

AUDYT ENERGETYCZNY BUDYNKU

ul. Polna 87 a

26 - 670 PIONKI

Zamawiający: Gmina Miasta Pionki
Al. Jana Pawła II 15
26 - 670 Pionki

Termin zakończenia pracy: październik 2017 roku

1. Strona tytułowa audytu energetycznego budynku

1. Dane identyfikacyjne budynku				
1.1 Rodzaj budynku	Obiekt szkoleniowo - konferencyjny		1.2 Rok budowy	lata 30-te ubiegłego wieku
1.3 Inwestor (nazwa lub imię i nazwisko, adres do korespondencji)	Gmina Miasta Pionki		ul. Polna	nr bud. 87 A
	Al. Jana Pawła II	nr 15	1.4 Adres budynku	kod 26-670 miejscowość Pionki
	kod 26-670	miejscowość Pionki		powiat radomski
	tel. -	fax -		województwo mazowieckie
2. Nazwa, adres i numer REGON firmy wykonującej audyt: "ELEKO" Franciszek Radomyski 05-230 Kobyłka, ul. Nadarzyn 2a; REGON 010492283.....				
3. Imię i nazwisko adres audytora koordynującego wykonanie audytu, posiadane kwalifikacje, podpis: mgr inż. Barbara Kosowska				
4. Współautorzy audytu: imiona, nazwiska, zakresy prac, posiadane kwalifikacje				
Lp.	Imię i nazwisko	Zakres udziału w opracowaniu audytu energetycznego	Posiadane kwalifikacje (w tym ew. uprawnienia)	
1.	mgr inż. Barbara Kosowska	Opracowanie kompleksowe: - zapotrzebowanie na ciepło - warianty termomodernizacji - analiza ekonomiczna	Kurs audytorów energetycznych FPE	
5. Miejscowość Kobyłka data wykonania opracowania: Październik 2017				
6. Spis treści				
1. Strona tytułowa audytu energetycznego budynku 1				
2. Karta audytu energetycznego budynku 2				
3. Podstawa opracowania 4				
3.1 Cel i zakres opracowania 4				
3.2 Materiały wykorzystane w opracowaniu 4				
3.3 Wytyczne, sugestie, ograniczenia i uwagi Inwestora (Zleceniodawcy) 5				
4. Inwentaryzacja techniczno-budowlana budynku 6				
5. Ocena stanu technicznego budynku 7				
5.1 Ocena stanu technicznego i izolacyjności cieplnej budynku 7				
5.2 Ocena stanu technicznego i rozwiązań systemu ogrzewania 8				
5.3 Ocena stanu technicznego i rozwiązań instalacji c.w.u. 8				
5.4 Ocena stanu technicznego i rozwiązań systemu wentylacji 8				
6. Usprawnienia i przedsięwzięcia termomodernizacyjne, wybrane na podstawie oceny stanu technicznego. 8				
7. Określenie optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego 9				
7.1 Wskazanie rodzajów usprawnień termomodernizacyjnych dotyczących zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło 9				
7.2 Usprawnienia mające na celu zmniejszenie strat przez przegrody zewnętrzne. 9				
7.3 Usprawnienia mające na celu zmniejszenie strat przez okna lub drzwi oraz poprawie systemu wentylacji. 16				
7.4 Wybrane i zoptymalizowane usprawnienia termomodernizacyjne. 20				
7.5 Zestawienie wariantów termomodernizacji budynku. 20				
7.6 Metoda wyznaczania optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego poprawiającego sprawność systemu grzewczego. 22				
8. Metoda wyboru optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego 24				
9. Opis techniczny optymalnego przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, przewidzianego do realizacji. 28				
10. Podsumowanie przedsięwzięć termomodernizacyjnych 30				
ZAŁĄCZNIKI 31				
Z-1 Ceny jednostkowe ciepła 31				
Z-2 Współczynnik przenikania ciepła przed termomodernizacją 32				
Z-3 Współczynnik przenikania ciepła po termomodernizacji 33				
Z-4 Współczynnik strat ciepła przez wentylację 34				
Z-5 Strumień objętości powietrza wentylacyjnego 34				
Z-6 Projektowana strata ciepła 35				
Z-7 Roczne zapotrzebowanie na energię dla stanu obecnego wg PN-EN-ISO 13 790; 2009 36				
Z-8 Roczne zapotrzebowanie na energię dla wariantu optymalnego wg PN-EN-ISO 13 790; 2009 37				
Z-9 Sprawności systemu grzewczego 38				
Z-10 Ciepła woda użytkowa 39				
Z-11 Obliczenie efektywności energetycznej 40				
Z-12 Obliczenie efektu ekologicznego 41				

2. Karta audytu energetycznego budynku

1. Dane ogólne		Stan przed termomodernizacją	Stan po termomodernizacji
1.	Konstrukcja/technologia budynku	Tradycyjna	Tradycyjna
2.	Liczba kondygnacji	1	1
3.	Kubatura części ogrzewanej [m ³]	651	651
4.	Powierzchnia netto budynku [m ²]	111,67	111,67
5.	Powierzchnia ogrzewana części mieszkalnej [m ²]	45,97	45,97
6.	Pow. ogrzewana lokali użytkowych oraz innych pomieszczeń niemieszkalnych [m ²]	65,70	65,70
7.	Liczba lokali mieszkalnych	0	0
8.	Liczba osób użytkujących budynek	5	5
9.	Sposób przygotowania ciepłej wody użytkowej	podgrzewacze elektryczne	podgrzewacze elektryczne
10.	Rodzaj systemu grzewczego budynku	ogrzewanie elektryczne	ogrzewanie elektryczne
11.	Współczynnik kształtu A/V [1/m]	0,903	0,903
12.	Inne dane charakteryzujące budynek	-	-
2. Współczynniki przenikania ciepła [W/(m²K)]			
1	Ściany zewnętrzne	1,457	0,194
2	Dach /stropodach/ strop pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami	1,285	0,148
3	Strop nad piwnicą	-	-
4	Podłoga na gruncie w pomieszczeniach ogrzewanych	0,450	0,450
5	Okna, drzwi balkonowe	3,120	0,900
6	Drzwi zewnętrzne/bramy	2,750	1,300
7	Inne	-	-
3. Sprawności składowe systemu grzewczego i współczynniki uwzględniające przerwy w ogrzewaniu			
1.	Sprawność wytwarzania [-]	0,99	3,50
2.	Sprawność przesyłu [-]	1,00	0,96
3.	Sprawność regulacji i wykorzystania [-]	0,91	0,88
4.	Sprawność akumulacji [-]	1,00	1,00
5.	Uwzględnienie przerw na ogrzewanie w okresie tygodnia [-]	1,00	1,00
6.	Uwzględnienie przerw na ogrzewanie w ciągu doby [-]	1,00	1,00

4. Sprawności składowe systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej						
1.	Sprawność wytwarzania	[-]	0,96	0,96		
2.	Sprawność przesyłu	[-]	1,00	1,00		
3.	Sprawność regulacji i wykorzystania	[-]	1,00	1,00		
4.	Sprawność akumulacji	[-]	1,00	1,00		
5. Charakterystyka systemu wentylacji						
1.	Rodzaj wentylacji (naturalna, mechaniczna, inna)		naturalna	naturalna		
2.	Sposób doprowadzenia i odprowadzenia powietrza		okna /kanały	okna /kanały		
3.	Strumień powietrza zewnętrznego	[m³/h]	252	252		
4.	Krotność wymian powietrza	[1/h]	0,51	0,51		
6. Charakterystyka energetyczna budynku						
1.	Obliczeniowa moc cieplna systemu grzewczego	[kW]	35,25	9,67		
2.	Obliczeniowa moc cieplna potrzebna do przygotowanie ciepłej wody użytkowej	[kW]	4,77	4,77		
3.	Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględniania sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)	[GJ/rok]	260,59	51,05		
4.	Roczne obliczeniowe zużycie energii do ogrzewania budynku (z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)	[GJ/rok]	289,26	17,27		
5.	Roczne obliczeniowe zużycie energii do przygotowanie ciepłej wody użytkowej	[GJ/rok]	9,61	9,61		
6.	Zmierzone zużycie ciepła na ogrzewanie przeliczone na warunki sezonu standardowego (służące weryfikacji przyjętych składowych danych obliczeniowych bilansu ciepła)	[GJ/rok]	-	-		
7.	Zmierzone zużycie ciepła na przygotowanie ciepłej wody użytkowej (służące weryfikacji przyjętych składowych danych obliczeniowych bilansu ciepła)	[GJ/rok]	-	-		
8.	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględniania sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)	[kWh/(m²rok)]	648,21	126,99		
9.	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)	[kWh/(m²rok)]	719,53	42,96		
10.	Udział odnawialnych źródeł energii	[%]	-	-		
7. Opłaty jednostkowe (obowiązujące w dniu sporządzania audytu)						
1.	Koszt za 1 GJ ciepła do ogrzewania budynku	[zł/GJ]	173,97	173,97		
2.	Koszt 1 MW mocy zamówionej na ogrzewanie na miesiąc	[zł/(MW m-c)]	-	-		
3.	Koszt przygotowania 1 m³ ciepłej wody użytkowej	[zł/m³]	18,32	18,32		
4.	Koszt 1 MW mocy zamówionej na przygotowanie ciepłej wody użytkowej na miesiąc	[zł/(MW m-c)]	-	-		
5.	Miesięczny koszt ogrzewania 1 m² powierzchni użytkowej	[zł/(m² m-c)]	37,55	2,24		
6.	Miesięczna opłata abonamentowa	[zł/m-c]	-	-		
7.	Inne	[zł]	-	-		
8. Charakterystyka ekonomiczna optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego						
Planowana kwota kredytu ¹⁾		[zł]	254 659,71	Roczne zmniejszenie zapotrzebowania na energię	[%]	91,01
Planowane koszty całkowite ²⁾		[zł]	254 659,71	Premia termomodernizacyjna	[zł]	40 745,55
Roczna oszczędność kosztów energii		[zł/rok]	47 318,10			

¹⁾ W przypadku ubiegania się o premię termomodernizacyjną.

²⁾ Podane koszty są kosztami szacunkowymi

3. Podstawa opracowania.

3.1 Cel i zakres opracowania.

Celem opracowania jest wybór optymalnego wariantu termomodernizacji budynku przy ul. Polnej 87A w Pionkach i sprawdzenie, czy spełnione są wymagania ustawy o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych, konieczne do przyznania premii termomodernizacyjnej.

