

AUDYT EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ

1. Przedsięwzięcie służące poprawie efektywności energetycznej:

TERMOMODERNIZACJA BUDYNKU

SZKOŁY PODSTAWOWEJ NR 17

2. Podmiot, u którego zostanie zrealizowane przedsięwzięcie:

Nazwa: **Gmina - Miasto Płock**

Adres: **09 - 400 Płock, pl. Stary Rynek 1**

3. Miejsce lokalizacji przedsięwzięcia:

Adres: **Płock, ul. Miodowa 18**

4. Audyt sporządził:

Imię i nazwisko: **Barbara Kosowska**

5. Data sporządzenia audytu: **wrzesień 2019 r.**

KARTA AUDYTU EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ		Data wykonania		
		19.09.2019		
Podstawowe informacje dotyczące przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności energetycznej				
Przedsięwzięcie służące poprawie efektywności energetycznej:	Termomodernizacja budynku Szkoły Podstawowej Nr 17 w Płocku			
Opis przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności energetycznej (max. 250 znaków):	Ocieplenie stropodachu, ocieplenie dachu, ocieplenie ścian zewnętrznych, wymiana drzwi, modernizacja wentylacji, wymiana instalacji c.o., wymiana źródła ciepła, montaż Systemu Zarządzania Energią			
Dane podmiotu, u którego będzie realizowane/ zostało zrealizowane * przedsięwzięcie służące poprawie efektywności energetycznej lub podmiotu upoważnionego (numer PESEL albo nazwa):	Gmina - Miasto Płock, pl. Stary Rynek 1, 09-400 Płock			
Planowana data rozpoczęcia realizacji przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności energetycznej:**	Data zakończenia realizacji przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności energetycznej:***	Wyrażony w latach kalendarzowych okres uzyskiwania oszczędności energii:		
Grudzień 2019	-	15 lat		
Parametry przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności energetycznej				
Średnioroczna ilość energii finalnej planowanej do zaoszczędzenia:**	732 981	[kWh/rok]	63,02	[toe/rok]
Średnioroczna ilość energii pierwotnej planowanej do zaoszczędzenia:**	624 499	[kWh/rok]	53,70	[toe/rok]
Średnioroczna ilość zaoszczędzonej energii finalnej:***		[kWh/rok]		[toe/rok]
Średnioroczna ilość zaoszczędzonej energii pierwotnej:***		[kWh/rok]		[toe/rok]
Dane sporządzającego audyt efektywności energetycznej				
Imię i nazwisko:	Barbara Kosowska			
Nr telefonu:	608 163 419			
Podpis:				

* Niepotrzebne skreślić

** W przypadku planowanego przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności energetycznej

*** W przypadku zrealizowanego przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności energetycznej

1. Spis treści

1. Spis treści.....	3
2. Podstawa opracowania.	4
2.1 Cel i zakres opracowania.....	4
2.2 Materiały wykorzystane w opracowaniu.....	4
2.3 Metodyka obliczeń.....	5
3. Inwentaryzacja techniczno-budowlana budynku.....	6
4. Ocena stanu technicznego budynku.....	7
5. Usprawnienia i przedsięwzięcia termomodernizacyjne, wybrane na podstawie oceny stanu technicznego.....	7
6. Określenie optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego.....	8
6.1 Wskazanie rodzajów usprawnień termomodernizacyjnych dotyczących zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło.....	8
6.2 Usprawnienia mające na celu zmniejszenie strat przez przegrody zewnętrzne.....	8
6.3 Usprawnienia mające na celu zmniejszenie strat przez okna lub drzwi oraz poprawie systemu wentylacji.....	16
6.4 Metoda wyznaczania optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego poprawiającego sprawność systemu grzewczego.....	20
7. Opis przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności energetycznej.....	23
7.1. Opis techniczny usprawnień.....	23
7.2. Obliczenie efektywności energetycznej i efektów ekologicznych.....	25
7.2.1. Projektowana strata ciepła.....	26
7.2.2. Roczne zapotrzebowanie na energię przed modernizacją wg PN-EN-ISO 13 790; 2009.	28
7.2.3. Roczne zapotrzebowanie na energię po modernizacji wg PN-EN-ISO 13 790; 2009.....	29
7.2.4. Obliczenie zużycia energii finalnej.....	30
7.2.5. Obliczenie zużycia energii pierwotnej.....	30
7.2.6. Obliczenie efektu ekologicznego.....	31
7.2.7. Podsumowanie.....	31
ZAŁĄCZNIKI.....	33
Z-1 Ceny jednostkowe ciepła.....	33
Z-2 Współczynnik przenikania ciepła przed modernizacją.....	34
Z-3 Współczynnik przenikania ciepła po modernizacji.....	36
Z-4 Współczynnik strat ciepła przez wentylację.....	38
Z-5 Strumień objętości powietrza wentylacyjnego.....	38
Z-6 Sprawności systemu grzewczego.....	39
Z-7 Ciepła woda użytkowa.....	40

2. Podstawa opracowania.

2.1 Cel i zakres opracowania.

Celem opracowania jest ocena efektywności energetycznej inwestycji polegającej na kompleksowej modernizacji energetycznej budynku Szkoły Podstawowej Nr 17 w Płocku, ul. Miodowa 18.

2.2 Materiały wykorzystane w opracowaniu.

1. Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej (Dz. U. poz.831),
2. Ustawa z dnia 21.11.2008 r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów - (Dz. U. Nr 223, poz. 1459),
3. Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 5 października 2017 r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii (Dz. U. poz. 1912),
4. 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 termomodernizacyjnego (Dz. U. Nr 43, poz. 346),
5. 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. Nr 43, poz. 1606),
6. Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. poz. 1422),
7. 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. poz. 376).
8. Polska Norma PN-EN-ISO 6946; 2008 „Elementy budowlane i części budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metody obliczeń”,
9. Polska Norma PN-EN-ISO 13 790; 2009; „Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii do ogrzewania i chłodzenia”.

10. Polska Norma PN-EN-ISO 12831; 2006,, Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowanego obciążenia cieplnego.
11. Ministerstwo Infrastruktury - Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków.
12. Polska Norma PN-EN-ISO 14683; „Mostki cieplne w budynkach – Liniowy współczynnik przenikania ciepła – Metody uproszczone i wartości orientacyjne”.
13. Normy związane.
14. Instrukcja Instytutu Techniki Budowlanej Nr 334/2002 „Bezspoinowy system ocieplenia ścian zewnętrznych budynków”, Warszawa 2002,
15. Pogorzelski J.A. „Fizyka budowli – część X – Wartości obliczeniowe właściwości fizycznych” „Materiały budowlane” nr 3/2005,
16. Inwentaryzacja techniczna budynku.
17. Wizje lokalne i wywiady z właścicielami i administratorem budynku.
18. Program komputerowy AUDYT wersja 6.2.
19. Oferty dostawców materiałów i urządzeń.

2.3 Metodyka obliczeń.

Audyt został sporządzony zgodnie z Ustawą z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej oraz Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 5 października 2017 r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii. Obliczenia zużycia energii finalnej przed i po modernizacji wykonano metodą bilansu energetycznego zgodnie z normą PN-EN ISO 13790, z uwzględnieniem zasad przyjętych w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego (...) oraz zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 roku w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku (...). Obliczenia zapotrzebowania mocy cieplnej wykonano zgodnie z normą PN-EN 12831. Ceny jednostkowe za energię ciepłą wyliczono na podstawie obowiązującej taryfy dostawcy ciepła FORTUM.

