

1. Dane identyfikacyjne budynku			
1.1 Rodzaj budynku	Dawny budynek dydaktyczny		1.2 Rok budowy
1.3 Właściciel lub zarządca budynku	Gmina Czarny Bór Ul. Główna 18 58-379 Czarny Bór	1.4 Adres budynku	Witków 89 58-373 Witków dolnośląskie
2. Nazwa, adres i numer REGON firmy wykonującej audyt:			
Pracownia Projektowa „KONSTRUKTOR” ul. Wojska Polskiego 5, 58-160 Świebodzice, biuro: ul. Broniewskiego 1B, 58-309 Wałbrzych tel. (0-74) 665-96-96, 606 81-20-89 REGON: 890658291			
3. Imię, nazwisko, adres audytora koordynującego wykonywanie audytu, posiadane kwalifikacje,			
mgr inż. Piotr Rajca ul. Wojska Polskiego 5, 58-160 Świebodzice		inżynier budownictwa – uprawnienia budowlane NBGP.V-7342/3/75/98 i 691/01/DUW kurs audytorów energetycznych KAPE/99/115	Podpis:
4. Współautorzy			
Lp.	4.1 Imię i nazwisko	4.2 Zakres udziału w audycie	4.3 Posiadane kwalifikacje
1			
5. Miejscowość: Świebodzice		data wykonania opracowania: 23 sierpień 2023	
6. Spis treści			
1. DANE OGÓLNE.6			
1.1 Podstawa formalna 6			
1.2 Podstawa prawna 6			
1.3 Przedmiot opracowania 6			
2. INWENTARYZACJA TECHNICZNO-BUDOWLANA OBIEKTU. 6			
2.1 Opis techniczny konstrukcji 6			
2.1.1. Ściany zewnętrzne 7			
2.1.2. Przegrody poziome7			
2.1.3. Okna i drzwi 8			
2.1.4. Podsumowanie 8			
2.2. System grzewczy 8			
2.2.1. Charakterystyka 8			
2.2.2. Zapotrzebowanie na ciepło i taryfy 9			
2.3. System c.w.u. 9			
2.4. System wentylacji 10			
3. OCENA STANU TECHNICZNEGO OBIEKTU. 11			
3.1. Przegrody budowlane11			
3.2. System grzewczy 12			
3.3. System c.w.u. i wentylacji 12			

4. WYKAZ PRZEDSIĘWZIĘĆ WYBRANYCH DO OPTYMALIZACJI.	13
5. OPTYMALIZACJA PRZEDSIĘWZIĘĆ TERMOMODERNIZACYJNYCH.	13
5.1. Zmniejszenie strat przenikania przez przegrody	14
5.1.1. Docieplenie ścian zewnętrznych budynku	14
5.1.2. Docieplenie ścian podziemnych budynku	14
5.1.3. Docieplenie stropu z wełną pod poddaszem	15
5.1.4. Docieplenie stropu z żużlem pod poddaszem	15
5.2. Zmniejszenie strat przenikania przez stolarkę okienną i drzwiową	16
5.2.1. Wymiana stolarki okiennej	16
5.2.2. Wymiana stolarki drzwiowej	16
5.3. Zmniejszenie zapotrzebowania na przygotowanie ciepłej wody użytkowej	17
5.4. Poprawa sprawności cieplnej systemu grzewczego	18
5.5. Instalacja fotowoltaiczna	19
5.6. Instalacja oświetlenia wbudowanego	19
5.7. Podsumowanie	20
6. WYBÓR OPTYMALNEGO WARIANTU TERMOMODERNIZACJI.	21
7. WYLICZENIE ROCZNYCH OSZCZĘDNOŚCI KOSZTÓW OGRZEWANIA I OSZCZĘDNOŚCI ENERGII DLA OPTYMALNEGO WARIANTU	23
8. ZAŁĄCZNIKI.	24
9. LITERATURA	25

KARTA AUDYTU ENERGETYCZNEGO BUDYNKU

1. Dane ogólne		Stan przed termomodernizacją	Stan po termomodernizacji
1	Konstrukcja / technologia budynku	Murowana	Murowana
2	Liczba kondygnacji	2	2
3	Kubatura części ogrzewanej [m ³]	1302	1302
4	Powierzchnia użytkowa budynku [m ²]	420,0	420,0
5	Powierzchnia użytkowa służąca celom mieszkalnym i wykonywaniu zadań publicznych przez organy administracji publicznej [m ²]	-----	-----
6	Wskaźnik udziału powierzchni (poz. 5) / (poz. 4) [%]	100,00	100,00
7	Liczba lokali mieszkalnych	---	---
8	Liczba osób użytkujących budynek	60	60
9	Sposób przygotowania ciepłej wody	Kocioł na paliwo stałe/podgrzewacz elektryczny	podgrzewacz elektryczny
10	Rodzaj systemu grzewczego budynku	Kocioł na paliwo stałe	Pompa ciepła
11	Współczynnik A/V [l/m]	0,47	0,47
12	Inne dane charakteryzujące budynek		
2. Współczynnik przenikania ciepła przez przegrody zewnętrzne [W/m²K]			
1	Ściany zewnętrzne nadziemne	0,335	0,179
2	Ściany zewnętrzne podziemne	0,829	0,196
3	Strop pod strychem z wełną	0,287	0,140
4	Strop pod strychem z żużlem	1,018	0,148
5	Podłoga na gruncie	0,907	0,907
6	Okna	2,00	0,90
7	Drzwi zewnętrzne	2,60	1,30
3. Sprawności składowe systemu grzewczego			
1	Sprawność wytwarzania η_g	0,82	3,00
2	Sprawność przesylania η_d	0,90	0,96
3	Sprawność regulacji i wykorzystania η_e	0,77	0,88
4	Sprawność akumulacji η_s	0,90	0,95
5	Przerwy na ogrzewanie w okresie tygodnia w_t	1,00	1,00
6	Przerwy na ogrzewanie w ciągu doby w_d	1,00	1,00
4. Sprawności składowe systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej			
1	Sprawność wytwarzania	0,82/0,96	0,96
2	Sprawność przesyłu	0,60/0,80	1,00
2	Sprawność regulacji i wykorzystania	1,00	1,00
3	Sprawność akumulacji	0,850,85/0,85	0,90
5. Charakterystyka systemu wentylacji			
1	Rodzaj wentylacji (naturalna, mechaniczna, inna)	naturalna	naturalna
2	Sposób doprowadzenia i odprowadzenia powietrza	nawietrzaki	nawietrzaki
3	Strumień powietrza wentylacyjnego [m ³ /h]	846,7	846,7
4	Liczba wymian [1/h]	0,65	0,65
6. Charakterystyka energetyczna budynku			
1	Obliczeniowa moc cieplna systemu grzewczego [kW]	37,4	26,4
2	Obliczeniowa moc cieplna potrzebna do przygotowania c.w.u. [kW]	8,8	3,9
3	Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu) [GJ/rok]	151,9 42192	67,8 18841
4	Roczne obliczeniowe zużycie energii do ogrzewania budynku (z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu) [GJ/rok]	297,0 82498	28,2 7825
5	Roczne obliczeniowe zużycie energii do przygotowania c.w.u. [GJ/rok]	28,2 7842	8,2 2277
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 c.w.u. (służące weryfikacji przyjętych składowych danych obliczeniowych bilansu ciepła) [GJ/rok]	--	-
8	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu) [kWh/m ² rok]	100,46	44,86
9	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu) [kWh/m ² rok]	196,42	18,63