3.2 Materiały wykorzystane w opracowaniu.

1. Ustawa z dnia 21.11.2008 r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów - (Dz. U. Nr 223, poz. 1459),
2. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17.03.2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termo modernizacyjnego (Dz. U. Nr 43, poz. 346).
3. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 3.09.2015 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego (Dz. U. 2015, poz. 1606).
4. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75, poz. 690, z późniejszymi zmianami).
5. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz. U. 2015, poz. 376).
6. Polska Norma PN-EN-ISO 6946; 2008 „Elementy budowlane i części budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metody obliczeń”.
7. Polska Norma PN-EN-ISO 13 790; 2009; „Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii do ogrzewania i chłodzenia”.
8. Polska Norma PN-EN-ISO 12831; 2006, „Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowanego obciążenia cieplnego.
9. Ministerstwo Infrastruktury - Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków

10. Polska Norma PN-EN-ISO 14683; „Mostki cieplne w budynkach – Liniowy współczynnik przenikania ciepła – Metody uproszczone i wartości orientacyjne”.
11. Normy związane
12. Instrukcja Instytutu Techniki Budowlanej Nr 334/2002 „Bezspoinowy system ocieplenia ścian zewnętrznych budynków”, Warszawa 2002.
13. Pogorzelski J.A. „Fizyka budowli – część X – Wartości obliczeniowe właściwości fizycznych” „Materiały budowlane” nr 3/2005
14. Inwentaryzacja techniczna budynku.
15. Wizje lokalne i wywiady z właścicielami i administratorem budynku.
16. Program komputerowy AUDYT wersja 6.1.
17. Oferty dostawców materiałów i urządzeń.

3.3 Wytyczne, sugestie, ograniczenia i uwagi Inwestora (Zlecniodawcy) .

1. Maksymalne obniżenie kosztów ponoszonych na ogrzewanie budynku.
2. Maksymalne wykorzystanie kredytu bankowego i pomocy Państwa na warunkach określonych w Ustawie termomodernizacyjnej.

4. Inwentaryzacja techniczno-budowlana budynku

4.1 Dane identyfikujące budynek			
Rodzaj budynku	Budynek konferencyjno - szkoleniowy	Rok budowy	Lata 30 - te ubiegłego wieku
Adres budynku	ul. Polna 87A, 26-670 Pionki	Właściciel	Gmina Miasta Pionki, Al. Jana Pawła II 15 26-670 Pionki
4.2 Dane techniczne ogólne			
Konstrukcje, technologia (system)	Tradycyjna		
Liczba kondygnacji	podziemnych	nadziemnych	
	0	1	
Rodzaj dachu	Dach kryty blachą		
Kubatura	części ogrzewanej	część nieogrzewana	
	651	-	
Powierzchnia	części ogrzewanej	część nieogrzewana	
	112	-	
Współczynnik kształtu	0,903		
Wysokość kondygnacji	nadziemnych	podziemnych	
	2,95	-	
Liczba pomieszczeń	-		
Liczba osób użytkująca budynek	czasowa	stała	
	5	-	
Czas użytkowania budynku	dni tygodnia	godziny	
	5	10	
4.3 Zestawienie danych dotyczących przegród budowlanych			
Przegroda	Położenie	Pow. netto	U
		[m²]	[W/m²K]
Strop poddasza		60,00	1,285
Dach		89,00	3,375
Ściana zewnętrzna [SZ-1]		268,00	1,457
Okna	S	9,96	2,860
	SW	0,00	2,860
	W	1,94	2,860
	NW	0,00	2,860
	N	11,23	2,860
	NE	0,00	2,860
	E	3,88	2,860
	SE	0,00	2,860
Drzwi wejściowe stare		8,31	5,610
Podłoga na gruncie sala gimnastyczna		317,37	0,294

5. Ocena stanu technicznego budynku

5.1 Ocena stanu technicznego i izolacyjności cieplnej budynku.

W opracowaniu analizie poddano budynek zlokalizowany przy ul. Polnej 87A w Pionkach. Budynek został wybudowany w latach 30 - tych ubiegłego wieku w technologii tradycyjnej. Obiekt składa się z dwóch budynków o odmiennej funkcji połączonych ze sobą w jedną bryłę. Obecnie jedna część budynku jest budynkiem mieszkalnym, natomiast druga budynkiem przemysłowym. Po przeprowadzonej termomodernizacji obiekt zostanie zaadaptowany na obiekt konferencyjno - szkoleniowy z bazą noclegową w formie hostelu. Ściany zewnętrzne wykonane z cegły pełnej grubości 36 cm, nieocieplone. Nad budynkiem mieszkalnym znajduje się nieużytkowe poddasze. Strop poddasza nieocieplony. Nad budynkiem przemysłowym zastosowano dach konstrukcji wieszarowej, nieocieplony. Ogólny stan techniczny budynku pod względem konstrukcyjnym jest dobry. Stan przegród zewnętrznych jest również dobry. Zastrzeżenia budzi izolacyjność termiczna przegród zewnętrznych.

Zgodnie z Warunkami Technicznymi 2021 maksymalna wartość współczynnika przenikania ciepła U dla przegród nieprzezroczystych powinna wynosić

- | | |
|---------------------------------------|----------------------------|
| - dla dachów, stropodachów | - 0,15 W/m ² K, |
| - dla ścian zewnętrznych | - 0,20 W/m ² K, |
| - dla stropu nad nieogrzewaną piwnicą | - 0,25 W/m ² K, |
| - dla podłogi na gruncie | - 0,30 W/m ² K. |

Współczynniki przenikania ciepła przegród zewnętrznych analizowanego budynku wynoszą:

- | | |
|------------------------|------------------------------------|
| - dach, strop poddasza | - 1,285; 3,375 W/m ² K, |
| - ściany zewnętrzne | - 1,457 W/m ² K, |
| - podłoga na gruncie | - 0,450 W/m ² K |

są więc wyższe od wymaganych i przegrody te powinny zostać ocieplone. Ze względów technicznych nie ma możliwości wykonania poziomej izolacji podłogi na gruncie.

Zgodnie z Warunkami Technicznymi 2021 maksymalna wartość współczynnika przenikania ciepła U dla przegród przezroczystych powinna wynosić:

- | | |
|---------|--------------------------|
| - okna | - 0,9 W/m ² K |
| - drzwi | - 1,3 W/m ² K |

W budynku zastosowano stolarkę okienną drewnianą o współczynniku przenikania ciepła równym 2,86 W/m²K, która jest w złym stanie technicznym, w związku z tym dalszej części opracowania zostanie przeanalizowana jej wymiana.

W budynku zastosowano stolarkę drzwiową o współczynniku przenikania ciepła $2,75 \text{ W/m}^2\text{K}$ w złym stanie technicznym, w związku z tym w dalszej części opracowania zostanie przeanalizowana jej wymiana.

5.2 Ocena stanu technicznego i rozwiązań systemu ogrzewania.

Źródłem ciepła dla budynku są grzejniki bezpośrednie ustawione w poszczególnych pomieszczeniach. Ze względu na wysokie koszty ogrzewania w opracowaniu zostanie przeanalizowana wymiana ogrzewania elektrycznego na dwururowe ogrzewanie wodne, pompowe z rozdziałem dolnym zasilane z gruntowej pompy ciepła. Elementami grzejnym będą grzejniki płytowe z zaworami z głowicami termostatycznymi.

5.3 Ocena stanu technicznego i rozwiązań instalacji c.w.u.

Ciepła woda użytkowa pozyskiwana jest bezpośrednio przy punktach poboru z elektrycznego podgrzewacza pojemnościowego, który jest w złym stanie technicznym. W związku z tym w dalszej części opracowania uwzględniono koszty wymiany źródła ciepła na potrzeby c.w.u.

5.4 Ocena stanu technicznego i rozwiązań systemu wentylacji.

W budynku zastosowano wentylację grawitacyjną w dobrym stanie technicznym.

6. Usprawnienia i przedsięwzięcia termomodernizacyjne, wybrane na podstawie oceny stanu technicznego.

Zmniejszenie zużycia energii cieplnej w rozpatrywanym obiekcie można osiągnąć wykonując następujące przedsięwzięcia:

- ocieplenie stropu poddasza,
- ocieplenie dachu,
- ocieplenie ścian zewnętrznych,
- wymianę okien,
- wymianę drzwi,
- modernizację źródeł ciepła (zainstalowanie gruntowej pompy ciepła wraz z orurowaniem, automatyką, itp. dla instalacji c.o. oraz montaż elektrycznych podgrzewaczy pojemnościowych dla instalacji c.w.u.),
- montaż dwururowej instalacji centralnego ogrzewania, nowych grzejników oraz zaworów z głowicami termostatycznymi.

7.Określenie optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego

Poniżej dokonano wstępnej optymalizacji usprawnień termomodernizacyjnych mających na celu zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło rozpatrywanego budynku poprzez zmniejszenie strat przez przenikanie, wentylację i przygotowanie ciepłej wody użytkowej.

7.1 Wskazanie rodzajów usprawnień termomodernizacyjnych dotyczących zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło

Lp.	Grupa usprawnień	Rodzaje usprawnień
1	2	3
1	Usprawnienie dotyczące zmniejszenia strat przez przenikanie przez przegrody budowlane oraz na ogrzanie powietrza wentylacyjnego	Ocieplenie stropu poddasza. Ocieplenie dachu. Ocieplenie ścian zewnętrznych [SZ-1]. Wymiana okien. Wymiana drzwi.
2	Usprawnienia dotyczące zmniejszenia strat przez system centralnego ogrzewania oraz ciepłej wody użytkowej	Zmiana źródła ciepła z elektrycznego na pompę ciepła. Montaż podgrzewaczy dla c.w.u. Montaż instalacji c.o. Montaż grzejników. Montaż zaworów z głowicami termostatycznymi

7.2 Usprawnienia mające na celu zmniejszenie strat przez przegrody zewnętrzne.

Optymalne usprawnienia prowadzące do zmniejszenia strat ciepła przez ściany, stropy i stropodachy są to takie usprawnienia, dla których prosty czas zwrotu SPBT przyjmuje wartość minimalną. Dla wyznaczenia optymalnego usprawnienia przegrody skorzystano z zależności określonej wzorem:

$$SPBT = \frac{N_u}{\sum_n \Delta O_{rU}}, [\text{lata}] \quad (1)$$

gdzie:

- N_u - planowane koszty robót związanych ze zmniejszeniem strat ciepła przez przenikanie dla całkowitej powierzchni wybranej przegrody, zł,
- ΔO_{rU} - roczna oszczędność kosztów energii wynikająca z zastosowania ulepszenia termomodernizacyjnego, przypadająca na poszczególne lata z n wykorzystywanych źródeł energii, zł/rok.