3. Inwentaryzacja techniczno-budowlana budynku

4.1 Dane identyfikujące budynek			
Rodzaj budynku	Budynek użyteczności publicznej	Rok budowy	1978
Adres budynku	ul. Miodowa 18 09-400 Płock	Właściciel	Miasto Płock, pl. Stary Rynek1 09-400 Płock
4.2 Dane techniczne ogólne			
Konstrukcje, technologia (system)	Prefabrykowana		
Liczba kondygnacji	podziemnych	nadziemnych	
	1	1; 3	
Rodzaj dachu	Stropodach kryty papą		
Kubatura	części ogrzewanej	część nieogrzewana	
	17 095	-	
Powierzchnia	części ogrzewanej	część nieogrzewana	
	3 676	-	
Współczynnik kształtu	0,413		
Wysokość kondygnacji	nadziemnych	podziemnych	
	3,15; 8,0	-	
Liczba pomieszczeń	-		
Liczba osób użytkująca budynek	czasowa	stała	
	450	-	
Czas użytkowania budynku	dni tygodnia	godziny	
	5	12	
4.3 Zestawienie danych dotyczących przegród budowlanych			
Przegroda	Pow. netto	U	
	[m ²]	[W/m ² K]	
Dach sala gimnastyczna	540,00	1,328	
Stropodach nad szkołą, łącznikiem i zapleczem sali	1412,00	1,418	
Ściana zewnętrzna [SZ-1]	2 077,00	1,159	
Ściana poniżej gruntu [SG-1]	90,00	0,599	
Okna	969,98	1,700	
Drzwi nowe	9,05	1,700	
Drzwi stare	3,59	2,040	
Podłoga na gruncie (piwnica)	257,00	0,414	
Podłoga na gruncie	1 155,00	0,429	
Podłoga na gruncie (sala gimnastyczna)	540,00	0,356	

4. Ocena stanu technicznego budynku

Budynek wybudowany pod koniec lat 70-tych, jest częściowo podpiwniczony, wykonany w technologii prefabrykowanej. Ściany zewnętrzne wykonane z bloczków betonu komórkowego o grubości 24 cm, nieocieplone. Nad częścią dydaktyczną, łącznikiem i zapleczem sali gimnastycznej zastosowano stropodach niewentylowany z płyt korytkowych, nieocieplony, kryty papą. Nad salą gimnastyczną zastosowano dach w postaci płyt korytkowych na konstrukcji stalowej, nieocieplony, kryty papą. W budynku zastosowano stropy żelbetowe.. Ogólny stan techniczny budynku pod względem konstrukcyjnym jest dobry. Stan przegród zewnętrznych jest również dobry.

W budynku zastosowano stolarkę okienną o współczynniku przenikania ciepła równym $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, która jest w dobrym stanie technicznym.

W budynku zastosowano stolarkę drzwiową o współczynniku przenikania ciepła równym $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, która jest w dobrym stanie technicznym oraz stolarkę drzwiową o współczynniku przenikania ciepła równym $2,04 \text{ W/m}^2\text{K}$, która jest w złym stanie technicznym.

Źródłem ciepła dla budynku jest miejska sieć ciepłownicza, a w podpiwniczeniu budynku zainstalowano wymiennikowy węzeł cieplny, w złym stanie technicznym. Instalacja c.o. została wykonana jako wodna, z rozdziałem dolnym w układzie dwururowym, pompowym. W obiekcie zainstalowano grzejniki żeliwne bez zaworów z głowicami termostatycznymi oraz rury grzejne Favier. Stan techniczny zarówno grzejników żeliwnych jak i instalacji jest zły.

Ciepła woda użytkowa pozyskiwana jest z tego samego węzła cieplnego co ciepło na potrzeby centralnego ogrzewania. Instalacja c.w.u. jest w dobrym stanie technicznym.

W budynku zastosowano wentylację grawitacyjną, która jest w dobrym stanie technicznym oraz w sali gimnastycznej wentylację wywiewną, która jest w złym stanie technicznym.

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

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

- ocieplenie dachu nad salą gimnastyczną,
- ocieplenie stropodachu nad szkołą, łącznikiem i zapleczem sali gimnastycznej,
- ocieplenie ścian zewnętrznych,
- ocieplenie ścian poniżej gruntu,
- wymianę drzwi,

- modernizację wentylacji w sali gimnastycznej,
- modernizację instalacji c.o.,
- wymianę węzła cieplnego na potrzeby c.o. i c.w.u.,
- montaż Systemu Zarządzania Energią,

6. 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.

6.1 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 dachu nad salą gimnastyczną. Ocieplenie stropodachu. Ocieplenie ścian zewnętrznych [SZ-1]. Ocieplenie ścian poniżej gruntu. Wymiana drzwi. Modernizacja wentylacji w sali gimnastycznej.
2	Usprawnienia dotyczące zmniejszenia strat przez system centralnego ogrzewania	Wymiana rurociągów. Wymiana grzejników. Montaż zaworów termostatycznych. Wymiana węzła cieplnego. Montaż Systemu Zarządzania Energią.

6.2 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:

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

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:

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

gdzie:

U_c - wartość współczynnika przenikania ciepła przegrody budowlanej przed i po termomodernizacji, $\text{W}/(\text{m}^2 * \text{K})$, 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 ,

Sd - liczba stopniodni, obliczona zgodnie ze wzorem (4), dzień*K/rok,

Liczbę stopniodni Sd oblicza się ze wzoru:

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

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, $^{\circ}\text{C}$,

$Ld(m)$ - 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:

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

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, °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 Płock:

Miesiąc	I	II	III	IV	V	IX	X	XI	XII
$T_e(m)$	-0,9	-2,7	3,3	8,8	12,3	13,5	9,3	3,9	-0,4
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 dachu nad salą gimnastyczną

Rozpatruje się ocieplenie dachu nad salą gimnastyczną styropapą o optymalnej grubości

Pow. obliczeniowa =	540,00	[m ²]	R ₀ =	0,753	[(m ² *K)/W]
Pow. ocieplenia =	ok. 540	[m ²]			
Materiał:	styropapa		U ₀ =	1,328	[W/(m ² *K)]
	λ =	0,040			[W/(m*K)]

Cena Nu zawiera całkowity koszt wszystkich prac remontowych z podatkiem VAT, ceny rynkowe czerwiec 2019 r.

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]
0,06	1,500	2,253	0,444	75,69	0,010	93 744,00	9 658,97	9,705
0,07	1,750	2,503	0,399	68,13	0,009	94 176,00	10 143,40	9,284
0,08	2,000	2,753	0,363	61,94	0,008	94 608,00	10 539,86	8,976
0,09	2,250	3,003	0,333	56,78	0,007	95 040,00	10 870,31	8,743
0,10	2,500	3,253	0,307	52,42	0,007	95 472,00	11 149,98	8,563
0,11	2,750	3,503	0,285	48,68	0,006	95 904,00	11 389,73	8,420
0,12	3,000	3,753	0,266	45,44	0,006	96 336,00	11 597,54	8,307
0,13	3,250	4,003	0,250	42,60	0,005	96 768,00	11 779,40	8,215
0,14	3,500	4,253	0,235	40,10	0,005	97 200,00	11 939,88	8,141
0,15	3,750	4,503	0,222	37,87	0,005	97 632,00	12 082,54	8,080
0,16	4,000	4,753	0,210	35,88	0,005	98 064,00	12 210,19	8,031
0,17	4,250	5,003	0,200	34,09	0,004	98 496,00	12 325,09	7,992
0,18	4,500	5,253	0,190	32,46	0,004	98 928,00	12 429,05	7,959
0,19	4,750	5,503	0,182	30,99	0,004	99 360,00	12 523,57	7,934
0,20	5,000	5,753	0,174	29,64	0,004	99 792,00	12 609,87	7,914
0,21	5,250	6,003	0,167	28,41	0,004	100 224,00	12 688,98	7,899
0,22	5,500	6,253	0,160	27,27	0,003	100 656,00	12 761,77	7,887
0,23	5,750	6,503	0,154	26,22	0,003	101 088,00	12 828,96	7,880
0,24	6,000	6,753	0,148	25,25	0,003	101 520,00	12 891,18	7,876
0,25	6,250	7,003	0,143	24,35	0,003	101 952,00	12 948,96	7,873
0,26	6,500	7,253	0,138	23,51	0,003	102 384,00	13 002,75	7,874

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 stropów nad ostatnią kondygnacją wynosi 0,15 W/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 stropodachu nad szkołą, łącznikiem i zapleczem sali

Rozpatruje się ocieplenie stropodachu styropapą o optymalnej grubości

$$\text{Pow. obliczeniowa} = 1\,412,00 \quad [\text{m}^2] \qquad R_0 = 0,705 \quad [(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$$

$$\text{Pow. ocieplenia} = \text{ok. } 1\,412 \quad [\text{m}^2]$$

$$\text{Materiał: styropapa} \qquad U_0 = 1,418 \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$$

$$\lambda = 0,040 \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$$

Cena Nu zawiera całkowity koszt wszystkich prac remontowych z podatkiem VAT, ceny rynkowe czerwiec 2019 r.