10	Udział odnawialnych źródeł energii [%]	1,37	63,90
7. Opłaty jednostkowe (obowiązujące w dniu sporządzania audytu)			
1	Koszt za 1 GJ ciepła do ogrzewania budynku [zł/GJ]	96,0	100,2
2	Koszt 1 MW mocy zamówionej na ogrzewanie na miesiąc [zł/MW m-c]	0,00	0,00
3	Koszt przygotowania 1 m ³ c.w.u. [zł/m ³]	35,20	35,20
4	Koszt 1 MW mocy zamówionej na przygotowanie ciepłej wody użytkowej na miesiąc [zł/MW m-c]	0,0	0,0
5	Miesięczny koszt ogrzewania 1 m ² powierzchni użytkowej [zł/m ² m-c]	5,66	0,56
6	Miesięczna opłata abonamentowa [zł/m-c]	0,0	0,0
7	Inne [zł]	-	-
8.1 Wskaźniki dla optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego			
1	EK – wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową [kWh/m ² *rok]	248,49	41,45
2	EP – wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną [kWh/m ² *rok]	321,36	23,29
3	Zmniejszenie rocznego zapotrzebowania na energię [%]	88,82	
4	Zmniejszenie zapotrzebowania na energię [GJ/rok]	288,8	
5	Średnioroczna oszczędność energii finalnej [toe/rok]	6,90	
6	Uniknięta emisja CO ₂ [tCO ₂ /rok]	38,09	
7	Roczna oszczędność kosztów energii [zł]	28 603,6	
8	Moc instalacji OZE w ramach termomodernizacji [kW]	30,4	
8.2 Charakterystyka ekonomiczna przedsięwzięcia termomodernizacyjnego			
1	Koszty całkowite przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, bez kosztów, o których mowa w wierszu 2 [zł]	netto 1 305 142,28	brutto 1 605 325,0
2	Koszt zakupu, montażu, budowy albo modernizacji instalacji odnawialnego źródła energii [zł]	netto 243 902,44	brutto 300 000,0
3	Udział kosztów (brutto) zakupu, montażu, budowy albo modernizacji instalacji odnawialnego źródła energii w łącznych kosztach (brutto) przedsięwzięcia termomodernizacyjnego oraz zakupu, montażu budowy lub modernizacji instalacji odnawialnego źródła energii [%]	15,74	
4	Czy inwestorowi przyznano grant OZE:	TAK/NIE	
5	Premia termomodernizacyjna [zł]	495 384,5	
9. Grant termomodernizacyjny			
1.	Maksymalna wartość wskaźnika EP określona zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 7 ust. 2 pkt 1 ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane [kWh/m ² *rok]	49,29	
2.	Przegrody oraz wyposażenie techniczne budynku ODPOWIADAJĄ / NIE ODPOWIADAJĄ wymaganiom izolacyjności cieplnej określonym w przepisach wydanych na podstawie art. 7 ust. 2 pkt 1 ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane		
3.	Wysokość grantu termomodernizacyjnego [zł]	0,00	
10. Premia MZG i grant MZG			
1.	Przed realizacją przedsięwzięcia termomodernizacyjnego / W ramach realizacji przedsięwzięcia termomodernizacyjnego w budynku jest spełniony warunek, o którym mowa w art. 11h ust. 1 ustawy: TAK/- NIE, jeśli TAK, to: - pkt 1 / - pkt 2 / - pkt 3		
2.	Wysokość premii MZG [zł]	0,00	
3.	Wysokość grantu MZG [zł]	0,00	
4.	Wysokość premii MZG łącznie z wartością grantu MZG [zł]	0,00	
11. Inne			
1.	W ramach przedsięwzięcia termomodernizacyjnego ZOSTANIE / NIE ZOSTANIE zastosowana wysokosprawna kogeneracja		
2.	Budynek JEST / NIE JEST wpisany do rejestru zabytków lub znajduje się na obszarze wpisanym do rejestru zabytków		
3.	Przedsięwzięcie STANOWI / NIE STANOWI przedsięwzięcia rewitalizacyjnego, o którym mowa w art. 11g ust. 2 ustawy		
4.	Z audytu energetycznego WYNIKA / NIE WYNIKA , że po zrealizowaniu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego elementy budynku poddane temu przedsięwzięciu termomodernizacyjnemu będą spełniać wymagania, o których mowa w art. 5a ust. 2 i art. 11g ust. 1 pkt 4 ustawy,		

12. Informacje dodatkowe		Stan przed termom.	Stan po termom.	Efekt termom.	
1	Efekt ekologiczny – redukcja emisji CO ₂ (c.o., wentylacja, c.w.u. energia elektryczna) [Mg/rok]	40,87	2,77	38,09	93,22%
2	Oszczędność energii pierwotnej budynku [MWh/rok]	134,97	9,78	125,19	92,75%
3	Wskaźnik zapotrzebowania na energię pierwotną budynku [kWh/m ² /rok]	321,36	23,29	--	
4	Ilość zaoszczędzonej energii elektrycznej i ciepłej [MWh/rok]	104,4	14,0	90,4	86,59%
5	Ilość zaoszczędzonej energii elektrycznej [MWh/rok]	14,0	3,9	10,1	72,14%
6	Ilość zaoszczędzonej energii ciepłej [MWh/rok]	90,3	10,1	80,2	88,82%

WYTYCZNE I UWAGI INWESTORA:

1. Uwzględnienie w pierwszej kolejności jako możliwe do realizacji usprawnienia obejmujące docieplenie ścian zewnętrznych nadziemnych, docieplenie ścian podziemnych, docieplenie stropu pod strychem, wymianę stolarki okiennej i drzwiowej,
2. Modernizacja systemu c.o. – wymiana instalacji c.o. wraz z grzejnikami, zmiana sposobu ogrzewania budynku na pompę ciepła.
3. Zmiana sposobu przygotowania c.w.u. na podgrzewacze elektryczne zasilane z instalacji fotowoltaicznej.
4. Wymiana źródeł oświetlenia z istniejących jarzeniowych na nowoczesne energooszczędne typu LED
5. Montaż dodatkowej instalacji fotowoltaicznej

1. DANE OGÓLNE

1.1. PODSTAWA FORMALNA

Opracowanie pn. **Audyt energetyczny. Budynek główny dawnej szkoły w Witkowie** zostało wykonane na zlecenie Gminy Czarny Bór.

1.2. PODSTAWA PRAWNA

Niniejszy audyt energetyczny został wykonany zgodnie z wytycznymi Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 roku w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego (zmiana Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 15.12.2022) oraz Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27.02.2015 w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz wzorów świadectw charakterystyki energetycznej.

1.3. PRZEDMIOT OPRACOWANIA

Przedmiotem niniejszego audytu energetycznego jest budynek główny dawnej szkoły w Witkowie.

W opracowaniu zaproponowano i przeanalizowano (pod kątem oszczędności energii oraz opłacalności) przedsięwzięcia termomodernizacyjne odnoszące się do budynku.

Opracowanie kończy się wyborem najbardziej optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego – wariant wybrany zgodnie z algorytmem oceny opłacalności, który spełnia wszystkie warunki i kryteria określone w ustawie, przeznaczony do realizacji. Wybrany wariant spełnia wymagania określone w Ustawie z dnia 21 listopada 2008 roku o wspieraniu termomodernizacji i remontów oraz centralnej ewidencji emisyjności budynków.

2. INWENTARYZACJA TECHNICZNO – BUDOWLANA OBIEKTU

Opisywany budynek szkoły został oddany do użytku ok. 1876 roku. Wykonany został w technologii tradycyjnej murowanej.

Objęty opracowaniem budynek posiada 2 kondygnacje użytkowe. Obiekt użytkowany był przez ok. 60 osób. **W budynku brak jest mieszkań i lokali usługowych.**

Inwentaryzacja techniczno – budowlana budynku została sporządzona w oparciu o :

- ♦ oględziny budynku,
- ♦ inwentaryzacja opracowana dla potrzeb audytu,
- ♦ informacje przekazane przez zarządcę budynku.

2.1. OPIS TECHNICZNY KONSTRUKCJI

Przedmiotowy budynek w części podpiwniczony. Konstrukcja dachowa obiektu drewniana, pokrycie dachu stanowi blacha dachówkowa. Podstawowe parametry techniczne analizowanego budynku mieszkalnego przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry techniczne budynku.

L.p.	Parametr	Jednostka	Obmiar
1	Średnia wysokość kondygnacji	[m]	3,10
2	Powierzchnia użytkowa	[m ²]	420,0

2.1.1. ŚCIANY ZEWNĘTRZNE BUDYNKU

Ściany zewnętrzne budynku wykonane są jako murowane z cegły ceramicznej pełnej na zaprawie cementowo-wapiennej z dociepleniem ze styropianu gr. 8cm. Układ warstw ściany przedstawiono w tabeli poniżej

Tabela 2. Układ warstw ścian zewnętrznych.

L.p.	Materiał	Grubość	Współczynnik przewodzenia ciepła
		d [cm]	λ [W/mK]
1	Tynk cem-wap	2,0	0,82
2	Cegła pełna	66,0	0,77
3	Tynk cem-wap	2,0	0,82
4	Styropian	8,0	0,042

2.1.2. PRZEGRODY POZIOME

Strop nad piwnicą wykonany jest jako masywny ceramiczny pokryty dodatkowo warstwami ocieplającymi (izolacja akustyczna) i wykończeniowymi. Układ warstw stropu poniżej.