Wartość rocznej oszczędności kosztów energii ΔO_{rU} dla n -tego źródła oblicza się wg. wzoru:

$$\Delta O_{rU} = (x_0 * Q_{Ou} * O_{0z} - x_1 * Q_{1u} * O_{1z}) + 12 * (y_0 * q_{0u} * O_{0m} - y_1 * q_{1u} * O_{1m}) + 12 * (Ab_0 - Ab_1), [\text{zł/rok}] \quad (2)$$

gdzie:

x_0, x_1 - udział n -tego źródła w zapotrzebowaniu ciepła przed i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego,

Q_{0z}, Q_{1z} - roczne zapotrzebowanie ciepła na pokrycie strat przez przenikanie przed i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego, GJ/rok,

O_{0z}, O_{1z} - opłata związana z dystrybucją i przesyłem energii wykorzystywanej do ogrzewania przed i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego dla n -tego źródła, odpowiadająca:

dla ogrzewania zdalaczynnego - opłacie za ciepło i zmiennej opłacie za usługi przesyłowe, zł/GJ,

dla energii elektrycznej - sumie stawek za energię czynną, systemową opłatę przesyłową i zmienny składnik stawki sieciowej przeliczonej na zł/GJ,

dla gazu - stawce opłaty zmiennej na przesłane paliwo zł/m^3 przeliczonej na zł/GJ,

dla własnego źródła zasilanego dowolnym paliwem - stawce opłaty zmiennej określonej wg kalkulacji kosztów rodzajowych przeliczonej na zł/GJ,

y_0, y_1 - udział n -tego źródła w zapotrzebowaniu na moc cieplną przed i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego,

q_{0u}, q_{1u} - zapotrzebowanie na moc cieplną na pokrycie strat przez przenikanie przed i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego, MW,

O_{0m}, O_{1m} - opłata miesięczna związana z dystrybucją i przesyłem energii wykorzystywanej do ogrzewania przed i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego dla n -tego źródła, odpowiadająca:

dla ogrzewania zdalaczynnego - opłacie za zamówioną moc cieplną i opłacie stałej za usługi przesyłowe, zł/(MW*miesiąc),

dla gazu - składnikowi stałemu wyznaczonemu na jednostkę mocy umownej w miesięcznym okresie rozliczeniowym przeliczonemu na zł/(MW*miesiąc),

dla energii elektrycznej - składnikowi stałemu stawki sieciowej zł/(kW*miesiąc), przeliczonemu na zł/(MW*miesiąc),

dla własnego źródła zasilanego dowolnym paliwem - składnikowi miesięcznych kosztów stałych, określonych zgodnie z kalkulacją kosztów rodzajowych, odniesionych do mocy źródła, zł/(MW*miesiąc),

Ab_0, Ab_1 - miesięczna opłata abonamentowa przed i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego, zł.

Wartości rocznego zapotrzebowania na ciepło na pokrycie strat przez przenikanie ciepła Q_{0u} , Q_{1u} , oblicza się ze wzoru:

$$Q_{0u}, Q_{1u} = 8,64 \cdot 10^{-5} \cdot S_d \cdot A \cdot U_c, \quad [\text{GJ/rok}] \quad (3)$$

gdzie:

- U_c - wartość współczynnika przenikania ciepła przegrody budowlanej przed i po termomodernizacji, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, przy czym maksymalna wartość współczynnika przenikania ciepła po termomodernizacji jest przyjmowana zgodnie z przepisami techniczno-budowlanymi,
- A - powierzchnia całkowita izolowanej przegrody przed i po termomodernizacji, m^2 ,
- S_d - liczba stopniodni, obliczona zgodnie ze wzorem (4), $\text{dzień} \cdot \text{K/rok}$,

Liczbę stopniodni S_d oblicza się ze wzoru:

$$S_d = \sum_{m=1}^{L_g} [t_{wo} - t_e(m)] L_d(m), \quad [\text{dzień} \cdot \text{K/rok}] \quad (4)$$

gdzie:

- t_{wo} - temperatura obliczeniowa wewnętrzna w ogrzewanych pomieszczeniach, określona zgodnie z przepisami techniczno-budowlanymi, $^{\circ}\text{C}$,
- $t_e(m)$ - średnia wieloletnia temperatura miesiąca m , przyjęta zgodnie z danymi klimatycznymi dla danej lokalizacji, a w przypadku stropów nad nieogrzewanymi piwnicami lub pod nieogrzewanymi poddaszami - temperatura wynikająca z obliczeń bilansu cieplnego budynku, $^{\circ}\text{C}$,
- $L_d(m)$ - liczba dni ogrzewania w miesiącu m , podana w tabeli 1 lub przyjęta zgodnie z danymi klimatycznymi i charakterystyką budynku dla danej lokalizacji,
- L_g - liczba miesięcy ogrzewania w ciągu roku.

Wartości zapotrzebowania na moc cieplną na pokrycie strat przez przenikanie q_{0u} , q_{1u} przed i po wykonaniu ulepszenia termomodernizacyjnego oblicza się ze wzoru:

$$q_{0u}, q_{1u} = 10^{-6} \cdot A \cdot (t_{wo} - t_{zo}) \cdot U_c, \quad [\text{MW}] \quad (5)$$

gdzie:

- t_{wo} - jak we wzorze (4),
- t_{zo} - obliczeniowa temperatura powietrza zewnętrznego dla danej strefy klimatycznej, określona zgodnie z Polską Normą dotyczącą temperatur obliczeniowych zewnętrznych, $^{\circ}\text{C}$

A - jak we wzorze (3),

U_c - jak we wzorze (3),

UWAGA: Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego przyjęto zgodnie z Ministerstwo Infrastruktury - Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków - dla miasta Lublin:

Miesiąc	I	II	III	IV	V	IX	X	XI	XII
$T_e(m)$	-2,6	-1,8	2,7	8,3	13,0	13,5	7,0	2,2	-0,1
Ld(m)	31	28	31	30	5	5	31	30	31
Obliczeniowa temperatura zewnętrzna, $T_{emin} = - 20,0^{\circ}C$									

Optymalizację grubości ocieplenia przegród zestawiono w tabelach poniżej:

Usprawnienia dotyczące stropu poddasza

Rozpatruje się ocieplenie stropu poddasza wełną mineralną o optymalnej grubości

Pow. obliczeniowa = 60,0 [m²] R₀ = 0,778 [(m²*K)/W]

Pow. ocieplenia = ok. 60 [m²]

Materiał: wełna mineralna

U₀ = 1,285 [W/(m²*K)]

λ = 0,040 [W/(m*K)]

Cena Nu zawiera całkowity koszt wszystkich prac remontowych z podatkiem VAT, ceny rynkowe czerwiec 2017r.

Izolacja	ΔR	R ₁	U	Q ₁	q ₁	Nu	ΔKogrz	SPBT
[m]	[(m ² *K)/W]	[(m ² *K)/W]	[W/(m ² *K)]	[GJ/a]	MW	[zł]	[zł]	[lata]
0,07	1,750	2,528	0,396	7,58	0,001	9 060,00	2 964,74	3,056
0,08	2,000	2,778	0,360	6,90	0,001	9 105,00	3 083,38	2,953
0,09	2,250	3,028	0,330	6,33	0,001	9 150,00	3 182,44	2,875
0,10	2,500	3,278	0,305	5,85	0,001	9 195,00	3 266,39	2,815
0,11	2,750	3,528	0,283	5,43	0,001	9 240,00	3 338,44	2,768
0,12	3,000	3,778	0,265	5,07	0,000	9 285,00	3 400,96	2,730
0,13	3,250	4,028	0,248	4,76	0,000	9 330,00	3 455,71	2,700
0,14	3,500	4,278	0,234	4,48	0,000	9 375,00	3 504,07	2,675
0,15	3,750	4,528	0,221	4,23	0,000	9 420,00	3 547,09	2,656
0,16	4,000	4,778	0,209	4,01	0,000	9 465,00	3 585,61	2,640
0,17	4,250	5,028	0,199	3,81	0,000	9 510,00	3 620,29	2,627
0,18	4,500	5,278	0,189	3,63	0,000	9 555,00	3 651,69	2,617
0,19	4,750	5,528	0,181	3,47	0,000	9 600,00	3 680,26	2,609
0,20	5,000	5,778	0,173	3,32	0,000	9 645,00	3 706,34	2,602
0,21	5,250	6,028	0,166	3,18	0,000	9 690,00	3 730,27	2,598
0,22	5,500	6,278	0,159	3,05	0,000	9 735,00	3 752,29	2,594
0,23	5,750	6,528	0,153	2,94	0,000	9 780,00	3 772,62	2,592
0,24	6,000	6,778	0,148	2,83	0,000	9 825,00	3 791,46	2,591
0,25	6,250	7,028	0,142	2,73	0,000	9 873,00	3 808,95	2,592
0,26	6,500	7,278	0,137	2,63	0,000	9 918,00	3 825,24	2,593
0,27	6,750	7,528	0,133	2,55	0,000	9 963,00	3 840,45	2,594

Optymalna grubość warstwy ocieplenia dla rozpatrywanej przegrody, dla której prosty okres zwrotu poniesionych nakładów kapitałowych SPBT przyjmuje wartość najmniejszą, wynosi 24 cm. Zgodnie z Warunkami Technicznymi 2021 "Maksymalna wartość współczynnika przenikania U dla stropu nad najwyższą kondygnacją wynosi 0,15 W/m²K". Wartość ta jest spełniona dla ocieplenia o grubości 24cm i tę wartość przyjmuje się do dalszej analizy. Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne bądź lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry.

Usprawnienia dotyczące dachu

Rozpatruje się ocieplenie dachu płytami wełny mineralnej o optymalnej grubości. Następnie należy przymocować płyty gipsowo - kartonowe.

Pow. obliczeniowa =	89,0	[m ²]	$R_0 =$	0,296	[(m ² *K)/W]
Pow. ocieplenia =	ok. 89	[m ²]			
Materiał: wełna mineralna			$U_0 =$	3,375	[W/(m ² *K)]
$\lambda =$	0,040	[W/(m*K)]			

Cena Nu zawiera całkowity koszt wszystkich prac remontowych z podatkiem VAT, ceny rynkowe czerwiec 2017r.