Izolacja	ΔR	R_1	U	Q_1	q_1	Nu	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]
0,06	1,500	2,205	0,453	202,21	0,026	245 123,20	27 563,24	8,893
0,07	1,750	2,455	0,407	181,62	0,023	246 182,20	28 882,83	8,523
0,08	2,000	2,705	0,370	164,84	0,021	247 241,20	29 958,52	8,253
0,09	2,250	2,955	0,338	150,89	0,019	248 300,20	30 852,22	8,048
0,10	2,500	3,205	0,312	139,13	0,018	249 359,20	31 606,51	7,889
0,11	2,750	3,455	0,289	129,06	0,016	250 418,20	32 251,65	7,765
0,12	3,000	3,705	0,270	120,35	0,015	251 477,20	32 809,74	7,665
0,13	3,250	3,955	0,253	112,74	0,014	252 536,20	33 297,27	7,584
0,14	3,500	4,205	0,238	106,04	0,013	253 595,20	33 726,84	7,519
0,15	3,750	4,455	0,224	100,09	0,013	254 654,20	34 108,19	7,466
0,16	4,000	4,705	0,213	94,77	0,012	255 713,20	34 449,03	7,423
0,17	4,250	4,955	0,202	89,99	0,011	256 772,20	34 755,47	7,388
0,18	4,500	5,205	0,192	85,67	0,011	257 831,20	35 032,47	7,360
0,19	4,750	5,455	0,183	81,74	0,010	258 890,20	35 284,09	7,337
0,20	5,000	5,705	0,175	78,16	0,010	259 949,20	35 513,66	7,320
0,21	5,250	5,955	0,168	74,88	0,009	261 008,20	35 723,95	7,306
0,22	5,500	6,205	0,161	71,86	0,009	262 067,20	35 917,30	7,296
0,23	5,750	6,455	0,155	69,08	0,009	263 126,20	36 095,67	7,290
0,24	6,000	6,705	0,149	66,51	0,008	264 185,20	36 260,74	7,286
0,25	6,250	6,955	0,144	64,11	0,008	265 244,20	36 413,94	7,284
0,26	6,500	7,205	0,139	61,89	0,008	266 303,20	36 556,52	7,285

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 stropów nad ostatnią kondygnacją wynosi 0,15 W/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.

$$\begin{aligned} \text{Pow. obliczeniowa} &= 2\,077,00 \quad [\text{m}^2] & R_0 &= 0,863 \quad [(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}] \\ \text{Pow. ocieplenia} &= \text{ok. } 2\,077 \quad [\text{m}^2] \\ \text{Materiał:} & \text{styropian} & U_0 &= 1,159 \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})] \\ \lambda &= 0,038 \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})] \end{aligned}$$

Cena Nu zawiera całkowity koszt wszystkich prac remontowych z podatkiem VAT, ceny rynkowe czerwiec 2019 r.

Izolacja	ΔR	R_1	U	Q_1	q_1	Nu	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	2,178	0,459	301,12	0,038	477 917,70	29 439,94	16,234
0,06	1,579	2,442	0,410	268,67	0,034	479 147,50	31 520,10	15,201
0,07	1,842	2,705	0,370	242,53	0,031	480 623,27	33 195,47	14,479
0,08	2,105	2,968	0,337	221,02	0,028	482 344,99	34 573,72	13,951
0,09	2,368	3,231	0,310	203,02	0,026	484 312,67	35 727,46	13,556
0,10	2,632	3,494	0,286	187,73	0,024	486 526,32	36 707,42	13,254
0,11	2,895	3,757	0,266	174,58	0,022	488 985,92	37 550,11	13,022
0,12	3,158	4,020	0,249	163,15	0,021	491 691,49	38 282,48	12,844
0,13	3,421	4,284	0,233	153,13	0,019	494 643,02	38 924,86	12,708
0,14	3,684	4,547	0,220	144,27	0,018	497 840,50	39 492,89	12,606
0,15	3,947	4,810	0,208	136,38	0,017	501 283,95	39 998,76	12,532
0,16	4,211	5,073	0,197	129,30	0,016	504 973,36	40 452,15	12,483
0,17	4,474	5,336	0,187	122,92	0,016	508 865,00	40 860,82	12,454
0,18	4,737	5,599	0,179	117,15	0,015	517 200,33	41 231,07	12,544
0,19	5,000	5,863	0,171	111,89	0,014	521 627,62	41 568,09	12,549
0,20	5,263	6,126	0,163	107,08	0,014	526 300,87	41 876,15	12,568
0,21	5,526	6,389	0,157	102,67	0,013	531 220,08	42 158,83	12,600
0,22	5,789	6,652	0,150	98,61	0,012	536 385,25	42 419,15	12,645
0,23	6,053	6,915	0,145	94,86	0,012	541 796,38	42 659,65	12,700
0,24	6,316	7,178	0,139	91,38	0,012	547 453,47	42 882,52	12,766
0,25	6,579	7,442	0,134	88,15	0,011	553 356,53	43 089,63	12,842

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 W/m²K". 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.

Usprawnienia dotyczące ścian poniżej gruntu

Rozpatruje się ocieplenie ścian poniżej gruntu na głębokość 1 m styroporem lub styropianem XPS o optymalnej grubości

Pow. obliczeniowa =	90,00	[m ²]	R ₀ =	1,670	[(m ² *K)/W]
Pow. ocieplenia =	ok. 90	[m ²]	R ₁ =	1,981	[(m ² *K)/W]
Materiał: styropor			U ₀ =	0,599	[W/(m ² *K)]
λ =	0,032	[W/(m*K)]	U ₁ =	0,505	[W/(m ² *K)]

Cena Nu zawiera całkowity koszt wszystkich prac remontowych z podatkiem VAT, ceny rynkowe czerwiec 2019 r.

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]
0,05	1,563	3,544	0,282	8,02	0,001	26 100,00	576,48	45,274
0,06	1,875	3,856	0,259	7,37	0,001	26 521,88	618,14	42,906
0,07	2,188	4,169	0,240	6,82	0,001	27 028,13	653,54	41,356
0,08	2,500	4,481	0,223	6,34	0,001	27 618,75	684,01	40,377
0,09	2,813	4,794	0,209	5,93	0,001	28 293,75	710,51	39,822
0,10	3,125	5,106	0,196	5,57	0,001	28 980,00	733,77	39,495
0,11	3,438	5,419	0,185	5,25	0,001	29 823,75	754,34	39,536
0,12	3,750	5,731	0,174	4,96	0,001	30 751,88	772,67	39,800
0,13	4,063	6,044	0,165	4,70	0,001	31 764,38	789,10	40,254
0,14	4,38	6,356	0,157	4,47	0,001	32 861,25	803,92	40,876
0,15	4,688	6,669	0,150	4,26	0,001	34 042,50	817,35	41,650
0,16	5,000	6,981	0,143	4,07	0,001	35 308,13	829,57	42,562
0,17	5,313	7,294	0,137	3,90	0,000	36 658,13	840,75	43,602
0,18	5,625	7,606	0,131	3,74	0,000	38 092,50	851,01	44,761
0,19	5,938	7,919	0,126	3,59	0,000	39 611,25	860,46	46,035
0,20	6,250	8,231	0,121	3,45	0,000	41 214,38	869,20	47,417
0,21	6,563	8,544	0,117	3,33	0,000	42 901,88	877,29	48,903
0,22	6,875	8,856	0,113	3,21	0,000	44 673,75	884,81	50,489
0,23	7,188	9,169	0,109	3,10	0,000	46 530,00	891,82	52,174
0,24	7,500	9,481	0,105	3,00	0,000	48 470,63	898,37	53,954
0,25	7,813	9,794	0,102	2,90	0,000	50 495,63	904,50	55,827

Optymalna grubość warstwy ocieplenia dla rozpatrywanej przegrody, dla której prosty okres zwrotu poniesionych nakładów kapitałowych SPBT przyjmuje wartość najmniejszą, wynosi 10 cm. Zgodnie z Warunkami Technicznymi 2021 "Maksymalna wartość współczynnika przenikania U - dla ścian zewnętrznych wynosi 0,20 W/m²K". Wartość ta jest spełniona dla ocieplenia o grubości 10 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.