Tabela 3. Układ warstw stropu piwnicy.

L.p.	Materiał	Grubość	Współczynnik przewodzenia ciepła
		d [cm]	λ [W/mK]
1	Tynk cem-wap	2,0	0,82
2	Cegła ceramiczna	0,25	0,77
3	Zasyпка	8,0	0,28
4	Posadzka cementowa	6,0	1,00
5	Wykładzina PCV	0,5	0,20

Pozostałe stropy drewniane z wypełnieniem z zasyпки żużlowej. Nad ostatnią kondygnacją strych nieużytkowy – strop na części z zasyпką żużlową a na części wełna mineralna.

Tabela 4 Układ warstw stropu z zasyпką z żużla.

L.p.	Materiał	Grubość	Współczynnik przewodzenia ciepła
		d [cm]	λ [W/mK]
1	Tynk cem-wap	2,0	0,82
2	Deska	2,5	0,16
3	Zasyпка żużlowa	8,0	0,28
4	Pustka powietrzna	6,0	--
5	Deska	2,5	0,16

Tabela 5 Układ warstw stropu z wełną mineralną.

L.p.	Materiał	Grubość	Współczynnik przewodzenia ciepła
		d [cm]	λ [W/mK]
1	Tynk cem-wap	2,0	0,82
2	Deska	2,5	0,16
3	Wełna mineralna	12,0	0,043
4	Pustka powietrzna	6,0	--
5	Deska	2,5	0,16

Dach dwuspadowy z pokryciem z blachy dachówkowej.

2.1.4. OKNA I DRZWI

W budynku znajduje się stolarka okienna PCV wymieniona przez Inwestora ok. 2010r. - $U=2,0$,

Drzwi zewnętrzne do budynku stare aluminiowe $U= 2,60 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2.1.5. PODSUMOWANIE

W załączniku I do niniejszej opracowania zamieszczono rysunki z inwentaryzacji opracowanej dla potrzeb audytu. W tabeli 6 zestawiono powierzchnie całkowite ścian i stropów (nie odliczono powierzchni okien i drzwi) oraz współczynnik przenikania przegród budowlanych opisanych powyżej.

Tabela 6. Współczynnik przenikania przegród budowlanych (nie odliczono powierzchni okien).

L.p.	Rodzaj przegrody	Powierzchnia	Współczynnik przenikania
		[m ²]	[W/m ² K]
1	Ściana zewnętrzna budynku	590	0,335
2	Ściana zewnętrzna podziemna	78	0,829
3	Strop drewniany pod poddaszem z żużlem	88	1,018
4	Strop drewniany pod poddaszem z wełną	160	0,287
5	Strop nad piwnicą	110	0,944
6	Podłoga na gruncie	100	0,907

2.2. SYSTEM GRZEWczy

2.2.1. CHARAKTERYSTYKA

Analizowany budynek zasilany jest w ciepło dla celów c.o. z kotłowni na paliwo stałe zlokalizowanej w piwnicy budynku.

Ogrzewanie budynku zostały zmodernizowane w 2015 r. Zabudowano kocioł na paliwo stałe oraz wbudowano grzejniki konwekcyjne z zaworami termostatycznymi – obecnie większość zaworów niesprawna. Instalacja wymaga kompleksowej modernizacji wraz z wymianą źródła ciepła na nowe.

Składowe sprawności systemu grzewczego oszacowano (zgodnie z Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27.02.2015).

Sprawność regulacji przyjęto na podstawie wzoru:

$$\eta_{H,e} = \eta_{H,e}' + 0,03 \cdot X - 0,03$$

$\eta_{H,e}' = 0,77$ (pkt 4.1.2.3, tab. 3 lp. 5c) – ogrzewanie wodne z grzejnikami członowymi w przypadku regulacji centralnej

$X = 1,00$ (stosunek mocy grzejników usytuowanych przy ścianach zewnętrznych do sumy mocy cieplnej wszystkich grzejników w systemie grzewczym) – na podstawie oględzin stwierdzono, że wszystkie grzejniki usytuowane są przy ścianach zewnętrznych

$\eta_{H,e} = 0,77 + 0,03 \cdot 1,00 - 0,03 = 0,77$

Tabela 7. Składowe sprawności systemu grzewczego.

Lp.	Sprawność składowa	Oznaczenie	Wegiel
1	Sprawność wytwarzania ciepła	η_g	0,82
2	Sprawność przesyłania ciepła	η_d	0,90
3	Sprawność regulacji i wykorzystania	η_e	0,77
4	Sprawność akumulacji ciepła	η_s	0,90
5	Wprowadzenie przerw na ogrzewanie	w_t	1,00
6	Wprowadzenie przerw w okresie doby	W_d	1,00
7	Sprawność całkowita systemu	η	0,51143

2.2.2. ZAPOTRZEBOWANIE NA CIEPŁO I TARYFY

Taryfy opłat za gaz pokazuje tabela 8.

Tabela 8. Taryfy opłat za energię cieplną z VAT.

Składnik taryfy	Jednostka	zł
Moc zamówiona	[zł/m-c]	0,0
Cena ciepła	[zł/GJ]	96,0
Abonament	[zł/m-c]	0,0

Obliczeniowe zapotrzebowanie ciepła analizowanego budynku wyznaczone dla standardowego sezonu grzewczego wykonano przy użyciu programu Certo 2015 – zgodnie z Rozporządzeniem MIR z dnia 27.02.2015:

Tabela 9. Obliczeniowe zużycie energii analizowanego budynku w sezonie standardowym z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego.

	Jedn.	Suma
Energia pobrana	[GJ]	297,0
Moc zamówiona	[MW/mc]	0,0374

2.3. SYSTEM c.w.u.

Analizowany budynek posiada mieszany system zaopatrzenia w c.w.u. – w sezonie grzewczym c.w.u. przygotowywana jest poprzez kocioł węglowy, natomiast poza sezonem grzewczym przez pojemnościowy podgrzewacz wody.

Przyjęto zgodnie z obowiązującymi przepisami:

- Zużycie ciepłej wody użytkowej – 0,80 dm³/m²*doba
- Czas użytkowania – 200,8 doby/rok

Roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczana do budynku dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej $Q_{k,w}$ obliczono:

$$O_{k,W} = Q_{W,nd} / \eta_{W,tot}$$

Składowe sprawności systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Dla kotła węglowego – udział 80%

- Sprawność wytwarzania – 82% (kocioł węglowy)
- Sprawność akumulacji – 85% (zasobnik wyprodukowany po 2005r.)
- Sprawność transportu – 60% (instalacje małe bez izolacji cieplnej)

Dla podgrzewacza elektrycznego – udział 20%

- Sprawność wytwarzania – 96% (podgrzewacze elektryczne akumulacyjne)
- Sprawność akumulacji – 85% (zasobnik wyprodukowany po 2005r.)
- Sprawność transportu – 80% (podgrzewanie wody dla grupy punktów poboru w pobliżu)

Obliczeniowa moc cieplna na przygotowanie ciepłej wody – 8,8 kW

Obliczeniowe zapotrzebowanie na ciepło dla c.w.u. – 7842 kWh = 28,2 GJ

Obliczeniowe zapotrzebowanie na energię oraz obciążenie cieplne dla potrzeb ciepłej wody użytkowej – przed i po modernizacji – bez zmian

Na podstawie danych dotyczących zużycia gazu dla celów c.w.u. i związanych z tym opłat przyjęto do dalszych obliczeń:

- opłata za podgrzanie 1m³ c.w.u. – 35,2 zł
- opłata za 1 MW – 0,0 zł/m-c
- opłata abon. – 0,0 zł/m-c (opłata w cenie energii elektrycznej budynku)
- cena za 1 GJ – 208,0 zł/GJ – energia elektryczna
- cena za 1 GJ – 96,0 zł/GJ – węgiel

2.4. SYSTEM WENTYLACJI

W analizowanym budynku występuje grawitacyjny system wentylacji poprzez kratki wentylacyjne znajdujące się w pomieszczeniach. Założenia do wentylacji przyjęto zgodnie z RMIR z dnia 27.02.2015 w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej.