Izolacja	ΔR	R_1	U	Q_1	q_1	Nu	ΔK_{ogrz}	SPBT
[m]	[(m ² *K)/W]	[(m ² *K)/W]	[W/(m ² *K)]	[GJ/a]	MW	[zł]	[zł]	[lata]
0,07	1,750	2,311	0,433	12,30	0,001	20 559,00	8 784,47	2,340
0,08	2,000	2,561	0,390	11,10	0,001	20 612,40	8 993,28	2,292
0,09	2,250	2,811	0,356	10,11	0,001	20 665,80	9 164,96	2,255
0,10	2,500	3,061	0,327	9,28	0,001	20 719,20	9 308,59	2,226
0,11	2,750	3,311	0,302	8,58	0,001	20 772,60	9 430,54	2,203
0,12	3,000	3,561	0,281	7,98	0,001	20 826,00	9 535,37	2,184
0,13	3,250	3,811	0,262	7,46	0,001	20 879,40	9 626,45	2,169
0,14	3,500	4,061	0,246	7,00	0,001	20 932,80	9 706,31	2,157
0,15	3,750	4,311	0,232	6,59	0,001	20 986,20	9 776,91	2,147
0,16	4,000	4,561	0,219	6,23	0,001	21 039,60	9 839,77	2,138
0,17	4,250	4,811	0,208	5,91	0,001	21 093,00	9 896,10	2,131
0,18	4,500	5,061	0,198	5,62	0,001	21 146,40	9 946,86	2,126
0,19	4,750	5,311	0,188	5,35	0,001	21 199,80	9 992,85	2,121
0,20	5,000	5,561	0,180	5,11	0,001	21 253,20	10 034,70	2,118
0,21	5,250	5,811	0,172	4,89	0,000	21 306,60	10 072,95	2,115
0,22	5,500	6,061	0,165	4,69	0,000	21 360,00	10 108,05	2,113
0,23	5,750	6,311	0,158	4,50	0,000	21 413,40	10 140,36	2,112
0,24	6,000	6,561	0,152	4,33	0,000	21 466,80	10 170,21	2,111
0,25	6,250	6,811	0,147	4,17	0,000	21 520,20	10 197,88	2,110
0,26	6,500	7,061	0,142	4,03	0,000	21 578,05	10 223,58	2,111
0,27	6,750	7,311	0,137	3,89	0,000	21 637,68	10 247,52	2,112

Optymalna grubość warstwy ocieplenia dla rozpatrywanej przegrody, dla której prosty okres zwrotu poniesionych nakładów kapitałowych SPBT przyjmuje wartość najmniejszą, wynosi 25 cm. Zgodnie z Warunkami Technicznymi 2021 "Maksymalna wartość współczynnika przenikania U dla stropu nad najwyższą kondygnacją wynosi 0,15W/m²K". Wartość ta jest spełniona dla ocieplenia o grubości 25 cm i tę wartość przyjmuje się do dalszej analizy. Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne bądź lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry.

Usprawnienia dotyczące ścian zewnętrznych budynku

Rozpatruje się ocieplenie ścian zewnętrznych [SZ-1] budynku wełną mineralną lub styropianem metodą bezspoinową.

$$\begin{aligned} \text{Pow. obliczeniowa} &= 268,0 \quad [\text{m}^2] & R_0 &= 0,686 \quad [(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}] \\ \text{Pow. ocieplenia} &= \text{ok. } 280 \quad [\text{m}^2] \\ \text{Materiał:} & \text{styropian} & U_0 &= 1,457 \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})] \\ \lambda &= 0,038 \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})] \end{aligned}$$

Cena Nu zawiera całkowity koszt wszystkich prac remontowych z podatkiem VAT, ceny rynkowe czerwiec 2017 r.

Izolacja	ΔR	R_1	U	Q_1	q_1	N_u	ΔK_{ogrz}	SPBT
[m]	$[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$	$[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$	$[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$	[GJ/a]	MW	[zł]	[zł]	[lata]
0,05	1,316	2,002	0,499	42,75	0,005	73 329,80	14 258,70	5,143
0,06	1,579	2,265	0,441	37,78	0,005	73 514,01	15 122,70	4,861
0,07	1,842	2,528	0,396	33,85	0,004	73 735,06	15 806,85	4,665
0,08	2,105	2,792	0,358	30,66	0,004	73 992,96	16 362,01	4,522
0,09	2,368	3,055	0,327	28,02	0,004	74 287,69	16 821,52	4,416
0,10	2,632	3,318	0,301	25,80	0,003	74 619,27	17 208,14	4,336
0,11	2,895	3,581	0,279	23,90	0,003	74 987,69	17 537,93	4,276
0,12	3,158	3,844	0,260	22,26	0,003	75 392,96	17 822,58	4,230
0,13	3,421	4,107	0,243	20,84	0,003	75 835,06	18 070,75	4,197
0,14	3,684	4,371	0,229	19,58	0,002	76 314,01	18 289,03	4,173
0,15	3,947	4,634	0,216	18,47	0,002	76 829,80	18 482,52	4,157
0,16	4,211	4,897	0,204	17,48	0,002	77 382,43	18 655,21	4,148
0,17	4,474	5,160	0,194	16,59	0,002	77 971,91	18 810,29	4,145
0,18	4,737	5,423	0,184	15,78	0,002	78 598,22	18 950,32	4,148
0,19	5,000	5,686	0,176	15,05	0,002	79 261,38	19 077,39	4,155
0,20	5,263	5,949	0,168	14,39	0,002	79 961,38	19 193,21	4,166
0,21	5,526	6,213	0,161	13,78	0,002	80 698,22	19 299,23	4,181
0,22	5,789	6,476	0,154	13,22	0,002	81 471,91	19 396,63	4,200
0,23	6,053	6,739	0,148	12,70	0,002	82 282,43	19 486,42	4,223
0,24	6,316	7,002	0,143	12,22	0,002	83 129,80	19 569,46	4,248
0,25	6,579	7,265	0,138	11,78	0,001	84 014,01	19 646,49	4,276

Optymalna grubość warstwy ocieplenia dla rozpatrywanej przegrody, dla której prosty okres zwrotu poniesionych nakładów kapitałowych SPBT przyjmuje wartość najmniejszą, wynosi 17 cm. Zgodnie z Warunkami Technicznymi 2021 "Maksymalna wartość współczynnika przenikania U - dla ścian zewnętrznych wynosi $0,20 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ". Wartość ta jest spełniona dla ocieplenia o grubości 17 cm i tę wartość przyjmuje się do dalszej analizy. Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne bądź lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry.

7.3 Usprawnienia mające na celu zmniejszenie strat przez okna lub drzwi oraz poprawie systemu wentylacji.

Optymalny wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, polegający na wymianie okien lub drzwi oraz na poprawie systemu wentylacji jest to taki wariant, dla którego prosty czas zwrotu nakładów SPBT przyjmuje wartość minimalną, przy czym porównuje się warianty o tym samym zakresie usprawnień technicznych.

Do wyznaczenia optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego korzysta się z zależności określonej wzorem:

$$SPBT = (N_{Ok} + N_W) / \sum (\Delta O_{rOk} + \Delta O_{rW}), \quad [\text{lata}] \quad (6)$$

gdzie:

- N_{Ok} – planowane koszty robót związane z wymianą okien lub drzwi, zł,
- N_W – planowane koszty robót związane z modernizacją wentylacji, zł,
- ΔO_{rOk} – roczna oszczędność kosztów energii wynikająca z wymiany okien lub drzwi, przypadająca na poszczególne z n wykorzystywanych źródeł energii, zł,
- ΔO_{rW} – roczna oszczędność kosztów energii wynikająca z modernizacji wentylacji, przypadająca na poszczególne z n wykorzystywanych źródeł energii, zł,

Wartość łącznej rocznej oszczędności kosztów energii $\Delta O_{rOk} + \Delta O_{rW}$ dla n-tego źródła oblicza się z wzoru:

$$\Delta O_{rOk} + \Delta O_{rW} = (x_0 * Q_0 * O_{0z} - x_1 * Q_1 * O_{1z}) + 12 * (y_0 * q_0 * O_{0m} - y_1 * q_1 * O_{1m}) + 12 * (Ab_0 - Ab_1), \quad [\text{zł/rok}] \quad (7)$$

gdzie:

- x_0, x_1 - udział n-tego źródła w zapotrzebowaniu ciepła przed i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego,
- Q_0, Q_1 - roczne zapotrzebowanie ciepła na pokrycie strat przez przenikanie oraz infiltrację przed i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego, wówczas gdy okna i drzwi nie pełnią funkcji doprowadzenia powietrza, w przypadku gdy pełnią taką rolę (powietrze dostaje się do pomieszczeń przez nieszczelności okien, drzwi, nawiewniki okienne lub ściennie) jest to zapotrzebowanie na pokrycie strat przez przenikanie i ogrzanie powietrza wentylacyjnego, GJ/rok,

O_{0z}, O_{1z} - suma opłat jak we wzorze (2),

y_0, y_1 - udział n-tego źródła w zapotrzebowaniu na moc cieplną przed i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego,

q_0, q_1 - zapotrzebowanie na moc cieplną odpowiednio na pokrycie strat przez przenikanie oraz infiltrację lub na pokrycie strat przez przenikanie i ogrzanie powietrza wentylacyjnego, przed i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego, MW,

O_{0m}, O_{1m} - jak we wzorze (2),

Ab_0, Ab_1 - miesięczna opłata abonamentowa jak we wzorze (2).

Wartości rocznego zapotrzebowania ciepła w przypadku gdy doprowadzanie powietrza wentylacyjnego nie odbywa się przez nawiewniki ściennie, okna lub drzwi, oblicza się ze wzoru:

$$Q_0, Q_1 = 8,64 * 10^{-5} * S_d * A_{Ok} * U + Q_{inf}, \quad [GJ/rok] \quad (8)$$

gdzie:

S_d - jak we wzorze (4),

U - współczynnik przenikania ciepła okna lub drzwi przed i po termomodernizacji, $W/(m^2 * K)$, przy czym przed termomodernizacją – w przypadku okien lub drzwi przewidzianych do wymiany przyjęty z dokumentacji technicznej lub Polskiej Normy i powiększony o nie więcej niż 20% w zależności od oceny stanu technicznego okna lub drzwi, a w przypadku wymienionych okien lub drzwi przyjęty na podstawie deklaracji właściwości użytkowych lub aprobaty technicznej; po termomodernizacji wartość ta nie może być wyższa niż wartość określona zgodnie z przepisami techniczno-budowlanymi,

A_{Ok} - powierzchnia całkowita okien lub drzwi przed i po termomodernizacji, m^2 ,

Q_{inf} - roczne zapotrzebowanie ciepła na ogrzanie niepożądanego strumienia powietrza napływającego przez nieszczelności okien i drzwi, obliczane według wzoru (12), GJ/rok.

Wartości rocznego zapotrzebowania ciepła w przypadku gdy doprowadzanie powietrza wentylacyjnego odbywa się przez nawiewniki ściennie, okna lub drzwi, oblicza się ze wzoru:

$$Q_0, Q_1 = (8,64 * S_d * A_{Ok} * U + 2,94 * c_r * c_w * V_{nom} * S_d) * 10^{-5}, \quad [GJ/rok] \quad (9)$$

gdzie:

S_d - jak we wzorze (4),

U - jak we wzorze (8),

- A_{Ok} - jak we wzorze (8),
- V_{nom} - strumień powietrza zewnętrznego odniesiony do warunków projektowych dla wentylacji naturalnej; w przypadku braku danych należy przyjąć minimalny strumień objętości powietrza wentylacyjnego wyznaczony według Polskiej Normy dotyczącej wentylacji w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej lub zgodnie z przepisami rozporządzenia dotyczącego sporządzania świadectw, m^3/h ,
- c_r - współczynnik korekcyjny zgodnie z tabelą nr 2,
- c_w - współczynnik korekcyjny zgodnie z tabelą nr 2.