6.3 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 ścienne) 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 ciepłą 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, m³/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, m³/(m*h*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 drzwi (o powierzchni około $3,59 m^2$) 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	2,0	1,3	1,0	9,54	0,001	-	-	-
1	1,7	1,0	1,0	7,49	0,001	131,66	5 414,86	41,13
2	1,5	1,0	1,0	7,26	0,001	146,18	5 665,88	38,76
3	1,3	1,0	1,0	7,04	0,001	160,70	5 916,90	36,82

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 $U = 1,3 W/m^2K$ i to rozwiązanie zostanie uwzględnione w dalszej analizie. Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne bądź lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry.

Jak wspomniano w części opisowej Audytu w sali gimnastycznej zamontowano wentylację wywiewną, która jest w złym stanie technicznym. Ponieważ występują problemy z obiegiem powietrza, proponuje się zastosowanie w tym pomieszczeniu naściennych agregatów wentylacyjno - grzewczych z odzyskiem ciepła, zintegrowanych z Systemem Zarządzania Energią. Przyjęto, że w wyniku ogrzewania powietrza napływowego przez powietrze wypływowe nastąpi obniżenie zużycia ciepła o minimum 75%. Założono sumaryczną wydajność wentylacji mechanicznej na około $4\ 800 m^3/h$. Agregaty te powinny być wyposażone w czujki stężenia CO_2 , które po przekroczeniu założonego maksymalnego poziomu spowodują zwiększenie obrotów wentylatora i doprowadzenie do zmniejszenia stężenia CO_2 w pomieszczeniu.

Przy powyższych założeniach oszczędność energii z powyższego rozwiązania wyniesie:

Strumień powietrza	V_1	$\rho \cdot c_p$	H_v	S_d	Q	ΔQ
	[m ³ /h]	[J/m ³ /K]	[W/K]	-	GJ	GJ
Obecnie	9 972	0,33	3 324	3 655,30	1 049,78	68,22
Docelowo	9 324	0,33	3 108	3 655,30	981,56	

Natomiast opłacalność przedsięwzięcia zamieszczono w poniższej tabeli:

ΔQ	Oszczędność	Nakład	SPBT
GJ	zł	zł	lat
68,22	4 372,01	76 752,00	17,56

Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne bądź lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry.

6.4 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:

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

gdzie:

- x_0, x_1 - udział n-tego źródła w zapotrzebowaniu ciepła przed i po wykonaniu wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego,
- Q_{0CO} - 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 zarówno węzeł cieplny, grzejniki jak i instalacja c.o są w złym stanie technicznym, w związku z tym przewidziano kompleksową modernizację instalacji, polegającą na wymianie węzła cieplnego i rurociągów, montażu nowych grzejników oraz zaworów z głowicami termostatycznymi. Dodatkowo przewidziano montaż Systemu Zarządzania Energią.

Ocenę proponowanego przedsięwzięcia przedstawiono w tabeli poniżej:

Lp.	Omówienie	Jednostka	Stan istniejący	Stan po modernizacji
1	Obliczeniowa moc cieplna c.o.	MW	0,4167	0,4167
2	Roczne zapotrzebowanie na ciepło c.o. bez uwzględnienia sprawności	GJ/rok	2 781	2 781
3	Ogólna sprawność c.o.	-	0,7022	0,8364
4	Obniżenie nocne ¹⁾	-	1,00	0,95
5	Obniżenie tygodniowe ¹⁾	-	1,00	0,90
6	Roczne zapotrzebowanie na ciepło c.o. z uwzględnieniem sprawności i przerw w ogrzewaniu	GJ/rok	3 960,99	2 843,26
8	Roczny koszt ogrzewania w sezonie standardowym	zł	253 859,21	182 223,89
9	Oszczędność kosztów	zł		71 635,32
10	Szacowany koszt modernizacji	zł		1 034 500,00
11	SPBT	lat		14,44

¹⁾ Uwzględnienie Systemu Zarządzania Energią

7. Opis przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności energetycznej.

7.1. Opis techniczny usprawnień

W ramach przedsięwzięcia należy wykonać:

1. Ocieplenie dachu nad salą gimnastyczną o powierzchni około 540 m² proponuje się wykonać styropapą o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,040 \text{ W/m}^*\text{K}$, warstwą o grubości minimum 25 cm. Współczynnik przenikania ciepła po wykonaniu przedsięwzięcia nie wyniesie więcej niż 0,143 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.: obróbki blacharskie i dekarские, remont kominów, podniesienie murków ogniowych, pokrycie papą nawierzchniową, etc.
2. Ocieplenie stropodachu nad szkołą, łącznikiem i zapleczem sali gimnastycznej o powierzchni około 1412 m² proponuje się wykonać styropapą o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,040 \text{ W/m}^*\text{K}$, warstwą o grubości minimum 25 cm. Współczynnik przenikania ciepła po wykonaniu przedsięwzięcia nie wyniesie więcej niż 0,144 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.: obróbki blacharskie i dekarские, remont kominów, podniesienie murków ogniowych, pokrycie papą nawierzchniową, etc.
3. Ocieplenie ścian zewnętrznych [SZ-1] o powierzchni około 2 077 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 0,187 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, montaż rolet antywłamaniowych na miejscu demontowanych krat w oknach, prace odtworzeniowe i wykończeniowe na elewacji.
4. Ocieplenie ścian poniżej gruntu [SG-1] o powierzchni około 90 m² proponuje się wykonać płytami ze styroporu lub styropianu XPS warstwą o grubości minimum 10 cm i współczynniku przewodzenia $\lambda = 0,032 \text{ W/m}^*\text{K}$. W pierwszej kolejności należy usunąć istniejącą opaskę betonową. Następnie należy odcinkami 1m odkopywać ścianę poniżej gruntu. Pokryć ją dwukrotnie pionową warstwą izolacji przeciwwilgociowej do spodu fundamentu i zamontować płyty ze styroporu lub

styropianu XPS na głębokość 1m. Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne lub lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry. W kosztach inwestycji uwzględniono wymagane prace dodatkowe np.: odkopanie ściany, zasypianie i otworzenie nawierzchni, prace odtworzeniowe i wykończeniowe, etc.

5. Wymianę drzwi o powierzchni około 3,59 m² na drzwi o współczynniku przenikania $U=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, zgodnie z Aprobata Techniczną oraz zaleceniami producenta. Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne lub lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry.

6. Modernizację instalacji wentylacji poprzez:

- montaż ściennych agregatów wentylacyjno - grzewczych o wydajności około 4800 m³, wyposażonych w system odzysku ciepła o skuteczności minimum 75%, oraz czujniki stężenia CO₂, zintegrowanych z Systemem Zarządzania Energią,
- prace instalacyjne, odtworzeniowe i inne, niezbędne do wykonania przedsięwzięcia.

Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne lub lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry.

7. Modernizację instalacji centralnego ogrzewania poprzez:

- wymianę rurociągów,
- wymianę grzejników żeliwnych i rur grzejnych na grzejniki płytowe,
- montaż zaworów z głowicami termostatycznymi,
- montaż zaworów grzejnikowych odcinających powrotnych,
- montaż zaworów podpionowych równoważących, automatycznych,
- montaż automatycznych odpowietrzników,
- regulację instalacji grzewczej,
- wymianę węzła cieplnego na potrzeby instalacji c.o. i c.w.u.,
- prace instalacyjne i odtworzeniowe.

Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne lub lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry.

8. Zaprojektowanie, instalację i wdrożenie Systemu Zarządzania Energią, pozwalającego na bieżący pomiar zużycia ciepła, kontrolę i sterowanie pracą instalacji centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej i agregatów wentylacyjno - grzewczych w sali gimnastycznej oraz monitoring i regulację automatyki źródła ciepła (odczyt dowolnych parametrów, zdalną zmianę parametrów pracy). Celem systemu będzie utrzymanie optymalnych parametrów pracy instalacji przy zachowaniu komfortu cieplnego w czasie użytkowania obiektów. W ramach inwestycji należy zamontować aparaturę monitorującą - sterującą, która będzie na bieżąco przekazywać informacje o działaniu systemu

grzewczego, systemu ciepłej wody użytkowej, agregatów wentylacyjno - grzewczych do centralnego serwera, na którym powinien zostać zainstalowany program komputerowy pozwalający na zbieranie, zapisywanie i analizowanie danych. System musi zapewniać możliwość sterowania pracą instalacji grzewczych (m.in. poprzez instalację zmieszania pompowego), aby przy zachowaniu założonej temperatury wewnętrznej pomieszczeń oraz temperatury ciepłej wody użytkowej, obiekt zużywał możliwie najmniejsze ilości energii. Dodatkowo należy w referencyjnych pomieszczeniach zamontować czujniki temperatury wraz ze sterownikami, które będą rejestrować i na bieżąco przekazywać do Systemu Zarządzania Energią (minimum co 15 minut) odczyt pomiaru wartości temperatury wewnętrznej. System powinien zapewniać możliwość bieżącej kontroli działania instalacji grzewczych oraz prawidłowego i szybkiego reagowania na ewentualnie występujące awarie. System Zarządzania Energią powinien zapewnić możliwość zdalnego dostępu do danych pomiarowych (za pośrednictwem Internetu) przez osoby uprawnione oraz możliwość porównywania obiektu do innych obiektów objętych pomiarem, w celu uzyskania oceny energochłonności obiektu. W systemie powinny zostać zastosowane urządzenia pomiarowe co najmniej II klasy dokładności oraz komunikacja oparta na otwartych protokołach komunikacyjnych. Dopuszcza się rozwiązania techniczne równoważne lub lepsze, w wyniku których zostaną otrzymane równoważne lub lepsze parametry.

7.2. Obliczenie efektywności energetycznej i efektów ekologicznych.

Obliczenie projektowanego obciążenia cieplnego wykonano wg normy PN-EN 12831.

Obliczenie zużycia energii przez obiekt przed i po modernizacji wykonano wg normy PN-EN ISO 13790:2009 oraz wg zasad podanych w Rozporządzeniu do sporządzania świadectw energetycznych (przyjęte sprawności instalacji c.o. i zużycie energii na potrzeby ciepłej wody użytkowej).

Obliczenia przedstawiono w tabelach poniżej:

7.2.1. Projektowana strata ciepła.

Projektowana strata ciepła przed modernizacją

Przegroda	A	U	b_u	H_t	$\Delta\Theta$ [°C]	Φ [kW]
	[m ²]	[W/m ² K]	-	[W/K]		
Dach sala gimnastyczna	540,00	1,328	1,0	717	40	28,67
Stropodach	1 412,00	1,418	1,0	2 002		80,08
Ściana zewnętrzna [SZ-1]	2 077,00	1,159	1,0	2 408		96,32
Ściana poniżej gruntu [SG-1]	90,00	0,599	1,0	54		2,16
Okna nowe	969,98	1,700	1,0	1 649		65,96
Drzwi wejściowe nowe	9,05	1,700	1,0	15		0,62
Drzwi wejściowe stare	3,59	2,040	1,0	7		0,29
Podłoga na gruncie (piwnica)	257,00	0,414	1,0	106		4,26
Podłoga na gruncie	1155,00	0,429	1,0	495		19,80
Podłoga na gruncie (sala)	540,00	0,356	1,0	192		7,69
Mostki liniowe	l	ψ	□			
	[m]	[W/mK]				
	1793,26	0,200	1,0	359		14,35
Ogółem				8 005		320,19
Wentylacja		V_1	$\rho \cdot c_p$	H_v		
		[m ³ h]	[J/m ³ /K]	[W/K]		
		7 094	0,34	2412		96,48
OGÓLEM						416,66

Projektowana strata ciepła po modernizacji

Przeграда	A	U	b_u	H_{tr}	$\Delta\Theta$	Φ
	[m ²]	[W/m ² K]	-	[W/K]		
Dach sala gimnastyczna	540,00	0,143	1,0	77	40	3,08
Stropodach	1412,00	0,144	1,0	203		8,12
Ściana zewnętrzna [SZ-1]	2077,00	0,187	1,0	389		15,57
Ściana poniżej gruntu [SG-1]	90,00	0,196	1,0	18		0,70
Okna nowe	969,98	1,700	1,0	1 649		65,96
Drzwi wejściowe nowe	9,05	1,700	1,0	15		0,62
Drzwi wejściowe wymienione	3,59	1,300	1,0	5		0,19
Podłoga na gruncie (piwnica)	257,00	0,414	1,00	106		4,26
Podłoga na gruncie	1155,00	0,429	1,0	495		19,80
Podłoga na gruncie (sala)	540,00	0,356	1,0	192		7,69
Mostki liniowe	l	ψ	\square			
	[m]	[W/mK]				
	1793,26	0,150	1,0	269		10,76
Ogółem				3 419		136,74
Wentylacja		V_1	ρ^*c_p	H_v		
		[m ³ /h]	[J/m ³ /K]	[W/K]		
		7 094	0,34	2412	96,48	
OGÓŁEM						233,22

