0192) = 382,145 \alpha_2,$$

gdzie x - procent mieszkań z oddzielnym WC, $\Theta_{e,sr}$ - średnia temperatura zewnętrzna, U_0 - współczynnik przenikania ściany przed termomodernizacją.

Pozostaje jeszcze wyznaczenie q_{obl} . Dla analizowanych obiektów zależy ono liniowo od Q_{obl} jak na rys 5. Analitycznie zapisujemy to jako

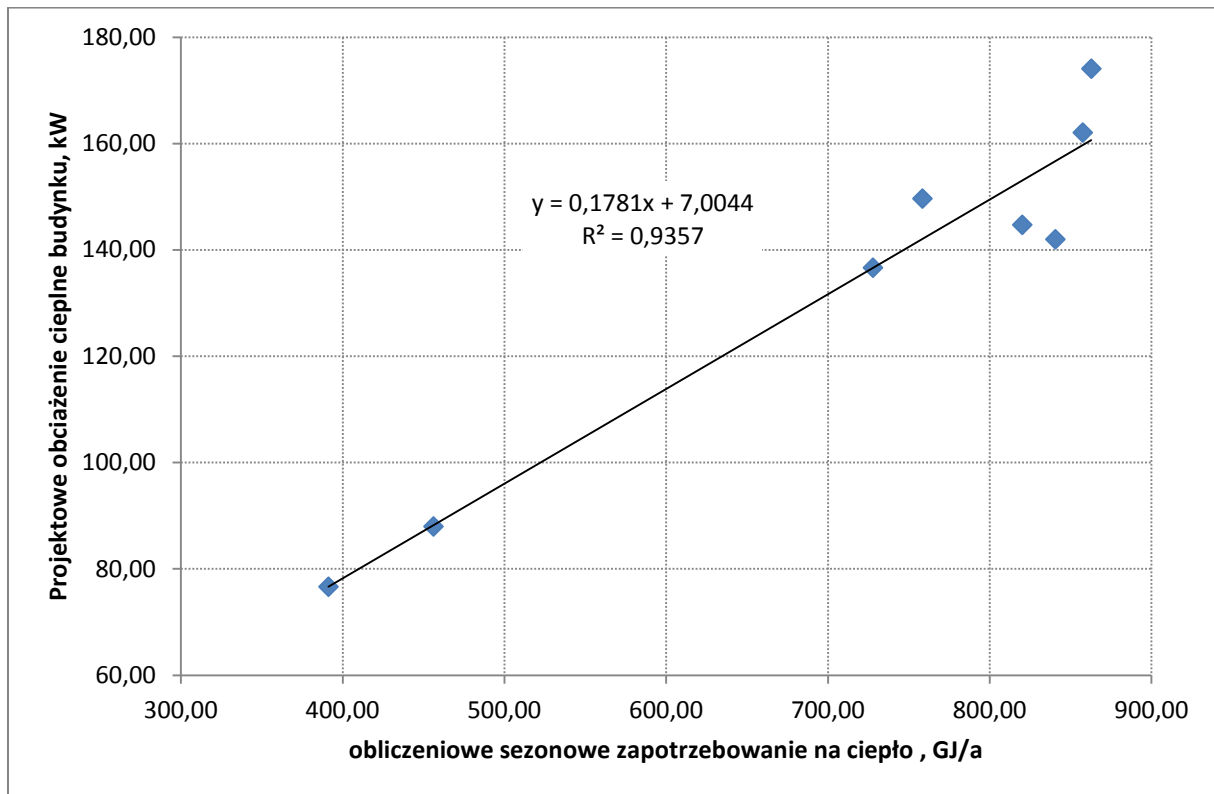
$$q_{obl} = \alpha_3 * Q_{obl} + \beta_3, \text{ gdzie } \alpha_3 = 0,1781, \beta_3 = 7,0044, (R^2 = 0,9357)$$

Należy zwrócić uwagę, iż zgodnie z PN EN 12831 projektowa strata ciepła (zarówno całkowita, jak i przez przenikanie oraz wentylacyjna) jest proporcjonalna różnicy temperatury obliczeniowej wewnętrznej i zewnętrznej. W przypadku rozpatrywanych obiektów średnia obliczeniowa temperatura wewnętrzna wyniosła $\Theta_{i,sr} = 19,02^\circ\text{C}$ zaś obliczeniowa temperatura zewnętrzna $\Theta_e = -22^\circ\text{C}$. Stąd dla dowolnej średniej obliczeniowej temperatury wewnętrznej

$\Theta_{i, sr}$ i obliczeniowej temperatury zewnętrznej Θ_e (wynikłej ze strefy klimatycznej) otrzymamy:

$$\alpha_3 = 0,1781 * (\Theta_{i, sr} - \Theta_e) / (19,02 + 22) = 0,004342 * (\Theta_{i, sr} - \Theta_e)$$

$$\beta_3 = 7,0044 * (\Theta_{i, sr} - \Theta_e) / (19,02 + 22) = 0,17075 * (\Theta_{i, sr} - \Theta_e) = 39,328 \alpha_3$$



Rys. 5 Zależność projektowego obciążenia cieplnego od obliczeniowego zapotrzebowania ciepła dla rozważanych budynków

Wnioski

Podane formuły jakkolwiek bardzo przybliżone pozwalają na szybkie oszacowanie podstawowych efektów termomodernizacji w postaci zmniejszenia zapotrzebowania ciepła i projektowego obciążenia cieplnego budynku przy realizacji wariantu docieplenia ścian zewnętrznych. Znajomość tych wartości pozwoli potencjalnemu inwestorowi na oszacowanie zmniejszenia kosztów ogrzewania oraz wielkości ewentualnej premii termomodernizacyjnej, przy założeniu znajomości szacowanych kosztów inwestycji.

- [1] Wiszniewski A., Oszacowanie efektów energetycznych i ograniczenia emisji w wyniku realizacji projektów dofinansowanych z Funduszu Termomodernizacji, *Energia i Budynek* N09(52), 2011, 22-25
- [2] Ustawa z dnia 21 listopada 2008 r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów, Dz.U.2008.223.1459 z dnia 18 grudnia 2008 r
- [3] Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego, Dz.U.09.43.346, dnia 18 marca 2009 r.
- [4] www.zae.org.pl
- [5] PN-EN 12831:2006 Instalacje ogrzewcze w budynkach -- Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego, data publikacji: 2006-06-27
- [6] PN-EN ISO 13790 Ciepłne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zapotrzebowania na energię do ogrzania i chłodzenia
- [7] Lis P., Zgodność teoretycznych i rzeczywistych warunków ogrzewania budynków edukacyjnych, *Energia i Budynek* N11(54), 2011, 44-48
- [8] PN-83/B-03430 Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania, z późniejszymi zmianami PN-83/B-03430/Az3:2000
- [9] Potera P., Wpływ lokalizacji obiektu na wskaźnik EP świadectwa charakterystyki energetycznej budynku, *Energia i Budynek* N04(47), 2011, 46-48