Podstawowy strumień powietrza wentylacji naturalnej do ciepła

- dla mieszkań - $V_{ve,1,s} = 0,00056 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$

Uśredniony w czasie strumień powietrza zewnętrznego w strefie ogrzewanej

- dla mieszkań - $V_{ve,1,n} = 0,2352 \text{ m}^3/\text{s}$

Przyjęty strumień powietrza wentylacyjnego – 846,7 m³/h.

3. OCENA STANU TECHNICZNEGO BUDYNKU

3.1. PRZEGRODY BUDOWLANE

Dawny budynek jest eksploatowany od ok. 150 lat. W wyniku dokonanego przeglądu nie stwierdzono spękań ścian zagrażających bezpieczeństwu.

Istniejące docieplenie z licznymi uszkodzeniami mechanicznymi oraz niewielkimi spękaniami.

Drzwi wejściowe do budynku aluminiowe – nadają się do wymiany.

Okna pomieszczeń piwnicznych stare drewniane nadają się do wymiany.

Okna budynku PCV stare – nadają się do wymiany.

Stan techniczny budynku pod względem konstrukcyjnym jest zadowalający.



Fotografia 1. Elewacja frontowa



Fotografia 2. Elewacja tylna

Podsumowując, budynek ze względu na okres kiedy został wybudowany, w sposób oczywisty nie spełnia obowiązujących obecnie wymagań dotyczących izolacyjności cieplnej przegród budowlanych określonych w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w *sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki oraz ich usytuowanie*.

W związku z powyższym rozważa się następujące przedsięwzięcia termomodernizacyjne zmierzające do poprawienia izolacyjności cieplnej przegród budowlanych analizowanego budynku:

- ♦ docieplenie ścian zewnętrznych budynku,
- ♦ docieplenie ścian podziemnych budynku,
- ♦ docieplenie stropu pod strychem nieużytkowym,
- ♦ wymiana stolarki okiennej,
- ♦ wymiana stolarki drzwiowej,

3.2. SYSTEM GRZEWczy

Analizowany budynek zasilany jest w ciepło dla celów c.o. z kotłowni na paliwo stałe zlokalizowanej w piwnicy budynku.

Ogrzewanie budynku zostały zmodernizowane w 2015 r. Zabudowano kocioł na paliwo stałe oraz wbudowano grzejniki konwekcyjne z zaworami termostatycznymi – obecnie większość zaworów niesprawna. Instalacja wymaga kompleksowej modernizacji wraz z wymianą źródła ciepła na nowe.

W związku z powyższymi przedsięwzięciami związanymi z systemem grzewczym, które przyjęto w obliczeniach audytu pracy są :

- ♦ wymiana instalacji c.o. na nową z wymianą grzejników z zaworami termostatycznymi,
- ♦ zmiana sposobu ogrzewania z kotła na paliwo stałe na pompę ciepła zasilaną z instalacji fotowoltaicznej

3.3. SYSTEM c.w.u. I WENTYLACJI

Analizowany budynek posiada mieszany system zaopatrzenia w c.w.u. – w sezonie grzewczym c.w.u. przygotowywana jest poprzez kocioł węglowy, natomiast poza sezonem grzewczym przez pojemnościowy podgrzewacz wody.

W związku z planowaną zmianą sposobu ogrzewania obiektu przyjęto, że przygotowanie c.w.u. odbywać się będzie za pomocą podgrzewaczy elektrycznych (małe zużycie c.w.u. i tworzenie rozbudowanej instalacji jest nieekonomiczne).

Do przedsięwzięć termomodernizacyjnych, które objętych opracowaniem zaliczono:

- ♦ Zmianę sposobu przygotowania c.w.u. z paliwa stałego i energii elektrycznej na elektryczne w podgrzewaczach pojemnościowych zlokalizowanych przy punktach poboru wody.

W budynku występuje wyłącznie wentylacja grawitacyjna. W uzgodnieniu z Inwestorem, ze względu na ewentualne znaczne koszty oraz trudności techniczne, już na obecnym etapie odstąpiono od usprawnień wentylacji budynku

4. WYKAZ PRZEDSIĘWZIĘĆ WYBRANYCH DO OPTYMALIZACJI

W tabeli 10 zestawiono wszystkie możliwe do zrealizowania usprawnienia o charakterze termomodernizacyjnym.

Tabela 10. Wykaz przedsięwzięć termomodernizacyjnych.

Lp.	Opis
1	Docieplenie ścian zewnętrznych budynku,
2	Docieplenie ścian zewnętrznych podziemnych budynku,
3	Docieplenie stropu pod strychem nieużytkowym (z zasypką żużla) warstwą wełny mineralnej wraz z niezbędnymi robotami towarzyszącymi,
4	Docieplenie stropu pod strychem nieużytkowym (z wełną) dodatkową warstwą wełny mineralnej wraz z niezbędnymi robotami towarzyszącymi,
5	Wymiana stolarki okiennej budynku
6	Wymiana stolarki drzwiowej budynku
7	Zmiana sposobu przygotowania c.w.u. z paliwa stałego i energii elektrycznej na elektryczne w podgrzewaczach pojemnościowych zlokalizowanych przy punktach poboru wody.
8	Wymiana instalacji c.o. na nową z wymiana grzejników z zaworami termostatycznymi oraz zmiana sposobu ogrzewania z kotła na paliwo stałe na pompę ciepła zasilaną z instalacji fotowoltaicznej
9	Montaż dodatkowej instalacji fotowoltaicznej na pokrycie zapotrzebowania na cele c.o. (ok. 50%) , c.w.u., oświetlenia i energii pomocniczej
10	Wymiana instalacji elektrycznej z wymianą opraw na nowoczesne energooszczędne LED

W dalszej części pracy przeprowadzono analizę ekonomiczną poszczególnych propozycji termomodernizacyjnych

5. OPTYMALIZACJA PRZEDSIĘWZIĘĆ TERMOMODERNIZACYJNYCH

5.1. ZMNIEJSZENIE STRAT PRZENIKANIA PRZEGRODY

Dobranie optymalnych grubości dodatkowej izolacji przegrody budowlanej dokonuje się w oparciu o poniższe formuły obliczeniowe. Za optymalną grubość docieplenia uważa się grubość dla której prosty czas zwrotu nakładów SPBT, wynikający z poniesionych kosztów i uzyskanych oszczędności, przyjmuje wartość minimalną.

$$SPBT = N_u / \sum \Delta O_{rU}; [\text{lata}]$$

gdzie:

- N_u - planowane koszty robót związanych z zmniejszeniem strat ciepła przez przenikanie dla wybranej przegrody; [zł],
- ΔO_{rU} - roczna oszczędność kosztów energii wynikająca z zastosowania usprawnienia termomodernizacyjnego [zł/rok],

5.1.1. DOCIEPLENIE ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH.

Proponuje się wykonanie ocieplenia ścian zewnętrznych budynku styropianem w systemie ETICS przy założeniu demontażu istniejącego docieplenia i wykonanie nowego. W tabeli poniżej zestawiono dane i wyniki obliczeń pozwalające na wyznaczenie optymalnej grubości docieplenia ścian. Grubość optymalną zaznaczono kolorem czerwonym. Koszt wykonania poszczególnych grubości docieplenia określono na podstawie rzeczywistych cen robót budowlanych (w koszcie docieplenia uwzględniono również demontaż istniejącego docieplenia, docieplenie ościeży wymianę obróbek blacharskich, wyrównanie podłoża itp.). Przy obliczaniu oporu cieplnego każdorazowo odejmowano wartość 1,905 jako wartość oporu usuwanego styropianu. Przyjęty współczynnik przewodności cieplnej styropianu $\lambda=0,031$.

A – powierzchnia ścian do obliczeń cieplnych

A' – powierzchnia ścian do kosztów inwestycji

Tabela 11. Wybór optymalnej grubości docieplenia ścian zewnętrznych

grubość dociepl.	Sd	A	Qou	Q1u	qou	q1u	cena jednostk.	Nu	R	SPBT
[cm]	[dzień K/rok]	[m ²]	[GJ/rok]	[GJ/rok]	[MW]	[MW]	[zł/m ²]	[zł]	[m ² K/W]	[lata]
istniejąca			48,55		0,0058			-	2,985	-
10,0	3847,5	436,00	A"	33,66	0,0041	0,0041	560,0	285600,0	4,306	199,75
11,0				31,31		0,0038	600,0	306000,0	4,628	184,89
12,0				29,27		0,0035	640,0	326400,0	4,951	176,35
13,0				27,48		0,0033	680,0	346800,0	5,274	171,45
14,0				25,90		0,0031	720,0	367200,0	5,596	168,84
15,0				24,49		0,0029	770,0	392700,0	5,919	169,97
16,0				23,22		0,0028	820,0	418200,0	6,241	171,97

Optymalną warstwą docieplenia ścian zewnętrznych spełniającą WT, będzie warstwa styropianu o grubości 14 cm ($\lambda=0,031$).