7.2.2. Roczne zapotrzebowanie na energię przed modernizacją wg PN-EN-ISO 13 790; 2009.

Wyszczególnienie		Jednostka	I	II	III	IV	V	IX	X	XI	XII	ogółem
Średnia temp. miesiąca		[°C]	-0,9	-2,7	3,3	8,8	12,3	13,5	9,3	3,9	-0,4	
Różnica temperatur		[°C]	20,9	22,7	16,7	11,2	7,7	6,5	10,7	16,1	20,4	
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	$H_{tr} H_{ve}$											
Dach sala gimnastyczna	716,85	[MJ]	40 128	39 367	32 064	20 811	2 385	2 013	20 544	29 915	39 168	226 395
Stropodach	2 002,05	[MJ]	112 072	109 944	89 550	58 120	6 660	5 622	57 377	83 548	109 391	632 284
Ściana zewnętrzna [SZ-1]	2 407,96	[MJ]	134 794	132 235	107 706	69 904	8 010	6 762	69 010	100 487	131 570	760 478
Ściana poniżej gruntu [SG-1]	53,88	[MJ]	3 016	2 959	2 410	1 564	179	151	1 544	2 248	2 944	17 015
Okna nowe	1 648,97	[MJ]	92 307	90 554	73 757	47 870	5 485	4 630	47 258	68 813	90 098	520 773
Drzwi wejściowe nowe	15,38	[MJ]	861	844	688	446	51	43	441	642	840	4 856
Drzwi wejściowe stare	7,32	[MJ]	410	402	327	212	24	21	210	305	400	2 310
Podłoga na gruncie (piwnica)	106,39	[MJ]	5 955	5 842	4 759	3 088	354	299	3 049	4 440	5 813	33 599
Podłoga na gruncie	494,98	[MJ]	27 708	27 182	22 140	14 370	1 647	1 390	14 186	20 656	27 045	156 324
Podłoga na gruncie (sala)	192,24	[MJ]	10 761	10 557	8 599	5 581	639	540	5 509	8 022	10 504	60 711
Mostki liniowe	358,65	[MJ]	20 077	19 696	16 042	10 412	1 193	1 007	10 279	14 967	19 597	113 269
Straty przez przegrody	8 004,66	[MJ]	448 089	439 582	358 043	232 378	26 627	22 477	229 405	334 044	437 369	2 528 014
Wentylacja	3 324,00	[MJ]	186 073	182 540	148 680	96 497	11 057	9 334	95 262	138 715	181 621	1 049 779
Całkowite przenoszenie ciepła		[MJ]	634 162	622 123	506 723	328 875	37 684	31 811	324 667	472 758	618 991	3 577 793
Zyski słoneczne		[MJ]	35 632	48 735	97 611	117 143	168 036	113 996	70 907	36 980	31 113	720 153
Zyski wewnętrzne		[MJ]	46 275	41 797	46 275	44 783	7 464	7 464	46 275	44 783	46 275	331 391
Razem zyski		[MJ]	81 908	90 532	143 886	161 925	175 500	121 459	117 182	81 763	77 388	1 051 544
Stosunek zysków do przenoszenia			0,1292	0,1455	0,2840	0,4924	4,6572	3,8182	0,3609	0,1729	0,1250	0,2939
Typ budynku			ciężki (260 000)									
Powierzchnia ogrzewana		[m ²]	3 676									
Pojemność cieplna		[J/K]	955 760 000									
Stała czasowa		[h]	23									
Metoda obliczeniowa			miesięczna									
Referencyjny parametr liczbowy $a_{H,0}$			1									
Stała czasowa odniesienia $t_{H,0}$		[h]	15									
Parametr numeryczny a_H			2,56									
Parametr numeryczny $a_H + 1$			3,56									
η			0,9954	0,9939	0,9712	0,9102	0,2114	0,2556	0,9518	0,9908	0,9957	
Zyski ciepła		[MJ]	81 531	89 978	139 747	147 382	37 107	31 046	111 532	81 007	77 059	796 389
Zapotrzebowanie ciepła		[MJ]	552 631	532 145	366 976	181 494	577	765	213 134	391 751	541 932	2 781 404

7.2.3. Roczne zapotrzebowanie na energię po modernizacji wg PN-EN-ISO 13 790; 2009.

Wyszczególnienie		Jednostka	I	II	III	IV	V	IX	X	XI	XII	ogółem
Średnia temp. miesiąca		[°C]	-0,9	-2,7	3,3	8,8	12,3	13,5	9,3	3,9	-0,4	
Różnica temperatur		[°C]	20,9	22,7	16,7	11,2	7,7	6,5	10,7	16,1	20,4	
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
Przegroda	Htr Hve											
Dach sala gimnastyczna	77,11	[MJ]	4 316	4 234	3 449	2 238	256	217	2 210	3 218	4 213	24 352
Stropodach	203,01	[MJ]	11 364	11 149	9 081	5 894	675	570	5 818	8 472	11 092	64 115
Ściana zewnętrzna [SZ-1]	389,23	[MJ]	21 788	21 375	17 410	11 299	1 295	1 093	11 155	16 243	21 267	122 924
Ściana poniżej gruntu [SG-1]	17,62	[MJ]	987	968	788	512	59	49	505	735	963	5 566
Okna nowe	1648,97	[MJ]	92 307	90 554	73 757	47 870	5 485	4 630	47 258	68 813	90 098	520 773
Drzwi wejściowe nowe	15,38	[MJ]	861	844	688	446	51	43	441	642	840	4 856
Drzwi wejściowe stare	4,66	[MJ]	261	256	209	135	16	13	134	195	255	1 472
Podłoga na gruncie (piwnica)	106,39	[MJ]	5 955	5 842	4 759	3 088	354	299	3 049	4 440	5 813	33 599
Podłoga na gruncie	494,98	[MJ]	27 708	27 182	22 140	14 370	1 647	1 390	14 186	20 656	27 045	156 324
Podłoga na gruncie (sala)	192,24	[MJ]	10 761	10 557	8 599	5 581	639	540	5 509	8 022	10 504	60 711
Mostki liniowe	268,99	[MJ]	15 058	14 772	12 032	7 809	895	755	7 709	11 225	14 697	84 952
Straty przez przegrody	3418,57	[MJ]	191 366	187 733	152 910	99 242	11 372	9 599	97 972	142 661	186 788	1 079 644
Wentylacja	3 108,00	[MJ]	173 981	170 678	139 019	90 226	10 338	8 727	89 072	129 701	169 819	981 562
Całkowite przenoszenie ciepła		[MJ]	365 348	358 412	291 929	189 469	21 710	18 327	187 044	272 361	356 607	2 061 206
Zyski słoneczne		[MJ]	35 632	48 735	97 611	117 143	168 036	113 996	70 907	36 980	31 113	720 153
Zyski wewnętrzne		[MJ]	46 275	41 797	46 275	44 783	7 464	7 464	46 275	44 783	46 275	331 391
Razem zyski		[MJ]	81 908	90 532	143 886	161 925	175 500	121 459	117 182	81 763	77 388	1 051 544
Stosunek zysków do przenoszenia			0,2242	0,2526	0,4929	0,8546	8,0838	6,6275	0,6265	0,3002	0,2170	0,5102
Typ budynku			ciężki (260 000)									
Powierzchnia ogrzewana		[m ²]	3 676									
Pojemność cieplna		[J/K]	955 760 000									
Stała czasowa		[h]	41									
Metoda obliczeniowa			miesięczna									
Referencyjny parametr liczbowy a _{H,0}			1									
Stała czasowa odniesienia t _{H,0}		[h]	15									
Parametr numeryczny a _H			3,71									
Parametr numeryczny a _H + 1			4,71									
η			0,9970	0,9955	0,9619	0,8448	0,1237	0,1508	0,9260	0,9919	0,9973	
Zyski ciepła		[MJ]	81 660	90 122	138 411	136 802	21 702	18 313	108 509	81 103	77 179	753 801
Zapotrzebowanie ciepła		[MJ]	283 687	268 290	153 518	52 667	8	14	78 535	191 258	279 428	1 307 405

7.2.4. Obliczenie zużycia energii finalnej.

Zużycie energii cieplnej przedstawiono w tabelach poniżej:

c.o.					c.w.u.				c.o. + c.w.u.	
q_{co}	Q_{co}	η	w	$Q_{co} * w / \eta$	Koszty eksploatacyjne	q_{cwu}	Q_{cwu}	Koszty eksploatacyjne	Q_{co+cwu}	Koszty eksploatacyjne
MW	GJ/rok	-	-	GJ/rok	zł/rok	MW	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok
0,4167	2 781,40	0,7022	1	3 960,98	253 859,21	0,019	206,14	13 211,51	4 167,12	267 070,72
0,2332	1 307,40	0,8364	0,855	1 336,47	85 654,36	0,018	191,92	12 300,15	1 528,39	97 954,51

Oszczędność energii finalnej przedstawiono w tabeli poniżej:

Wyszczególnienie	GJ	kWh	MWh	toe
Energia finalna:				
zużycie przed modernizacją	4 167,12	1 157 533,33	1 157,53	99,53
zużycie po modernizacji	1 528,39	424 552,78	424,55	36,50
oszczędność	2 638,73	732 980,56	732,98	63,02
oszczędność %	63,32			

7.2.5. Obliczenie zużycia energii pierwotnej.

W obliczeniach przyjęto następujące współczynniki nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej, udostępnione przez dostawcę ciepła:

- ciepło sieciowe – $w_p = 0,852$

Zużycie energii pierwotnej obliczono wg wzoru:

$$Q_p = Q_k * w_p$$

Oszczędność energii pierwotnej przedstawiono w tabeli poniżej:

Wyszczególnienie	GJ	kWh	MWh	toe
Energia pierwotna				
zużycie przed modernizacją	3 550,39	986 218,40	986,22	84,80
zużycie po modernizacji	1 302,19	361 718,97	361,72	31,10
oszczędność	2 248,20	624 499,43	624,50	53,70
oszczędność %	63,32			

7.2.6. Obliczenie efektu ekologicznego.

Wskaźnik emisji (WE CO₂) przyjęto na podstawie danych udostępnionych przez dostawcę ciepła.