Wartości zapotrzebowania na moc cieplną q_0 , q_1 w przypadku gdy doprowadzanie powietrza wentylacyjnego nie odbywa się przez nawiewniki ścienne, okna lub drzwi, oblicza się ze wzoru:

$$q_0, q_1 = 10^{-6} * A_{Ok} * (t_{w0} - t_{z0}) * U + 1,65 * 10^{-8} * a * l * (t_{w0} - t_{z0})^{5/3}, \quad [MW] \quad (10)$$

gdzie:

- t_{w0} - jak we wzorze (4),
- t_{z0} - jak we wzorze (5),
- A_{Ok} - jak we wzorze (8),
- U - jak we wzorze (8),
- a - współczynnik przepływu powietrza przez szczeliny okien lub drzwi przed i po termomodernizacji, określany w oparciu o tabelę 1 część 3 załącznika do Rozporządzenia, $m^3/(m \cdot h \cdot daPa^{2/3})$,
- l - długość zewnętrznych szczelin przylgowych okien lub drzwi, przed i po termomodernizacji, m.

Wartości zapotrzebowania na moc cieplną q_0 , q_1 w, przypadku gdy doprowadzanie powietrza wentylacyjnego odbywa się przez nawiewniki okienne lub ścienne, okna lub drzwi, oblicza się ze wzoru:

$$q_0, q_1 = 10^{-6} * A_{Ok} * (t_{w0} - t_{z0}) * U + 3,4 * 10^{-7} * V_{obl} * (t_{w0} - t_{z0}), \quad [MW] \quad (11)$$

gdzie:

- t_{w0} - jak we wzorze (4),
- t_{z0} - jak we wzorze (5),
- A_{Ok} - jak we wzorze (8),
- U - jak we wzorze (8),

V_{obl} - strumień powietrza zewnętrznego odniesiony do warunków obliczeniowych dla instalacji ogrzewczych; w przypadku braku danych należy przyjąć minimalny strumień objętości powietrza wentylacyjnego wyznaczony według Polskiej Normy dotyczącej wentylacji w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej lub zgodnie z przepisami rozporządzenia dotyczącego sporządzania świadectw, pomnożony przez współczynnik korekcyjny c_m zgodnie z tabelą 2, m^3/h ,

Wartości rocznego zapotrzebowania na ciepło na ogrzanie niepożądanego strumienia powietrza napływającego przez nieszczelności okien i drzwi Q_{0inf} , Q_{1inf} , oblicza się ze wzoru:

$$Q_{0inf} \cdot Q_{1inf} = 1,43 \cdot 10^{-6} \cdot a \cdot l \sum_{m=1}^{L_g} [t_{wo} - t_e(m)]^{5/3} Ld(m), \quad [GJ/rok] \quad (12)$$

gdzie:

a - jak we wzorze (10),

l - jak we wzorze (10),

t_{wo} , $t_e(m)$ - jak we wzorze (4),

$Ld(m)$ - jak we wzorze (4).

Wyniki obliczeń dotyczących wyboru optymalnego typu okien (o powierzchni około 27 m^2) zestawiono w tabeli poniżej:

WARIANT	U	c_r	c_w	Q	q	ΔO	N	SPBT
	$W/m^2 \cdot K$	-	-	GJ	MW	zł/rok	zł	lata
0	2,9	1,0	1,0	68,01	0,003	-	-	-
1	1,3	1,0	1,0	54,56	0,002	2 340,69	24 304,95	10,38
2	1,1	1,0	1,0	52,83	0,002	2 640,78	25 655,23	9,72
3	0,9	1,0	1,0	51,11	0,001	2 940,87	27 005,50	9,18

Na podstawie wyników obliczeń przedstawionych w powyższej tabeli, można stwierdzić, że najbardziej opłacalnym przedsięwzięciem termomodernizacyjnym polegającym na wymianie istniejących okien jest rozwiązanie trzecie. Polega ono na zastosowaniu stolarki o współczynniku przenikania ciepła $U=0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ i to rozwiązanie zostanie uwzględnione w dalszej analizie. Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne bądź lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry.

Wyniki obliczeń dotyczących wyboru optymalnego typu drzwi (o powierzchni około 6,33 m²) zestawiono w tabeli poniżej:

WARIANT	U	c _r	c _w	Q	q	ΔO	N	SPBT
	W/m ² *K	-	-	GJ	MW	zł/rok	zł	lata
0	2,8	1,1	1,0	16,74	0,002	-	-	-
1	1,7	1,0	1,0	13,60	0,002	546,04	10 444,50	19,13
2	1,5	1,0	1,0	13,19	0,002	616,38	11 077,50	17,97
3	1,3	1,0	1,0	12,79	0,002	686,72	11 837,10	17,24

Na podstawie wyników obliczeń przedstawionych w powyższej tabeli, można stwierdzić, że najbardziej opłacalnym przedsięwzięciem termomodernizacyjnym polegającym na wymianie istniejących drzwi jest rozwiązanie trzecie. Polega ono na zastosowaniu stolarki o współczynniku przenikania ciepła U=1,3 W/m²K i to rozwiązanie zostanie uwzględnione w dalszej analizie. Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne bądź lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry.

7.4 Wybrane i zoptymalizowane usprawnienia termomodernizacyjne.

Lp.	Opis wprowadzonej modernizacji	Szacowany koszt [zł]	SPBT
1	2	3	4
1	Ocieplenie dachu	21 520,20	2,11
2	Ocieplenie stropu poddasza	9 825,00	2,59
3	Ocieplenie ścian zewnętrznych [SZ-1]	77 971,91	4,15
4	Wymiana okien	27 005,50	9,18
5	Wymiana drzwi	11 837,10	17,24

7.5 Zestawienie wariantów termomodernizacji budynku.

Poniżej w tabelach zestawiono przewidywane koszty modernizacji budynku dla poszczególnych wariantów. W kosztach uwzględniono wszystkie czynniki (robocizną, materiały, sprzęt itd.). Grubości warstw dociepleń przyjęto na podstawie powyższej analizy. Powierzchnie wymiany ciepła obliczono na podstawie projektu technicznego budynku.

Tabela 7a. Szacunkowe koszty modernizacji budynku wg wariantu I

Lp.	Opis wprowadzonej modernizacji	Szacunkowy koszt [zł]	SPBT
1	2	3	4
1	Ocieplenie dachu	21 520,20	2,11
2	Ocieplenie stropu poddasza	9 825,00	2,59
3	Ocieplenie ścian zewnętrznych [SZ-1]	77 971,91	4,15
4	Wymiana okien	27 005,50	9,18
5	Wymiana drzwi	11 837,10	17,24
	Ogółem	148 159,71	

Tabela 7b. Szacunkowe koszty modernizacji budynku wg wariantu II

Lp.	Opis wprowadzonej modernizacji	Szacunkowy koszt [zł]	SPBT
1	2	3	4
1	Ocieplenie dachu	21 520,20	2,11
2	Ocieplenie stropu poddasza	9 825,00	2,59
3	Ocieplenie ścian zewnętrznych [SZ-1]	77 971,91	4,15
4	Wymiana okien	27 005,50	9,18
	Ogółem	136 322,61	

Tabela 7c. Szacunkowe koszty modernizacji budynku wg wariantu III

Lp.	Opis wprowadzonej modernizacji	Szacunkowy koszt [zł]	SPBT
1	2	3	4
1	Ocieplenie dachu	21 520,20	2,11
2	Ocieplenie stropu poddasza	9 825,00	2,59
3	Ocieplenie ścian zewnętrznych [SZ-1]	77 971,91	4,15
	Ogółem	136 322,61	

Tabela 7d. Szacunkowe koszty modernizacji budynku wg wariantu IV

Lp.	Opis wprowadzonej modernizacji	Szacunkowy koszt [zł]	SPBT
1	2	3	4
1	Ocieplenie dachu	21 520,20	2,11
2	Ocieplenie stropu poddasza	9 825,00	2,59
	Ogółem	31 345,20	

Tabela 7e. Szacunkowe koszty modernizacji budynku wg wariantu V

Lp.	Opis wprowadzonej modernizacji	Szacunkowy koszt [zł]	SPBT
1	2	3	4
1	Ocieplenie dachu	21 520,20	2,11
	Ogółem	21 520,20	

7.6 Metoda wyznaczania optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego poprawiającego sprawność systemu grzewczego.

Optymalny wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego dotyczącego poprawy sprawności cieplnej systemu grzewczego jest to wariant, dla którego prosty czas zwrotu SPBT przyjmuje wartość minimalną, przy czym porównuje się warianty o tym samym zakresie usprawnień. Do wyznaczenia optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego korzysta się z zależności określonej wzorem:

$$SPBT = \frac{N_{CO}}{\sum_n \Delta O_{rCO}}, [\text{lata}] \quad (17)$$

gdzie:

- N_{CO} – planowane koszty robót wynikające z zastosowania wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego dotyczącego poprawy sprawności systemu grzewczego, zł,
- ΔO_{rCO} – roczna oszczędność kosztów energii wynikająca z zastosowania wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, przypadająca na poszczególne z n wykorzystanych źródeł energii, zł/rok.

Wartość rocznej oszczędności kosztów energii ΔO_{rCO} dla n-tego źródła obliczono wg wzoru:

$$\Delta O_{rCO} = (x_0 * w_{t0} * w_{d0} * Q_{OCO} * O_{0z} / \eta_0 - x_1 * w_{t1} * w_{d1} * Q_{OCO} * O_{1z} / \eta_1) + 12 * (y_0 * q_{0m} * O_{0m} - y_1 * q_{1m} * O_{1m}) + 12 * (Ab_0 - Ab_1), [\text{zł/rok}] \quad (18)$$

gdzie:

- x_0, x_1 – udział n-tego źródła w zapotrzebowaniu ciepła przed i po wykonaniu wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego,
- Q_{OCO} – sezonowe zapotrzebowanie budynku na ciepło przed termomodernizacją, określone zgodnie z Polską Normą dotyczącą obliczania sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych

z uwzględnieniem współczynników korekcyjnych wg tabeli 2 Rozporządzenia, GJ/rok,

- η_0, η_1 - całkowita sprawność systemu grzewczego przed i po modernizacji obliczona wg wzoru (19),
- w_{t0}, w_{t1} - współczynniki uwzględniające przerwy w ogrzewaniu w okresie tygodnia przyjęte na podstawie tabeli (4) Rozporządzenia,
- w_{d0}, w_{d1} - współczynniki uwzględniające przerwy w ogrzewaniu w okresie doby przyjęte na podstawie tabeli (5) Rozporządzenia,
- O_{0z}, O_{1z} - jak we wzorze (2),
- y_0, y_1 - udział n-tego źródła w zapotrzebowaniu na moc cieplną przed i po wykonaniu modernizacji,
- q_{0m}, q_{1m} - zapotrzebowanie budynku na moc cieplną przed i po zastosowaniu wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego poprawiającego sprawność systemu grzewczego budynku, określone zgodnie z Polską Normą lub projektu technicznego instalacji ogrzewania, MW,
- Ab_0, Ab_1 - jak we wzorze (2).