5.1.2. DOCIEPLENIE ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH PODZIEMNYCH BUDYNKU.

Proponuje się wykonanie ocieplenia ściany zewnętrznej podziemnej budynku styropianem w systemie ETICS. W tabeli 12 zestawiono dane i wyniki obliczeń pozwalające na wyznaczenie optymalnej grubości docieplenia ścian. Grubość optymalną zaznaczono kolorem czerwonym. Koszt wykonania poszczególnych grubości docieplenia określono na podstawie rzeczywistych cen robót dociepleniowych w regionie. Przyjęty współczynnik przewodności cieplnej styropianu $\lambda=0,036$.

A – powierzchnia docieplanych ścian do obliczeń cieplnych

A' – powierzchnia docieplanych ścian do obliczenia kosztów inwestycji

Tabela 12. Wybór optymalnej grubości docieplenia ściany podziemnej budynku.

grubość dociepl.	Sd	A	Qou	Q1u	qou	q1u	cena jednostk.	Nu	R	SPBT
[cm]	[dzień K/rok]	[m ²]	[GJ/rok]	[GJ/rok]	[MW]	[MW]	[zł/m ²]	[zł]	[m ² K/W]	[lata]
istniejąca		A	3,06		0,0026			-	1,21	-
8,0	548,5	78,00	A'	1,08	0,0009	0,0009	870,0	67860,0	3,43	355,89
9,0				1,00		0,0008	890,0	69420,0	3,71	349,84
10,0				0,93		0,0008	910,0	70980,0	3,98	346,06
11,0				0,87		0,0007	930,0	72540,0	4,26	343,93
12,0				0,81		0,0007	950,0	74100,0	4,54	343,04
13,0				0,77		0,0006	980,0	76440,0	4,82	346,64
14,0				0,73		0,0006	1020,0	79560,0	5,10	354,34

Optymalną warstwą docieplenia ścian zewnętrznych podziemnych budynku będzie warstwa styropianu o grubości 14 cm i taką przyjęto do dalszych obliczeń.

5.1.3. **DOCIEPLENIE STROPU POD STRCHEM NIEUŻYTKOWYM Z ZASYPKĄ Z ŻUŻLA.**

Proponuje się wykonanie ocieplenia podłogi drewnianej pod strychem nieużytkowym (część podłogi z zasypką z żużla) z wykonaniem niezbędnych robót towarzyszących. W tabeli 13 zestawiono dane i wyniki obliczeń pozwalające na wyznaczenie optymalnej grubości docieplenia. Grubość optymalną zaznaczono kolorem czerwonym. W kosztach niezbędnych robót towarzyszących uwzględniono demontaż istniejącej podłogi z desek, usunięcie istniejącej zasypki żużlowej, wykonanie paroizolacji oraz wykonanie nowej podłogi z płyt OSB3 i pokrycia dachu. Przy obliczaniu oporu cieplnego każdorazowo odejmowano wartość 0,286 jako wartość oporu usuwanej zasypki. Przyjęty współczynnik przewodności cieplnej wełny $\lambda=0,033$. (Do obliczeń S_d przyjęto temp. poddasza 8°C)

Tabela 13. Wybór optymalnej grubości docieplenia stropu pod strychem (żużel).

grubość dociepl.	S_d	A	Q_{ou}	Q_{1u}	q_{ou}	q_{1u}	cena jednostk.	Nu	R	SPBT
[cm]	[dzień K/rok]	[m ²]	[GJ/rok]	[GJ/rok]	[MW]	[MW]	zł/m ²	[zł]	[m ² K/W]	[lata]
istniejąca	1183,5	88,0	9,16		0,0036			-	0,98	-
16,0				1,62		0,0006	541,0	47608,0	5,54	65,79
17,0				1,54		0,0006	544,0	47872,0	5,85	65,43
18,0				1,46		0,0006	546,0	48048,0	6,15	65,02
19,0				1,39		0,0005	548,0	48224,0	6,45	64,68
20,0				1,33		0,0005	550,0	48400,0	6,76	64,40
21,0				1,27		0,0005	555,0	48840,0	7,06	64,51
22,0				1,22		0,0005	560,0	49280,0	7,36	64,67

Przyjęto jako optymalną warstwę docieplenia stropu będzie warstwa wełny mineralnej o grubości 20 cm i taką przyjęto do dalszych obliczeń.

5.1.4. **DOCIEPLENIE STROPU POD STRCHEM NIEUŻYTKOWYM Z ISTNIEJĄCĄ IZOLACJĄ Z WEŁNY.**

Proponuje się wykonanie ocieplenia podłogi drewnianej pod strychem nieużytkowym (część podłogi z istniejącą izolacją z wełny) z wykonaniem niezbędnych robót towarzyszących. W tabeli 14 zestawiono dane i wyniki obliczeń pozwalające na wyznaczenie optymalnej grubości docieplenia. Grubość optymalną zaznaczono kolorem czerwonym. W kosztach niezbędnych robót towarzyszących uwzględniono usunięcie istniejącej podłogi z desek dołożenie docieplenia z wełny oraz wykonanie nowej podłogi z płyt OSB3. Przyjęty współczynnik przewodności cieplnej wełny $\lambda=0,033$. (Do obliczeń S_d przyjęto temp. poddasza 8°C)

Tabela 14. Wybór optymalnej grubości docieplenia stropu pod strychem (wełna).

grubość dociepl.	S_d	A	Q_{ou}	Q_{1u}	q_{ou}	q_{1u}	cena jednostk.	Nu	R	SPBT
[cm]	[dzień K/rok]	[m ²]	[GJ/rok]	[GJ/rok]	[MW]	[MW]	zł/m ²	[zł]	[m ² K/W]	[lata]
istniejąca	1183,5	160,0	4,70		0,0018			-	3,48	-
8,0				2,77		0,0011	322,0	51520,0	5,91	278,57
9,0				2,63		0,0010	330,0	52800,0	6,21	266,78
10,0				2,51		0,0010	336,0	53760,0	6,51	256,39
11,0				2,40		0,0009	343,0	54880,0	6,82	249,01
12,0				2,30		0,0009	350,0	56000,0	7,12	243,27
13,0				2,20		0,0009	365,0	58400,0	7,42	244,15
14,0				2,12		0,0008	380,0	60800,0	7,73	245,66

Przyjęto jako optymalną warstwę docieplenia stropu będzie warstwa wełny mineralnej o grubości 12 cm i taką przyjęto do dalszych obliczeń.

5.2. ZMNIEJSZENIE STRAT PRZENIKANIA PRZEZ STOLARKĘ

Wybranie optymalnego usprawnienia termomodernizacyjnego polegającego na wymianie okien i drzwi (optymalny współczynnik przenikania ciepła) odbywa się w oparciu o poniższe formuły obliczeniowe. Za optymalne usprawnienie uważa się takie usprawnienie dla którego prosty czas nakładów SPBT przyjmuje wartość minimalną.

$$SPBT = N_{Ok} / \Sigma \Delta O_{rOk}; [\text{lata}]$$

gdzie:

- N_{Ok} - planowane koszty robót związane z wymianą okien lub drzwi; [zł],
 ΔO_{rU} - roczna oszczędność kosztów energii wynikająca z wymiany okien; [zł/rok],

5.2.1. Wymiana stolarki okiennej.

Proponuje się wymianę istniejących okien budynku na nowe PVC/aluminium o lepszej izolacyjności cieplnej wraz z montażem nawiewników.

W rozważaniach brano pod uwagę typy okien:

- ♦ o współczynniku przenikania ciepła $U = 0,90 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$,
- ♦ o współczynniku przenikania ciepła $U = 0,85 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$,
- ♦ o współczynniku przenikania ciepła $U = 0,80 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$,

Tabela 15. Wybór optymalnego wariantu wymiany stolarki okiennej

drzwi	Sd	A	Qou	Q1u	qou	q1u	cena jednostk.	N	SPBT
[W/m ² K]	[dzień K/rok]	[m ²]	[GJ/rok]	[GJ/rok]	[MW]	[MW]	[zł/m ²]	[zł]	[lata]
istn. 2,00			153,16		0,0178			-	-
0,80				116,88		0,0141	3800,0	296210,0	88,20
0,85	3847,5	78,0		118,17		0,0142	3000,0	233850,0	69,63
0,90				119,47		0,0144	2500,0	194875,0	60,26

Optymalnym rodzajem stolarki okiennej – okna $U=0,9\text{W/m}^2\text{K}$

5.2.2. Wymiana stolarki drzwiowej.

Proponuje się wymianę istniejącej stolarki drzwiowej zewnętrznej na nową aluminium.