	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	
sieć miejska	4 167,12	-	89,95	374,83	1 528,39	-	89,95	137,48		
				374,83				137,48	237,35	63,32

7.2.7. Podsumowanie

W poniższej tabeli przedstawiono nakłady całego przedsięwzięcia. Podane ceny są cenami brutto.

Lp.	Opis wprowadzonej modernizacji	Nakład [zł]
1	2	3
1	Ocieplenie dachu nad salą gimnastyczną	101 952,00
2	Ocieplenie stropodachu nad szkołą, łącznikiem i zapleczem	265 244,20
3	Ocieplenie ścian zewnętrznych [SZ-1]	508 865,00
4	Ocieplenie ścian poniżej gruntu [SG-1]	28 980,00
5	Wymiana drzwi	5 916,90
6	Modernizacja wentylacji	76 752,00
7	Wymiana instalacji c.o.	594 500,00
8	Wymiana źródła ciepła	380 000,00
9	Montaż Systemu Zarządzania Energią	60 000,00
	Ogółem	2 022 210,10

Planowy koszt całkowity przedsięwzięcia – 2 022 210,10 zł

Roczna oszczędność kosztu energii – 169 116,21 zł

SPBT dla całego przedsięwzięcia – 11,96 lat

Oszczędność zużycia energii finalnej – 2 638,73 GJ/rok

Oszczędność zużycia energii finalnej – **732 980,56 kWh/rok**

Oszczędność zużycia energii finalnej – 732,98 MWh/rok

Oszczędność zużycia energii finalnej – **63,02 toe/rok**

Oszczędność zużycia energii pierwotnej – 2 248,20 GJ/rok

Oszczędność zużycia energii pierwotnej – **624 499,43 kWh/rok**

Oszczędność zużycia energii pierwotnej – 624,50 MWh/rok

Oszczędność zużycia energii pierwotnej – **53,70 toe/rok**

Redukcja emisji CO₂ dla całego przedsięwzięcia – **237,35 Mg CO₂/rok**

Efektywność energetyczna dla całego przedsięwzięcia – **63,32 %**

ZAŁĄCZNIKI

Z-1 Ceny jednostkowe ciepła

Ceny jednostkowe ciepła dla potrzeb centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej

Opłaty za zużycie ciepła wg FORTUM

Założenia:

- opłaty dla potrzeb centralnego ogrzewania bez zmian przed i po modernizacji
- opłaty dla potrzeb ciepłej wody użytkowej przed i po modernizacji

		Ceny bez VAT	Ceny z VAT 23%
Opłata stała za moc zamówioną	zł(MW*m-c)	4 225,41	5 197,25
Przesył	zł(MW*m-c)	2 153,23	2 648,47
Razem opłata stała	zł(MW*m-c)	6 378,64	7 845,72
Opłata zmienna za ciepło	zł/GJ	30,91	38,02
Przesył	zł/GJ	10,04	12,35
Razem opłata zmienna	zł/GJ	40,95	50,37
Abonament	zł/(pkt.*m-c)	0,00	0,00

Z-2 Współczynnik przenikania ciepła przed modernizacją

Przegroda	Wyszczególnienie	d_1	d	λ	R	U
		[cm]	[m]	W/mK	m^2K/W	$[W/m^2K]$
Dach sala gimnastyczna	Papa asfaltowa	1,5	0,015	0,180	0,083	1,328
	Szlichta cementowa	2,5	0,025	1,000	0,025	
	Papa asfaltowa	1,5	0,015	0,180	0,083	
	Wełna mineralna	1,2	0,012	0,050	0,240	
	Papa asfaltowa	1,5	0,015	0,180	0,083	
	Płyty korytkowe	8,0	0,080	1,000	0,080	
	Tynk cem.-wap.	1,5	0,0150	0,820	0,018	
	R				0,613	
	Rsi				0,100	
	Rse				0,040	
	R_T				0,753	
Stropodach	Papa asfaltowa	1,0	0,010	0,180	0,056	1,418
	Płytki korytkowe	8,0	0,080	1,000	0,080	
	Pustka powietrzna	20,0	0,2		0,160	
	Żużel	5,0	0,050	0,700	0,071	
	Strop żelbetowy	22,0	0,22		0,180	
	Tynk cem.-wap.	1,5	0,0150	0,820	0,018	
	R				0,565	
	Rsi				0,100	
	Rse				0,040	
	R_T				0,705	
Ściana zewnętrzna [SZ-1]	Tynk cem.-wapienny	2,5	0,025	0,820	0,030	1,159
	Mur z betonu komórk.	24,0	0,240	0,380	0,632	
	Tynk cem.-wapienny	2,5	0,025	0,820	0,030	
	R				0,693	
	Rsi				0,130	
	Rse				0,040	
	R_T				0,863	
Ściana poniżej gruntu [SG-1]	Tynk cem.-wapienny	2,5	0,025	0,820	0,030	0,599
	Mur z betonu komórk.	38,0	0,380	0,380	1,000	
	R				1,030	
	Opór zastępczy gruntu				0,640	
	R_T				1,670	
Podłoga na gruncie (piwnica)	Gres	2,0	0,020	1,05	0,019	0,414
	Gładź cementowa	5,0	0,05	1,00	0,050	
	Papa asfaltowa	1,5	0,015	0,180	0,083	
	Beton	10,0	0,1	1,30	0,077	
	Piasek	15,0	0,15	0,40	0,375	
	Grunt	30,0	0,3	1,74	0,172	
	R				0,777	
	Opór zastępczy gruntu				1,639	
	R_T				2,416	

Podłoga na gruncie	Terakota	2,5	0,025	1,050	0,024	0,429
	Szlichta cementowa	3,0	0,03	1,00	0,030	
	Papa asfaltowa	1,5	0,015	0,180	0,083	
	Gruzobeton	15,0	0,15	0,77	0,195	
	Piasek	15,0	0,15	0,40	0,375	
	Grunt	10,0	0,1	1,74	0,057	
	R				0,764	
	Opór zastępczy gruntu				1,569	
	R _T				2,333	
Podłoga na gruncie (sala)	Parkiet	1,5	0,015	0,200	0,075	0,356
	Ślepa podłoga	2,5	0,025		0,190	
	Płyta pilśniowa	1,2	0,012	0,05	0,240	
	Papa asfaltowa	1,5	0,015	0,180	0,083	
	Beton	12,0	0,120	1,300	0,092	
	Piasek	15,0	0,15	0,40	0,375	
	Grunt	30,0	0,3	1,74	0,172	
	R				1,228	
	Opór zastępczy gruntu				1,581	
	R _T				2,809	
Okna nowe				U ₀	Wsp.	U
				[W/m ² K]	-	[W/m ² K]
				1,700	1,0	1,700
Drzwi wejściowe nowe				1,700	1,0	1,700
Drzwi wejściowe stare				1,700	1,2	2,040

Z-3 Współczynnik przenikania ciepła po modernizacji.