Całkowitą sprawność systemu grzewczego η_0, η_1 , oblicza się z zależności:

$$\eta_0, \eta_1 = \eta_w \eta_p \eta_r \eta_e, \quad (19)$$

gdzie:

- η_w – sprawność wytwarzania ciepła określona zgodnie z Polskimi Normami dotyczącymi kotłów grzewczych, wodnych, niskotemperaturowych, gazowych oraz kotłów grzewczych stalowych o mocy grzewczej do 50 kW lub przyjmowana zgodnie z przepisami rozporządzenia dotyczącego sporządzania świadectw lub z dokumentacji technicznej,
- η_p – sprawność przesyłania ciepła określana zgodnie z Polską Normą dotyczącą izolacji cieplnej rurociągów, armatury i urządzeń lub przyjmowana zgodnie z przepisami rozporządzenia dotyczącego sporządzania świadectw lub z dokumentacji technicznej,
- η_r – sprawność regulacji i wykorzystania systemu grzewczego przyjmowana zgodnie z przepisami rozporządzenia dotyczącego sporządzania świadectw lub z dokumentacji technicznej,
- η_e – sprawność akumulacji ciepła przyjmowana zgodnie z przepisami rozporządzenia

dotyczącego sporządzania świadectw lub z dokumentacji technicznej.

Jak wspomniano w części opisowej Audytu źródłem ciepła dla analizowanego budynku są grzejniki elektryczne zainstalowane w poszczególnych pomieszczeniach. W opracowaniu przeanalizowano ich likwidację oraz montaż gruntowej pompy ciepła, montaż instalacji centralnego ogrzewania, nowych grzejników oraz zainstalowanie przy grzejnikach zaworów regulacyjnych z głowicami termostatycznymi. Dodatkowo w kosztach uwzględniono wymianę źródła ciepła na potrzeby ciepłej wody użytkowej na nowe elektryczne podgrzewacze pojemnościowe.

Ocenę proponowanego przedsięwzięcia przedstawiono w tabeli poniżej:

Lp.	Omówienie	Jednostka	Stan istniejący	Stan po modernizacji
1	Obliczeniowa moc cieplna CO	MW	0,0394	0,0394
2	Roczne zapotrzebowanie na ciepło CO bez uwzględniania sprawności	GJ/rok	295	295
3	Ogólna sprawność CO	-	0,9009	2,9568
4	Obniżenie nocne	-	1,00	1,00
5	Obniżenie tygodniowe	-	1,00	1,00
6	Roczne zapotrzebowanie na ciepło CO z uwzględnieniem sprawności i przerw w ogrzewaniu	GJ/rok	327	100
8	Roczne zapotrzebowanie na ciepło C.W.U	GJ/rok	9,22	9,22
9	Ogólna sprawność C.W.U	-	0,9600	0,9600
10	Roczne zapotrzebowanie na ciepło CWU z uwzględnieniem sprawności	GJ/rok	9,61	9,61
11	Cena ciepła C.W.U	zł/GJ	173,97	173,97
12	Koszt ciepła CO	zł	56 938,58	17 348,27
13	Koszt ciepła CWU	zł	1 671,85	1 671,85
14	Koszt ciepła	zł	58 610,43	19 020,12
15	Oszczędność kosztów	zł		39 590,31
16	Szacowany koszt modernizacji	zł		106 500,00
17	SPBT	lat		2,69

8. Metoda wyboru optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego

W celu wyznaczenia optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, o którym mowa w § 6 pkt 4 rozporządzenia, dla poszczególnych wariantów przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, składających się z zestawu usprawnień termomodernizacyjnych dotyczących zmniejszenia strat ciepła przez przegrody budowlane, modernizacji systemu wentylacji i instalacji

cieplej wody użytkowej i uzupełnionych o optymalny wariant przedsięwzięcia poprawiającego sprawność całkowitą systemu grzewczego, oblicza się kolejno:

- a) planowane koszty całkowite N , w tym koszty opracowania audytu energetycznego i dokumentacji technicznej oraz koszty związane ze spełnieniem obowiązujących przepisów techniczno-budowlanych, również w przypadku gdy działanie to nie przynosi oszczędności energii,
- b) kwotę rocznych oszczędności ΔO_r przewidzianą do uzyskania w wyniku realizacji przedsięwzięcia,
- c) zmniejszenie (w %) zapotrzebowania na ciepło w stosunku do stanu wyjściowego przed termomodernizacją, z uwzględnieniem sprawności całkowitej,
- d) kwotę środków własnych i kwotę kredytu,
- e) obliczenie wysokości premii termomodernizacyjnej wg art. 5 ust. 1 i 2 ustawy,

Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli poniżej:

Obliczenie oszczędności kosztów dla wariantów przedsięwzięć termomodernizacyjnych

wariant	CO						CWU			CO+CWU		Oszczędności		
	q _{CO}	Q _{CO}	η	w	Q _{CO} *w/η	Opłata CO	q _{CWU}	Q _{CWU}	Opłata CWU	Q _{CO+CWU}	KOSZT			
	MW	GJ/rok	-	-	GJ/rok	zł/rok	MW	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	%	zł/rok
0	0,0352	260,59	0,9009	1	289,26	50 322,56	0,001	9,61	1 671,85	299	51 994,41			
I+A	0,0097	51,05	2,9568	1	17,27	3 004,46	0,001	9,61	1 671,85	27	4 676,31	272	91,01	47 318,10
II+A	0,0100	54,04	2,9568	1	18,28	3 180,17	0,001	9,61	1 671,85	28	4 852,02	271	90,67	47 142,39
III+A	0,0121	69,26	2,9568	1	23,42	4 074,38	0,001	9,61	1 671,85	33	5 746,23	266	88,95	46 248,18
IV+A	0,0255	179,74	2,9568	1	60,79	10 575,64	0,001	9,61	1 671,85	70	12 247,49	228	76,44	39 746,92
V+A	0,0279	200,03	2,9568	1	67,65	11 769,07	0,001	9,61	1 671,85	77	13 440,92	222	74,15	38 553,49
A	0,0352	260,59	2,9568	1	88,13	15 331,98	0,001	9,61	1 671,85	98	17 003,83	201	67,30	34 990,58

Dokumentacja wyboru optymalnego przedsięwzięcia termomodernizacyjnego budynku

Lp.	Wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego	Planowane koszty całkowite	Roczna oszczędność kosztów energii	Procentowa oszczędność zapotrzebowania na energię	Planowana kwota środków własnych i kwota kredytu		Premia termomodernizacyjna		
		[zł]	[zł/rok]	[%]	[zł]	[%]	20% kredytu	16% kosztów całkowitych	2 lata oszczędności
							[zł]	[zł]	[zł]
1	2	3	4	5	6		7	8	9
1	I+A	254 659,71	47 318,10	91,01	0,00	0,00	50 931,94	40 745,55	94 636,20
					254 659,71	100,00			
2	II+A	242 822,61	47 142,39	90,67	0,00	0,00	48 564,52	38 851,62	94 284,78
					242 822,61	100,00			
3	III+A	242 822,61	46 248,18	88,95	0,00	0,00	48 564,52	38 851,62	92 496,36
					242 822,61	100,00			
4	IV+A	137 845,20	39 746,92	76,44	0,00	0,00	27 569,04	22 055,23	79 493,84
					137 845,20	100,00			
5	V+A	128 020,20	38 553,49	74,15	0,00	0,00	25 604,04	20 483,23	77 106,98
					128 020,20	100,00			
6	A	106 500,00	34 990,58	67,30	0,00	0,00	21 300,00	17 040,00	69 981,16
					106 500,00	100,00			

9. Opis techniczny optymalnego przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, przewidzianego do realizacji.

Optymalnym wariantem jest wariant Nr 1 (I+A) i spełnia on wszystkie wymogi Ustawy. Również pozostałe warianty mogą być realizowane, ponieważ spełniają wszystkie wymogi Ustawy. Biorąc pod uwagę kompleksowość termomodernizacji oraz największą oszczędność energii proponuje się modernizację budynku według wariantu pierwszego.

Według tego wariantu należy wykonać:

1. Ocieplenie ścian zewnętrznych [SZ-1] o powierzchni około 280 m² proponuje się wykonać płytami z wełny mineralnej lub ze styropianu o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,038 \text{ W/m}^*\text{K}$, warstwą o grubości minimum 17 cm. Współczynnik przenikania ciepła po wykonaniu przedsięwzięcia nie wyniesie więcej niż 0,194 W/m²*K. Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne lub lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry. W kosztach inwestycji uwzględniono wymagane prace dodatkowe np.: ocieplenie ościeży, wymianę parapetów zewnętrznych, rur spustowych, rynien, obróbki blacharskie, wymianę instalacji odgromowej, prace odtworzeniowe i wykończeniowe na elewacji, etc.
2. Ocieplenie stropu pod poddaszem o powierzchni około 60 m² proponuje się wykonać poprzez rozłożenie płyt styropianowych lub wełny mineralnej grubości 24 cm i współczynniku przewodzenia $\lambda = 0,040 \text{ W/m}^*\text{K}$ na istniejącym podłożu. Następnie należy wykonać ciągi komunikacyjne (deskowanie lub płyty OSB). Współczynnik przenikania ciepła po wykonaniu przedsięwzięcia nie wyniesie więcej niż 0,148 W/m²*K. Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne lub lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry.
3. Ocieplenie dachu o powierzchni około 89 m² proponuje się wykonać poprzez przymocowanie od wewnątrz pomieszczenia płyt z wełny mineralnej o grubości minimum 25cm i współczynniku przewodzenia $\lambda = 0,040 \text{ W/m}^*\text{K}$. Następnie należy przymocować płyty gipsowo - kartonowe. Współczynnik przenikania ciepła po wykonaniu przedsięwzięcia nie wyniesie więcej niż 0,150 W/m²*K. Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne lub lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry.