W obliczeniach brano pod uwagę typy drzwi:

- ♦ o współczynniku przenikania ciepła $U = 1,00 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$,
- ♦ o współczynniku przenikania ciepła $U = 1,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$,
- ♦ o współczynniku przenikania ciepła $U = 1,30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$,

Tabela 16. Wybór optymalnego wariantu wymiany stolarki drzwiowej

drzwi	Sd	A	Qou	Q1u	qou	q1u	cena jednostk.	N	SPBT
[W/m ² K]	[dzień K/rok]	[m ²]	[GJ/rok]	[GJ/rok]	[MW]	[MW]	[zł/m ²]	[zł]	[lata]
istn. 2,60			100,90		0,0121			-	-
1,00				97,98		0,0118	10000,0	55000,0	208,90
1,10	3847,5	5,5		98,16		0,0118	7000,0	38500,0	146,23
1,30				98,53		0,0118	4500,0	24750,0	108,47

Optymalnym rodzajem stolarki drzwiowej – drzwi $U=1,3\text{W/m}^2\text{K}$

5.3. ZMNIEJSZENIE ZAPOTRZEBOWANIA NA CIEPŁO NA PRZYGOTOWANIE CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ

Wybranie optymalnego usprawnienia termomodernizacyjnego dotyczącego zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej odbywa się w oparciu o poniższe formuły obliczeniowe. Za optymalny uważa wariant dla którego prosty czas zwrotu nakładów SPBT, wynikający z poniesionych kosztów i uzyskanych oszczędności, przyjmuje wartość minimalną.

$$SPBT = N_{cw} / \Sigma \Delta O_{rcw}; [\text{lata}]$$

gdzie:

- N_{cw} - planowane koszty robót związanych ze zmniejszeniem zapotrzebowania na ciepło na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej; [zł],
 ΔO_{rcw} - roczna oszczędność kosztów energii wynikająca z zastosowania usprawnienia termomodernizacyjnego [zł/rok],

W uzgodnieniu z Inwestorem w opracowaniu przyjęto jako przedsięwzięcie:

- Zmiana sposobu przygotowania c.w.u. na podgrzewacze elektryczne zasilane z instalacji fotowoltaicznej.

W związku z planowaną zmianą przeznaczenia obiektu na obiekt izby pamięci/muzeum, przyjęto zgodnie z obowiązującymi przepisami:

- Zużycie ciepłej wody użytkowej – 0,35 dm³/m²*doba
- Czas użytkowania – 255,5 doby/rok

Podgrzewanie energią elektryczną z instalacji fotowoltaicznej – udział 100%

- Sprawność wytwarzania – 96%
- Sprawność akumulacji – 90%
- Sprawność transportu – 100%,

118

Koszt modernizacji systemu c.w.u. - 60 000,0 zł

Cena za ciepło na cele c.w.u. po modernizacji systemu

Składnik taryfy	Jednostka	Cena z VAT
Moc zamówiona	[zł/MW/m-c]	0,0
Opłata abonamentowa	[zł/m-c]	0,0
Cena ciepła średnia	[zł/GJ]	52,0

Tabela 17. Zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło dla celów c.w.u.

Rodzaj usprawnienia	Q _{co} [GJ/rok]	Q _{1cw} [GJ/rok]	q _{ocw} [MW]	q _{1cw} [MW]	N _{co} [zł]	DO _{co} [zł/rok]	SPBT [lata]
modernizacja instalacji c.w.u.	28,2	8,2	0,0088	0,0039	60000,0	2912,48	20,60

Do dalszego opracowania przyjęto modernizację systemu podgrzewania ciepłej wody użytkowej.

5.2. POPRAWA SPRAWNOŚCI CIEPLNEJ SYSTEMU GRZEWczego

Wybranie optymalnego usprawnienia termomodernizacyjnego dotyczącego poprawy sprawności cieplnej systemu grzewczego odbywa się w oparciu o poniższe formuły obliczeniowe. Za optymalne usprawnienie uważa się takie usprawnienie dla którego dla którego prosty czas zwrotu SPBT przyjmuje wartość minimalną.

$$SPBT = N_{co} / \Delta O_{rco}; [\text{lata}]$$

gdzie:

N_{co} - planowane koszty robót wynikające z zastosowania wariantu przedsięwzięcia dotyczącego poprawy sprawności systemu grzewczego; [zł],

ΔO_{rco} - roczna oszczędność kosztów energii; [zł/rok],

Wartość rocznej oszczędności kosztów energii ΔO_{rco} źródła oblicza się ze wzoru:

$$\Delta O_{rco} = (x_0 \cdot w_{to} \cdot w_{do} \cdot Q_{oco} \cdot O_{oz} / \eta_o - x_1 \cdot w_{tl} \cdot w_{dl} \cdot Q_{oco} \cdot O_{tz} / \eta_1) + 12 \cdot (y_0 \cdot q_{0m} \cdot O_{0m} - y_1 \cdot q_{1m} \cdot O_{1m}) + 12 \cdot (A_{b0} - A_{b1}); [\text{zł/rok}]$$

gdzie:

Q_{oco} - sezonowe zapotrzebowanie budynku na ciepło przed termomodernizacją; [GJ/rok],

η_o, η_1 - całkowita sprawność systemu ogrzewania przed i po termomodernizacji

w_{to}, w_{tl} - współczynniki uwzględniające przerwy w ogrzewaniu w okresie tygodnia,

w_{do}, w_{dl} - współczynniki uwzględniające przerwy w ogrzewaniu w okresie dnia

$$\eta = \eta_w \times \eta_p \times \eta_r \times \eta_c$$

Analizowany budynek zasilany jest w ciepło dla celów c.o. z kotłowni na paliwo stałe zlokalizowanej w piwnicy budynku.

Ogrzewanie budynku zostały zmodernizowane w 2015 r. Zabudowano kocioł na paliwo stałe oraz wbudowano grzejniki konwekcyjne z zaworami termostatycznymi – obecnie większość zaworów niesprawna. Instalacja wymaga kompleksowej modernizacji wraz z wymianą źródła ciepła na nowe.

W związku z powyższymi przedsięwzięciami związanymi z systemem grzewczym, które przyjęto w obliczeniach audytu pracy są:

- Wymiana instalacji c.o. na nową z wymianą grzejników z zaworami termostatycznymi oraz zmiana sposobu ogrzewania z kotła na paliwo stałe na pompę ciepła zasilaną z instalacji fotowoltaicznej – 600 000,0 zł,

LP	Rodzaje usprawnień termomodernizacyjnych		Współczynnik sprawności
1	Sprawność wytwarzania ciepła – pompa ciepła	η_{Hg}	3,00
2	Sprawność przesyłania ciepła – instalacji i wymiana grzejników	η_{Hd}	0,96
3	Sprawność regulacji i wykorzystania – montaż zaworów termostatycznych,	η_{He}	0,88
4	Sprawność akumulacji ciepła – wymiana zbiornika buforowego	η_{Hs}	0,95
5	Wprowadzenie przerw na ogrzewanie w okresie tygodnia - brak usprawnienia	w_t	1,00
6	Wprowadzenie przerw w okresie doby – brak usprawnienia	w_d	1,00
7	Sprawność całkowita systemu	η	2,4077

Składnik taryfy po usprawnieniu	Jednostka	Cena z VAT
Moc zamówiona	[zł/m-c]	0,00
Cena ciepła	[zł/GJ]	100,2

Przyjęto zasilanie pompy ciepła w energię elektryczną w 50% z paneli fotowoltaicznych i w 50% z sieci energetycznej.