Przegroda	Wyszczególnienie	d_1	d	λ	R	U
		[cm]	[m]	W/mK	m ² K/W	[W/m ² K]
Dach sala gimnastyczna	Papa asfaltowa	1,5	0,015	0,180	0,083	0,143
	Szlichta cementowa	2,5	0,025	1,000	0,025	
	Papa asfaltowa	1,5	0,015	0,180	0,083	
	Wetna mineralna	1,2	0,012	0,050	0,240	
	Papa asfaltowa	1,5	0,015	0,180	0,083	
	Płyty korytkowe	8,0	0,080	1,000	0,080	
	Tynk cem.-wap.	1,5	0,015	0,820	0,018	
	Styropapa	25,0	0,250	0,040	6,250	
	R				6,863	
	Rsi				0,100	
	Rse				0,040	
R _T				7,003		
Stropodach	Papa asfaltowa	1,0	0,01	0,180	0,056	0,144
	Płytki korytkowe	8,0	0,08	1,000	0,080	
	Pustka powietrzna	20,0	0,2	0,000	0,160	
	Żużel	5,0	0,05	0,700	0,071	
	Strop żelbetowy	22,0	0,22		0,180	
	Tynk cem.-wap.	1,5	0,015	0,820	0,018	
	Styropapa	25,0	0,250	0,040	6,250	
	R				6,815	
	Rsi				0,100	
	Rse				0,040	
	R _T				6,955	
Ściana zewnętrzna [SZ-1]	Tynk cem.-wapienny	2,5	0,025	0,820	0,030	0,187
	Mur z betonu komórk.	24,0	0,24	0,380	0,632	
	Tynk cem.-wapienny	2,5	0,025	0,820	0,030	
	Styropian	17,0	0,17	0,038	4,474	
	R				5,166	
	Rsi				0,130	
	Rse				0,040	
	R _T				5,336	
Ściana poniżej gruntu [SG-1]	Tynk cem.-wapienny	2,5	0,025	0,820	0,030	0,196
	Mur z betonu komórk.	38,0	0,38	0,380	1,000	
	Styropor	10,0	0,1	0,032	3,125	
	R				4,155	
	Opór zastępczy gruntu				0,951	
	R _T				5,106	
Podłoga na gruncie (piwnica)	Gres	2,0	0,020	1,050	0,019	0,414
	Gładź cementowa	5,0	0,050	1,000	0,050	
	Papa asfaltowa	1,5	0,015	0,180	0,083	
	Beton	10,0	0,100	1,300	0,077	
	Piasek	15,0	0,150	0,400	0,375	
	Grunt	30,0	0,300	1,740	0,172	
	R				0,777	
	Opór zastępczy gruntu				1,639	
	R _T				2,416	

Podłoga na gruncie	Terakota	2,5	0,025	1,050	0,024	0,429
	Szlichta cementowa	3,0	0,03	1,000	0,030	
	Papa asfaltowa	1,5	0,015	0,180	0,083	
	Gruzobeton	15,0	0,15	0,770	0,195	
	Piasek	15,0	0,15	0,400	0,375	
	Grunt	10,0	0,1	1,740	0,057	
	R				0,764	
	Opór zastępczy gruntu				1,569	
	R _r				2,333	
Podłoga na gruncie (sala)	Parkiet	1,5	0,02	0,200	0,075	0,356
	Ślepa podłoga	2,5	0,03	0,000	0,190	
	Płyta pilśniowa	1,2	0,01	0,050	0,240	
	Papa asfaltowa	1,5	0,02	0,180	0,083	
	Beton	12,0	0,12	1,300	0,092	
	Piasek	15,0	0,15	0,400	0,375	
	Grunt	30,0	0,30	1,740	0,172	
	R				1,228	
	Opór zastępczy gruntu				1,581	
	R _r				2,809	
	Okna nowe				U ₀	
				[W/m ² K]	-	[W/m ² K]
				1,7	1,000	1,700
Drzwi wejściowe wymienione				1,3	1,000	1,300
Drzwi wejściowe nowe				1,7	1,000	1,700

Z-4 Współczynnik strat ciepła przez wentylację.

Wyszczególnienie	Jednostka	Strumień powietrza		
		obecnie	docelowo	
Kubatura wentylowana V_{ve}	[m ³]	14 188		
Powierzchnia ogrzewana A_f wentylacji naturalnej	[m ²]	3 148		
Powierzchnia ogrzewana A_f wentylacji mechanicznej	[m ²]	528		
Podstawowy strumień powietrza zewnętrznego	[m ³ /s*m ²]	0,42*10 ⁻³ ; 0,56*10 ⁻³		
Średni strumień powietrza wentylacji naturalnej	[m ³ /s]	1,98	1,76	
Średni strumień powietrza wentylacji mechanicznej	[m ³ /s]	-	0,17	
Dodatkowy strumień powietrza na infiltrację	[m ³ /s]	0,79	0,79	
Obliczeniowy strumień powietrza wentylacyjnego	[m ³ /s]	2,77	2,72	
Współczynniki korekcyjne	c_r	-	1,0	1,0
	c_w	-	1,0	1,0
	c_m	-	1,0	1,0
Strumień powietrza	[m ³ /s]	2,77	2,72	
Skuteczność odzysku ciepła	[%]	-	75	
Strumień powietrza	[m ³ /s]	2,77	2,59	
Strumień powietrza	[m ³ /h]	9 972	9 324	
Współczynnik strat ciepła	[W/K]	3 324	3 108	
Krotność wymiany powietrza	[1/h]	0,70	0,66	

Z-5 Strumień objętości powietrza wentylacyjnego.

	Wsp.	Kubatura	Krotność	Wsp. osł.	Wsp. wys.	Strumień
	-	[m ³]	[h ⁻¹]	-	-	[m ³ /h]
Strumień higieniczny		14 188	0,5			7 093,9
Strumień wentylacyjny						7 093,9

Z-6 Sprawności systemu grzewczego.

Sprawność systemu grzewczego przed modernizacją

1	Rodzaj systemu zasilania			MSC
2	Wytwarzanie ciepła	η_g	0,95	węzeł cieplny
3	Przesyłanie ciepła	η_d	0,96	przewody w złym stanie technicznym
4	Regulacja i wykorzystanie ciepła	η_e	0,77	brak regulacji centralnej i miejscowej
5	Akumulacja ciepła	η_s	1,00	brak zbiornika buforowego
6	Sprawność całkowita systemu	η_0	0,70	
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 po modernizacji

1	Rodzaj systemu zasilania			MSC
2	Wytwarzanie ciepła	η_g	0,99	węzeł cieplny
3	Przesyłanie ciepła	η_d	0,96	przewody w dobrym stanie technicznym
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	0,84	
7	Tygodniowe przerwy na ogrzewanie	w_t	0,90	obniżenie tygodniowe
8	Dobowe przerwy na ogrzewanie	w_d	0,95	obniżenie nocne

Z-7 Ciepła woda użytkowa.

Wyszczególnienie	Jednostka	obecne	docelowe
Ciepło właściwe wody	kJ/kg*K	4,19	4,19
Gęstość wody	kg/dm ³	1	1
Powierzchnia pomieszczeń A _f	m ²	3 676	3 676
Liczba użytkowników	osoba	450	450
Zużycie jednostkowe	dm ³ /(m ² doba)	0,80	0,80
Temperatura ciepłej wody	°C	55	55
Temperatura wody zimnej	°C	10	10
Współczynnik korekcyjny	-	0,55	0,55
Czas pracy instalacji cwu	doba	365	365
Roczne zapotrzebowanie ciepła użytkowego	kWh/rok	30 920,4	30 920,4
	GJ/rok	111,3	111,3
Sprawność wytwarzania	-	0,910	0,980
Sprawność przesyłu	-	0,700	0,700
Sprawność akumulacji	-	0,850	0,850
Sprawność sezonowa wykorzystania	-	1,000	1,000
Sprawność całkowita	-	0,540	0,580
Roczne zapotrzebowanie ciepła końcowego	kWh/rok	57 260,0	53 311,0
	GJ/rok	206,1	191,9
Średnie godzinowe zapotrzebowanie na c.w.u. $V_{h\dot{s}r}=(L*V_{cw})/18/1000$	m ³ /h	0,200	0,200
Wsp. godzinowej nierównomierności rozbioru $N_h=9,32*L^{(-0,244)}$	-	2,099	2,099
Zużycie ciepła na ogrzanie 1 m ³ wody $Q_{cwj}=c_w*\rho*(\Theta_{cw}-Q_0)*k_t/\eta_c/10^6$	GJ/m ³	0,349	0,325
Max. moc c.w.u. $q_{cwu}^{max}=V_{h\dot{s}r}*Q_{cwj}*N_h*10^6/3600$	kW	40,72	37,91
Średnia moc c.w.u. $q_{cwu}^{\dot{s}r}=q_{cwu}^{max}/N_h$	kW	19,4	18,1
Wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową	kWh/(m ² *rok)	15,6	14,5