4. Wymianę okien o powierzchni około 27 m² na okna o współczynniku przenikania $U=0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ wyposażonymi w nawiewniki higrosterowalne, zgodnie z Aprobata Techniczną oraz zaleceniami producenta. W kosztach inwestycji uwzględniono wymagane prace dodatkowe np. demontaż i utylizacja starych futryn i okien, montaż i obróbka nowych okien, etc. Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne lub lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry.
5. Wymianę drzwi o powierzchni około 6,33 m² na drzwi o współczynniku przenikania $U=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ zgodnie z Aprobata Techniczną oraz zaleceniami producenta. W kosztach inwestycji uwzględniono wymagane prace dodatkowe np. demontaż i utylizacja starych futryn i drzwi, montaż i obróbka nowych drzwi etc. Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne lub lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry.
6. Modernizację instalacji centralnego ogrzewania i źródeł ciepła poprzez:
- demontaż istniejących grzejników elektrycznych,
 - demontaż istniejących źródeł ciepła na potrzeby c.w.u.,
 - modernizację źródeł ciepła (zainstalowanie gruntowej pompy ciepła o mocy około 10 kW, pompy obiegowej i orurowania, automatyki, itp., montaż elektrycznych podgrzewaczy pojemnościowych dla c.w.u.),
 - montaż dwururowej instalacji centralnego ogrzewania,
 - montaż grzejników,
 - montaż zaworów wyposażonych w głowice termostatyczne,
 - prace instalacyjne i odtworzeniowe.
- Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne lub lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry.

10. Podsumowanie przedsięwzięć termomodernizacyjnych

1	Calkowity koszt robót szacuje się na	254 659,71 zł
2	Przewidywana premia termomodernizacyjna	40 745,55 zł
3	Efektem modernizacji będzie roczna oszczędność kosztów eksploatacji	47 318,10 zł
4	Czas zwrotu nakładów SPBT	5,38 lat

mgr inż. Barbara Kosowska

ZAŁĄCZNIKI

Z-1 Ceny jednostkowe ciepła.

Ceny jednostkowe ciepła dla potrzeb c.o. i c.w.u. docelowo		
Cena jednostkowa z uwzględnieniem wszystkich składników stałych i zmiennych	zł/kWh	0,63
	zł/GJ	173,97
Ceny jednostkowe są cenami brutto i nie zawierają kosztów nieulegających zmianie (np. koszt obsługi. korzystania ze środowiska itp.)		

Z-2 Współczynnik przenikania ciepła przed termomodernizacją.

Przegroda	Wyszczególnienie	d_1	d	λ	R	U
		[cm]	[m]	W/mK	m ² K/W	[W/m ² K]
Strop poddasza	Blacha	0,5	0,005	59	0,000	1,285
	Deska sosnowa	2,5	0,025	0,160	0,156	
	Pustka powietrzna	100,0				
	Polepa gliniana	10,0	0,100	0,640	0,280	
	Strop gęstożebrowy	28,0	0,280		0,280	
	Tynk cem.-wap.	1,5	0,0150	0,820	0,018	
	R				0,578	
	R_{si}				0,100	
	R_{se}				0,100	
	R_T				0,778	
Dach	Blacha	0,5	0,005	59	0,000	2,209
	Deska sosnowa	2,5	0,025	0,160	0,156	
	R				0,156	
	R_{si}				0,100	
	R_{se}				0,040	
	R_T				0,453	
Ściana zewnętrzna [SZ-1]	Tynk cem.-wapienny	2,0	0,020	0,820	0,024	1,457
	Mur z cegły pełnej	36,0	0,360	0,770	0,468	
	Tynk cem.-wapienny	2,0	0,020	0,820	0,024	
	R				0,516	
	R_{si}				0,130	
	R_{se}				0,040	
	R_T				0,686	
Podłoga na gruncie	Płytki PCW	1,5	0,015	1,050	0,014	0,898
	Gładź cementowa	3,5	0,035	1,000	0,035	
	Papa asfaltowa	1,5	0,015	0,18	0,083	
	Beton	8,0	0,08	1,30	0,062	
	Piasek	30,0	0,3	0,40	0,750	
	R				0,944	
	R_{si}				0,170	
	R_T				1,114	
	Uequiv					0,450
Okna				U_0	Wsp.	U
				[W/m ² K]	-	[W/m ² K]
				2,600	1,1	2,860
Drzwi wejściowe drewniane				2,500	1,1	2,750

Z-3 Współczynnik przenikania ciepła po termomodernizacji.

Przegroda	Wyszczególnienie	d_l	d	λ	R	U
		[cm]	[m]	W/mK	m ² K/W	[W/m ² K]
Strop poddasza	Blacha	0,5	0,005	59,000	0,000	0,148
	Deska sosnowa	2,5	0,025	0,160	0,156	
	Pustka powietrzna	100,0	1,000			
	Wełna mineralna	24,0	0,240	0,040	6,000	
	Polepa gliniana	10,0	0,100	0,640	0,280	
	Strop gęstożebrowy	28,0	0,280	0,000	0,280	
	Tynk cem.-wap.	1,5	0,015	0,820	0,018	
	R				6,578	
	Rsi				0,100	
	Rse				0,100	
	R _T				6,778	
Dach	Blacha	0,5	0,005	59,000	0,000	0,150
	Deska sosnowa	2,5	0,025	0,160	0,156	
	Wełna mineralna	25,0	0,250	0,040	6,250	
	Płyta gips. kart.	2,5	0,025	0,230	0,109	
	R				6,515	
	Rsi				0,100	
	Rse				0,040	
	R _T				6,655	
Ściana zewnętrzna [SZ-1]	Tynk cem.-wapienny	2,0	0,02	0,820	0,024	0,194
	Mur z cegły pełnej	36,0	0,36	0,770	0,468	
	Styropian	17,0	0,17	0,038	4,474	
	Tynk cem.-wapienny	2,0	0,020	0,820	0,024	
	R				4,990	
	Rsi				0,130	
	Rse				0,040	
	R _T				5,160	
Podłoga na gruncie	Płytki PCW	1,5	0,015	1,050	0,014	0,898
	Gładź cementowa	3,5	0,035	1,000	0,035	
	Papa asfaltowa	1,5	0,015	0,180	0,083	
	Beton	8,0	0,080	1,300	0,062	
	Piasek	30,0	0,300	0,400	0,750	
	R				0,944	
	Rsi				0,170	
	R _T				1,114	
	Uequiv					0,450
Okna wymienione				U_0	Wsp.	U
				[W/m ² K]	-	[W/m ² K]
				0,9	1,000	0,900
Drzwi wejściowe wymienione				1,3	1,000	1,300

Z-4 Współczynnik strat ciepła przez wentylację.

Wyszczególnienie	Jednostka	Strumień powietrza	
		obecnie	docelowo
Kubatura wentylowana V_{ve}	[m ³]	492	
Powierzchnia ogrzewana A_f wentylacji naturalnej	[m ²]	112	
Podstawowy strumień powietrza zewnętrznego	[m ³ /s*m ²]	0,42*10 ⁻³	
Średni strumień powietrza wentylacji naturalnej	[m ³ /s]	0,05	0,05
Dodatkowy strumień powietrza na infiltrację	[m ³ /s]	0,03	0,03
Obliczeniowy strumień powietrza wentylacyjnego	[m ³ /s]	0,07	0,07
Współczynniki korekcyjne	c_r	-	1,0
	c_w	-	1,0
	c_m	-	1,0
Strumień powietrza	[m ³ /s]	0,07	0,07
Strumień powietrza	[m ³ /h]	252	252
Współczynnik strat ciepła	[W/K]	84	84
Krotność wymiany powietrza	[1/h]	0,51	0,51

Z-5 Strumień objętości powietrza wentylacyjnego.

	Wsp.	Kubatura	Krotność	Wsp. osł.	Wsp. wys.	Strumień
	-	[m ³]	[h ⁻¹]	-	-	[m ³ /h]
Strumień higieniczny		492	0,5			246,2

Z-6 Projektowana strata ciepła.

Projektowana strata ciepła obecnie

Przegroda	A	U	b _u	H _t	ΔΘ	Φ
	[m ²]	[W/m ² K]	-	[W/K]	[°C]	[kW]
Strop poddasza	60,00	1,285	0,9	69	40	2,78
Dach	89,00	2,209	1,0	197		7,86
Ściana zewnętrzna [SZ-1]	268,00	1,457	1,0	390		15,62
Okna	27,01	2,860	1,0	77		3,09
Drzwi wejściowe	6,33	2,750	1,0	17		0,70
Podłoga na gruncie	138,00	0,260	1,0	36		1,44
Mostki liniowe	l	ψ	□			
	[m]	[W/mK]				
	69,38	0,150				
Ogółem				797		31,90
Wentylacja		V ₁	ρ*c _p	H _v		
		[m ³ /h]	[J/m ³ /K]	[W/K]		
		246	0,34	84	3,35	
OGÓŁEM						35,25

Projektowana strata ciepła dla wariantu optymalnego

Przegroda	A	U	b _u	H _{tr}	ΔΘ	Φ
	[m ²]	[W/m ² K]	-	[W/K]	[°C]	[kW]
Strop poddasza	60,00	0,148	0,9	8	40	0,32
Dach	89,00	0,150	1,0	13		0,53
Ściana zewnętrzna [SZ-1]	268,00	0,194	1,0	52		2,08
Okna wymienione	29,63	0,900	1,0	27		1,07
Drzwi wymienione	6,33	1,300	1,0	8		0,33
Podłoga na gruncie	138,00	0,260	1,0	36		1,44
Mostki liniowe	l	ψ	□			
	[m]	[W/mK]				
	69,38	0,150	1,0	14		0,56
Ogółem				158		6,32
Wentylacja		V ₁	ρ*c _p	H _v		
		[m ³ /h]	[J/m ³ /K]	[W/K]		
		246	0,34	84	3,35	
OGÓŁEM						9,67

Z-7 Roczne zapotrzebowanie na energię dla stanu obecnego wg PN-EN-ISO 13 790; 2009.

Wyszczególnienie		Jednostka	I	II	III	IV	V	IX	X	XI	XII	ogółem
Średnia temp. miesiąca		[°C]	-2,6	-1,8	2,7	8,3	13,0	13,5	7,0	2,2	-0,1	
Różnica temperatur		[°C]	22,6	21,8	17,3	11,7	7,0	6,5	13,0	17,8	20,1	
Liczba dni w miesiącu			31	28	31	30	5	5	31	30	31	222
Liczba sekund w mies.		[Msek.]	2,678	2,419	2,678	2,592	0,432	0,432	2,678	2,592	2,678	19,181
Straty	$H_{tr} H_{ve}$											
Strop poddasza	69,38	[MJ]	4 200	3 659	3 215	2 104	210	195	2 416	3 201	3 735	22 935
Dach	196,61	[MJ]	11 901	10 369	9 110	5 963	595	552	6 846	9 071	10 585	64 991
Ściana zewnętrzna [SZ-1]	390,49	[MJ]	23 637	20 594	18 094	11 842	1 181	1 097	13 597	18 016	21 022	129 080
Okna	77,24	[MJ]	4 675	4 073	3 579	2 342	234	217	2 689	3 563	4 158	25 531
Drzwi wejściowe drewniane	17,41	[MJ]	1 054	918	807	528	53	49	606	803	937	5 754
Mostki liniowe	10,41	[MJ]	630	549	482	316	31	29	362	480	560	3 440
Podłoga na gruncie	35,88	[MJ]	2 172	1 892	1 663	1 088	109	101	1 249	1 655	1 932	11 860
Straty przez przegrody	797,42	[MJ]	48 269	42 055	36 949	24 183	2 411	2 239	27 765	36 791	42 930	263 592
Wentylacja	84,00	[MJ]	5 085	4 430	3 892	2 547	254	236	2 925	3 876	4 522	27 767
Całkowite przenoszenie ciepła		[MJ]	53 354	46 485	40 842	26 730	2 665	2 475	30 690	40 666	47 452	291 359
Zyski słoneczne		[MJ]	1 270	1 522	2 866	4 019	0	0	2 236	1 342	1 067	14 320
Zyski wewnętrzne		[MJ]	2 393	2 161	2 393	2 316	386	386	2 393	2 316	2 393	17 135
Razem zyski		[MJ]	3 663	3 683	5 259	6 334	386	386	4 629	3 657	3 459	31 456
Stosunek zysków do przenoszenia			0,0687	0,0792	0,1288	0,2370	0,1448	0,1559	0,1508	0,0899	0,0729	0,1080
Typ budynku			bardzo ciężki (370 000)									
Powierzchnia ogrzewana		[m ²]	112									
Pojemność cieplna		[J/K]	41 317 900									
Stała czasowa		[h]	13									
Metoda obliczeniowa			miesięczna									
Referencyjny parametr liczbowy $a_{H,0}$			1									
Stała czasowa odniesienia $t_{H,0}$		[h]	15									
Parametr numeryczny a_H			1,87									
Parametr numeryczny $a_H + 1$			2,87									
η			0,9937	0,9919	0,9810	0,9473	0,9768	0,9736	0,9751	0,9899	0,9930	
Zyski ciepła		[MJ]	3 640	3 653	5 159	6 001	377	376	4 513	3 620	3 435	30 774
Zapotrzebowanie ciepła		[MJ]	49 714	42 832	35 683	20 729	2 288	2 099	26 177	37 046	44 017	260 585

Z-8 Roczne zapotrzebowanie na energię dla wariantu optymalnego wg PN-EN-ISO 13 790; 2009.

Wyszczególnienie		Jednostka	I	II	III	IV	V	IX	X	XI	XII	ogółem
Średnia temp. miesiąca		[°C]	-2,6	-1,8	2,7	8,3	13,0	13,5	7,0	2,2	-0,1	
Różnica temperatur		[°C]	22,6	21,8	17,3	11,7	7,0	6,5	13,0	17,8	20,1	
Liczba dni w miesiącu			31	28	31	30	5	5	31	30	31	222
Liczba sekund w mies.		[Msek.]	2,678	2,419	2,678	2,592	0	0	2,678	2,592	2,678	19,181
Przegroda	Htr Hve											
Strop poddasza	7,97	[MJ]	482	420	369	242	24	22	277	368	429	2 633
Dach	13,37	[MJ]	810	705	620	406	40	38	466	617	720	4 421
Ściana zewnętrzna [SZ-1]	51,94	[MJ]	3 144	2 739	2 407	1 575	157	146	1 808	2 396	2 796	17 169
Okna	26,67	[MJ]	1 614	1 406	1 236	809	81	75	929	1 230	1 436	8 815
Drzwi wejściowe drewniane	8,23	[MJ]	498	434	381	250	25	23	287	380	443	2 720
Mostki liniowe	13,88	[MJ]	840	732	643	421	42	39	483	640	747	4 587
Podłoga na gruncie	35,88	[MJ]	2 172	1 892	1 663	1 088	109	101	1 249	1 655	1 932	11 860
Straty przez przegrody	157,93	[MJ]	9 560	8 329	7 318	4 789	478	443	5 499	7 287	8 502	52 205
Wentylacja	84,00	[MJ]	5 085	4 430	3 892	2 547	254	236	2 925	3 876	4 522	27 767
Całkowite przenoszenie ciepła		[MJ]	14 644	12 759	11 210	7 337	732	679	8 424	11 162	13 025	79 972
Zyski słoneczne		[MJ]	1 135	1 359	2 560	3 590	0	0	1 997	1 199	953	12 793
Zyski wewnętrzne		[MJ]	2 393	2 161	2 393	2 316	386	386	2 393	2 316	2 393	17 135
Razem zyski		[MJ]	3 527	3 521	4 953	5 906	386	386	4 390	3 514	3 346	29 928
Stosunek zysków do przenoszenia			0,2409	0,2759	0,4418	0,8049	0,5275	0,5681	0,5211	0,3148	0,2569	0,3742
Typ budynku			bardzo ciężki (370 000)									
Powierzchnia ogrzewana		[m ²]	112									
Pojemność cieplna		[J/K]	41 317 900									
Stała czasowa		[h]	47									
Metoda obliczeniowa			miesięczna									
Referencyjny parametr liczbowy a _{H,0}			1									
Stała czasowa odniesienia t _{H,0}		[h]	15									
Parametr numeryczny a _H			4,16									
Parametr numeryczny a _H + 1			5,16									
η			0,9980	0,9966	0,9811	0,8827	0,9658	0,9566	0,9671	0,9944	0,9974	
Zyski ciepła		[MJ]	3 520	3 509	4 859	5 213	373	369	4 246	3 494	3 337	28 920
Zapotrzebowanie ciepła		[MJ]	11 124	9 251	6 351	2 124	359	310	4 178	7 668	9 688	51 052

Z-9 Sprawności systemu grzewczego.

Sprawność systemu grzewczego dla stanu obecnego

1	Rodzaj systemu zasilania			
2	Wytwarzanie ciepła	η_g	0,99	ogrzewanie etażowe
3	Przesyłanie ciepła	η_d	1	ogrzewanie elektryczne
4	Regulacja i wykorzystanie ciepła	η_e	0,91	elektryczne ogrzewanie bezpośrednie
5	Akumulacja ciepła	η_s	1,00	brak zbiornika buforowego
6	Sprawność całkowita systemu	η_0	0,90	
7	Tygodniowe przerwy na ogrzewanie	w_t	1,00	praca ciągła
8	Dobowe przerwy na ogrzewanie	w_d	1,00	praca ciągła

Sprawność systemu grzewczego dla optymalnego wariantu

1	Rodzaj systemu zasilania			pompa ciepła
2	Wytwarzanie ciepła	η_g	3,50	pompa ciepła
3	Przesyłanie ciepła	η_d	0,96	przewody poziome i pionowe izolowane
4	Regulacja i wykorzystanie ciepła	η_e	0,88	regulacja centralna i miejscowa
5	Akumulacja ciepła	η_s	1,00	brak zbiornika buforowego
6	Sprawność całkowita systemu	η_0	2,96	
7	Tygodniowe przerwy na ogrzewanie	w_t	1,00	praca ciągła
8	Dobowe przerwy na ogrzewanie	w_d	1,00	praca ciągła

Z-10 Ciepła woda użytkowa.

Wyszczególnienie	Jednostka	
Ciepło właściwe wody	$\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$	4,19
Gęstość wody	kg/dm^3	1
Powierzchnia pomieszczeń A_f	m^2	112
Liczba użytkowników	osoba	5
Zużycie jednostkowe	$\text{dm}^3/(\text{m}^2\text{doba})$	2,00
Temperatura ciepłej wody	$^{\circ}\text{C}$	55
Temperatura wody zimnej	$^{\circ}\text{C}$	10
Współczynnik korekcyjny	-	0,6
Czas pracy instalacji cwu	doba	365
Roczne zapotrzebowanie ciepła użytkowego	kWh/rok	2 561,7
Roczne zapotrzebowanie ciepła końcowego	GJ/rok	9,2
Sprawność wytwarzania	-	0,960
Sprawność przesyłu	-	1,000
Sprawność akumulacji	-	1,000
Sprawność sezonowa wykorzystania	-	1,000
Sprawność całkowita	-	0,960
Roczne zapotrzebowanie ciepła końcowego	kWh/rok	2 668,5
Roczne zapotrzebowanie ciepła końcowego	GJ/rok	9,6
Średnie godzinowe zapotrzebowanie ciepła	m^3/h	0,014
Wsp. godzinowej nierównomierności rozbioru	-	6,293
Zużycie ciepła na ogrzanie 1 m^3 wody	GJ/m^3	0,196
Max. moc c.w.u.	kW	4,77
Średnia moc c.w.u.	kW	0,8
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię	$\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{rok})$	23,9

Z-11 Obliczenie efektywności energetycznej

W tabelach poniżej przedstawiono oszczędność energii końcowej i pierwotnej dla całego przedsięwzięcia (ocieplenie przegród, wymiana okien, wymiana drzwi, wymiana instalacji c.o. wymiana źródeł ciepła).

W obliczeniach przyjęto następujące współczynniki nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej:

- energia elektryczna - 3,0.

Zużycie energii pierwotnej obliczono wg wzoru:

$$Q_p = Q_k \cdot w_p$$

Wyszczególnienie	GJ	kWh	MWh
Energia końcowa:			
<i>energia elektryczna</i>			
zużycie przed modernizacją	298,87	83 019,44	83,02
zużycie po modernizacji	26,88	7 466,67	7,47
oszczędność	271,99	75 552,78	75,55
oszczędność %	91,01		
Energia pierwotna			
<i>energia elektryczna</i>			
zużycie przed modernizacją	896,61	249 058,33	249,06
zużycie po modernizacji	80,64	22 400,00	22,40
oszczędność	815,97	226 658,33	226,66
oszczędność %	91,01		

Z-12 Obliczenie efektu ekologicznego

Wskaźnik emisji (WE CO₂) przyjęto na podstawie danych przyjętych do raportowania we Wspólnotowym Systemie Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2017 publikowanych przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBIZE)

	Roczna redukcja emisji CO ₂									
	Roczne zużycie energii		WE	emisja CO ₂	Roczne zużycie energii		WE	emisja CO ₂	emisja CO ₂	
	GJ	MWh	kg/ GJ; Mg/MWh	Mg	GJ	MWh	kg/ GJ; Mg/MWh	Mg	Mg	%
	przed modernizacją				po modernizacji				redukcja	
energia elektryczna	-	83,02	0,832	69,07	-	7,47	0,832	6,22		
				69,07				6,22	62,86	91,00