Tabela 19. Poprawa sprawność systemu grzewczego

Rodzaj usprawnienia	hw	hp	hr	hc	h	Qoco	qo	q1	Nco	DOrco	SPBT
						[GJ/rok]	[MW]	[MW]	[zł]	[zł/rok]	[lata]
wymiana instalacji i pompa ciepła	3,00	0,96	0,88	0,95	2,4077	297,00	0,0374	0,0374	600000,0	36286,26	16,54

5.5. INSTALACJA FOTOWIOLTAICZNA

W opracowaniu proponuje się montaż dodatkowej instalacji fotowoltaicznej dla celów oświetlenia, c.w.u. oraz pompy ciepła dla celów c.o. (obecnie zamontowana jest instalacja o mocy 10,15kWp),

Przyjęto dodatkowa moc instalacji 5,0kWp. Założono produkcję 985kWh/rok z zainstalowanego 1kWp w pierwszym roku, a następnie spadek produkcji o 0,5% co roku.

Szacunkowa średnioroczna produkcja energii dla instalacji:

		ROK UŻYTKOWANIA									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Roczny uzysk energii dodatkowej 5,0kWp	kWh / rok	4925	4900	4876	4851	4827	4803	4779	4755	4731	4708
Łączny roczny uzysk energii dodatkowej 15,15kWp	kWh / rok	14923	14848	14774	14700	14626	14553	14481	14408	14336	14264

5.6. INSTALACJA OŚWIETLENIA WBUDOWANEGO

W opracowaniu zakłada się wymianę instalacji elektrycznej wraz z wymianą opraw na nowe energooszczędne LED

W opracowaniu przyjęto następujące założenia dla oświetlenia wbudowanego dla stanu istniejącego i stanu projektowanego (zgodnie z obowiązującymi wymaganiami) oraz wynikające z tych założeń wartości obliczeniowe:

	Moc jednostkowa opraw [W/m ²]	Czas użytkowania [h/rok]	Zapotrzebowanie na energię końcową [kWh/rok]	Współczynnik nakładu	Zapotrzebowanie na energię pierwotną [kWh/rok]
Stan istniejący	15	2500	13632	2,5	34080
Stan po modernizacji	7	2500	6912	2,5	17280

5.7. POSUMOWANIE

W tabeli 20 zestawiono wyłonione powyżej zoptymalizowane usprawnienia termomodernizacyjne zmierzające do zmniejszenia zapotrzebowania analizowanego budynku na ciepło w wyniku zmniejszenia strat przegrody zewnętrzne.

Tabela 20. Zoptymalizowane usprawnienia zmniejszające straty ciepła przez przegrody.

Lp.	Rodzaj usprawnienia	Planowane koszty	SPBT
		[zł]	[lata]
1.	Zmiana sposobu przygotowania c.w.u. na podgrzewacze elektryczne zasilane z instalacji fotowoltaicznej.	60 000,0	20,60
2.	Wymiana stolarki okiennej na nową PCV/aluminium o współczynniku przenikania ciepła 0,90 W/m ² K	194 875,0	60,26
3.	Docieplenie stropu (z żużlem) pod strychem nieużytkowym wełną mineralną gr. 20 cm ($\lambda=0,033$) z wykonaniem niezbędnych robót towarzyszących, przy założeniu usunięcia istniejącej zasypki żużlowej	48 400,0	64,40
4.	Wymiana stolarki drzwiowej na nową aluminiową o współczynniku przenikania ciepła 1,3 W/m ² K	24 750,0	108,47
5.	Docieplenie ścian zewnętrznych styropianem gr. 14 cm $\lambda=0,031$ w systemie ETICS – przy założeniu demontażu istniejącego ocieplenia i wykonaniu nowego z niezbędnymi robotami towarzyszącymi	367 200,0	168,84
6.	Docieplenie stropu (z wełną mineralną) pod strychem nieużytkowym wełną mineralną gr. 12 cm ($\lambda=0,033$) z wykonaniem niezbędnych robót towarzyszących, jako dołożenie dodatkowej warstwy docieplenia z wełny	56 000,0	243,27
7.	Docieplenie ścian zewnętrznych podziemnych budynku styropianem gr. 14 cm $\lambda=0,036$ w systemie ETICS (styropian izolacyjny XPS) – z wykonaniem niezbędnych robót towarzyszących	74 100,0	343,04
8.	Modernizacja systemu grzewczego obejmująca wymianę instalacji c.o. na nową z wymianą grzejników z zaworami termostatycznymi oraz zmiana sposobu ogrzewania z kotła na paliwo stałe na pompę ciepła zasilaną z instalacji fotowoltaicznej	600 000,0	16,54
Roboty dodatkowe związane z oszczędnością energii w obiekcie			
9	Montaż instalacji fotowoltaicznej – 5,0 kWp	80 000,0 zł	
10	Wymiana instalacji elektrycznej wraz z wymianą istniejących jarzeniowych źródeł światła na nowe energooszczędne typu LED	400 000,0 zł	

6. WYBÓR OPTIMALNEGO WARIANTU TERMOMODERNIZACJI

W celu wyznaczenia optymalnego przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, o którym mowa w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 roku w sprawie *szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego, a także części audytu remontowego i zmiana z 15.12.2022*, dla poszczególnych wariantów przedsięwzięcia termomodernizacyjnego składających się z zestawu usprawnień termomodernizacyjnych dotyczących zmniejszenia strat ciepła przez przegrody budowlane, uzupełnionych o optymalny wariant przedsięwzięcia poprawiającego sprawność całkowitą systemu grzewczego oblicza się kolejno:

- ♦ planowane koszty całkowite N (w tym koszty opracowania audytu energetycznego i dokumentacji projektowej oraz koszty związane ze spełnieniem obowiązujących przepisów techniczno-budowlanych, również w przypadku gdy działanie to nie przynosi oszczędności energii),
- ♦ kwotę rocznych oszczędności ΔO_r przewidzianą do uzyskania w wyniku realizacji przedsięwzięcia

$$\Delta O_{rco} = (w_{to} * w_{do} * Q_{oco} / \eta_o + Q_{ocw}) * O_{0z} - (w_{t1} * w_{d1} * Q_{1co} / \eta_1 + Q_{1cw}) * O_{0z} + 12 * [(q_{0m} + q_{0cw}) * Q_{om} - (q_{1m} + q_{1cw}) * Q_{1m}] + 12 * (Ab_0 - Ab_1) ; [zł/rok]$$

- ♦ zmniejszenie (w %) zapotrzebowania na ciepło w stosunku do stanu wyjściowego przed termomodernizacją z uwzględnieniem sprawności całkowitej,

$$\Delta Q = \frac{(w_{do} w_{to} Q_{oco} / \eta_o + Q_{ocw} / \eta_{ocw}) - (w_{d1} w_{t1} Q_{1co} / \eta_1 + Q_{1cw} / \eta_{1cw})}{(w_{do} w_{to} Q_{oco} / \eta_o + Q_{ocw})} \times 100 \quad [\%]$$

Wykaz kombinacji zoptymalizowanych przedsięwzięć termomodernizacyjnych z wartościami obliczonych dla nich parametrów opisanych powyższymi formułami matematycznymi w tabeli 21.

Sezonowe zapotrzebowanie na ciepło analizowanego budynku oraz maksymalne zapotrzebowanie mocy ciepła dla stanu istniejącego oraz każdej z zaproponowanych kombinacji. Wydruki danych i wyników obliczeń programu dla stanu istniejącego oraz wybranego wariantu znajdują się w załączniku II do pracy.

Tabela 21. Kombinacje przedsięwzięć termomodernizacyjnych.

L.p.	Wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego	Planowane koszty całkowite „brutto”	Roczna oszczęd. kosztów energii	Procent. oszczęd. zapotrzeb. na energię z uwzględnieniem sprawności całkowitej ΔQ	Premia termomod.
		[zł]			[zł]
1	2	3	4	5	7
A	1+2+3+4+5+6+7+8+9+10	1 905 325,0	28 603,6	88,82	495 384,5
B	1+2+3+4+5+6+8+9+10	1 831 225,0	28 270,7	87,80	476 118,5
C	1+2+3+4+5+8+9+10	1 775 225,0	28 004,3	86,98	461 558,5
D	1+2+3+4+8+9+10	1 408 025,0	27 155,4	84,38	366 086,5
E	1+2+3+8+9+10	1 383 275,0	27 059,6	84,08	359 651,5
F	1+2+8+9+10	1 334 875,0	26 177,4	81,37	347 067,5

G	1+8+9+10	1 140 000,0	25 103,7	78,08	296 400,0
H	8+9+10	1 080 000,0	22 191,2	71,93	280 800,0

1) Podane wartości kosztów całkowitych zadania są wartościami „brutto”

Zgodnie z Ustawą z dnia 21 listopada 2008 roku o wspieraniu termomodernizacji i remontów oraz centralnej ewidencji emisyjności budynków zmniejszenie rocznego zapotrzebowania na energię uzyskane w wyniku realizacji wybranej kombinacji przedsięwzięć termomodernizacyjnych powinno wynosić co najmniej 25%. W przedmiotowym opracowaniu wyliczone oszczędności energii stanowią 88,82% - wymagania Ustawy są spełnione.

Do realizacji przyjęto jako optymalną kombinacją przedsięwzięć termomodernizacyjnych przewidującą wykonanie:

Lp.	Rodzaj usprawnienia
1.	Zmiana sposobu przygotowania c.w.u. na podgrzewacze elektryczne zasilane z instalacji fotowoltaicznej.
2.	Wymiana stolarki okiennej na nową PCV/aluminium o współczynniku przenikania ciepła 0,90 W/m ² K
3.	Docieplenie stropu (z żużlem) pod strychem nieużytkowym wełną mineralną gr. 20 cm ($\lambda=0,033$) z wykonaniem niezbędnych robót towarzyszących, przy założeniu usunięcia istniejącej zasypki żużlowej
4.	Wymiana stolarki drzwiowej na nową aluminiową o współczynniku przenikania ciepła 1,3 W/m ² K
5.	Docieplenie ścian zewnętrznych styropianem gr. 14 cm $\lambda=0,031$ w systemie ETICS – przy założeniu demontażu istniejącego ocieplenia i wykonaniu nowego z niezbędnymi robotami towarzyszącymi
6.	Docieplenie stropu (z wełną mineralną) pod strychem nieużytkowym wełną mineralną gr. 12 cm ($\lambda=0,033$) z wykonaniem niezbędnych robót towarzyszących, jako dołożenie dodatkowej warstwy docieplenia z wełny
7.	Docieplenie ścian zewnętrznych podziemnych budynku styropianem gr. 14 cm $\lambda=0,036$ w systemie ETICS (styropian izolacyjny XPS) – z wykonaniem niezbędnych robót towarzyszących
8.	Modernizacja systemu grzewczego obejmująca wymianę instalacji c.o. na nową z wymianą grzejników z zaworami termostatycznymi oraz zmiana sposobu ogrzewania z kotła na paliwo stałe na pompę ciepła zasilaną z instalacji fotowoltaicznej
9.	Montaż instalacji fotowoltaicznej – 5,0 kWp
10.	Wymiana instalacji elektrycznej wraz z wymianą istniejących jarzeniowych źródeł światła na nowe energooszczędne typu LED

Informacje dla Inwestora

– Oszczędność c.o. bez uwzględniania c.w.u. – 90,52%

7. WYLICZENIE ROCZNYCH OSZCZĘDNOŚCI KOSZTÓW OGRZEWANIA I OSZCZĘDNOŚCI ENERGII DLA OPTIMALNEGO WARIANTU MODERNIZACJI

Roczna oszczędność energii

(wg obliczeń uzyskanych dla sezonu standardowego):

$$\Delta Q = \frac{(w_{do} w_{to} Q_{oco} / \eta_o + Q_{ocw} / \eta_{ow}) - (w_{d1} w_{t1} Q_{lco} / \eta_1 + Q_{lcw} / \eta_{ow})_1}{(w_{do} w_{to} Q_{oco} / \eta_o + Q_{ocw} / \eta_{ow})} \times 100 ; [\%]$$

$$Q_{oco} = 151,9 \text{ [GJ/rok]}$$

$$Q_{ocl} = 67,8 \text{ [GJ/rok]}$$

$$\eta_o = 0,5114$$

$$\eta_1 = 2,4077$$

$$w_{d0} = 1,0$$

$$w_{d1} = 1,0$$

$$Q_{ocw} = 28,2 \text{ [GJ/rok]}$$

$$Q_{lcw} = 8,2 \text{ [GJ/rok]}$$

$$\Delta Q = ((1,0 \cdot 1,0 \cdot 151,9 / 0,5114 + 28,2) - (1,0 \cdot 1,0 \cdot 67,8 / 2,4077 + 8,2)) \cdot 100 / (1,0 \cdot 1,0 \cdot 151,9 / 0,5114 + 28,2)$$

$$\Delta Q = 88,82 \%$$

Roczna oszczędność kosztów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody

(wg obliczeń uzyskanych dla sezonu standardowego z uwzględnieniem obecnej mocy):

$q_o = 37,4 \text{ kW}$ – wartość uzyskana z obliczeń dla sezonu standardowego (przed termom.)

$q_1 = 26,4 \text{ kW}$ – wartość uzyskana z obliczeń dla sezonu standardowego (po termom.)

$$O_z \text{ c.o.} = 96,00 \text{ [zł/GJ]}$$

$$O_{z1} \text{ c.o.} = 100,2 \text{ [zł/GJ]}$$

$$O_m \text{ c.o.} = 0,00 \text{ [zł/MW*m.-c]}$$

$$O_z \text{ cwu.} = 118,40 \text{ [zł/GJ]}$$

$$O_{z1} \text{ cwu.} = 52,0 \text{ [zł/GJ]}$$

$$O_m \text{ c.o.} = 0,0 \text{ [zł/MW*m.-c]}$$

$$A_b \text{ co} = 0,0 \text{ [zł/m-c]}$$

$$A_b \text{ cwu} = 0,0 \text{ [zł/m-c]}$$

Koszt ogrzewania i cwu – stan istniejący

$$K_o = w_{do} \cdot w_{to} \cdot Q_{oco} / \eta_o \cdot O_z + 12 \cdot O_m \cdot q_{om} + 12 \cdot A_b + Q_{ocw} / \eta_{ow} \cdot O_{zcwu} + 12 \cdot O_{mcwu} \cdot q_{ocw} + 12 \cdot A_b \cdot cwu$$

$$K_o = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 151,9 / 0,5114 \cdot 96,00 + 12 \cdot 0,00 \cdot 0,0374 + 12 \cdot 0,0 + 118,40 \cdot 28,2 +$$

$$12 \cdot 0,0 \cdot 0,0088 + 12 \cdot 0,00$$

$$K_o = 31\,851,6 \text{ zł}$$

Koszt ogrzewania i cwu – stan po termomodernizacji

$$K_1 = w_{d0} \cdot w_{t0} \cdot Q_{lco} / \eta_1 \cdot O_z + 12 \cdot O_m \cdot q_{1m} + 12 \cdot A_b + Q_{ocw} / \eta_{ow} \cdot O_{zcwu} + 12 \cdot O_{mcwu} \cdot q_{ocw} + 12 \cdot A_b \cdot cwu$$

$$K_1 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 67,8 / 2,4077 \cdot 100,20 + 12 \cdot 0,00 \cdot 0,0264 + 12 \cdot 0,0 + 52,00 \cdot 8,2 +$$

$$12 \cdot 0,0 \cdot 0,0039 + 12 \cdot 0,00$$

$$K_1 = 3\,248,0 \text{ zł}$$

$$\Delta K = K_o - K_1 = 31\,851,6 \text{ zł} - 3\,248,0 \text{ zł} = 28\,603,6 \text{ zł}$$

8. ZAŁĄCZNIKI

Załącznik I	<i>Rysunki budowlane budynku dawnej szkoły położonego w Witkowie 89</i>
Załącznik II	<i>Wydruki danych i wyników obliczeń sezonowego zapotrzebowania ciepła oraz obciążenia cieplnego dla stanu istniejącego oraz wybranego wariantu przedsięwzięć termomodernizacyjnych – program Certo</i>

LITERATURA:

1. PN-EN-ISO-6946: 1998r. „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczeń.”
2. PN-EN-13790:2009 Energetyczne właściwości użytkowe budynków – obliczenie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.
3. PN-ISO-9836: 1997r. „Właściwości użytkowe w budownictwie. Określanie i obliczanie wskaźników powierzchniowych i kubaturowych.”
4. PN-82/B-02402. „Temperatury ogrzewanych pomieszczeń w budynkach.”
5. PN-82/B-02403. „Temperatury obliczeniowe zewnętrzne.”
6. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. – z późniejszymi zmianami
7. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r.. w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytu , a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego oraz zmiana z dnia 29.12.2022.
8. Ustawa z dnia 21 listopada 2008 roku o wspieraniu termomodernizacji i remontów oraz centralnej ewidencji emisyjności budynków.
9. Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27.02.2015 w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku i części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej.