



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Świętokrzyska
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki

Kierunek studiów:
Elektrotechnika

Andrzej Stobiecki

Materiały dydaktyczne do przedmiotu

CHARAKTERYSTYKA ENEGETYCZNA I AUDYT BUDYNKÓW

opracowane w ramach realizacji Projektu
**„Dostosowanie kształcenia
w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb
współczesnej gospodarki”**
FERS.01.05-IP.08-0234/23

Kielce, 2025



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Projekt „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki”
nr FERS.01.05-IP.08-0234/23



Spis treści

1. Podstawowe definicje	3
2. Charakterystyka energetyczna budynku	5
2.1. Wskaźniki rocznego zapotrzebowania na energię	5
2.2. Wyznaczanie rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną dla systemów technicznych	5
2.3. Program Audytor OZC 7.0	7
3. Audyt energetyczny	10
3.1. Rodzaje audytów	10
3.2. Części audytu energetycznego	13
3.3. Wzór karty audytu energetycznego budynku	15
3.4. Metoda oceny opłacalności i wyboru usprawnień termomodernizacyjnych prowadzących do zmniejszenia strat ciepła przez przenikanie przez ściany, stropy i stropodachy	20
3.5. Metoda oceny opłacalności i wyznaczania optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego polegającego na wymianie okien lub drzwi oraz poprawie systemu wentylacji	24
3.6. Metoda wyznaczania optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego prowadzącego do zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło na przygotowania ciepłej wody użytkowej	29
3.7. Zapotrzebowanie na energię użytkową do przygotowania ciepłej wody użytkowej	31
3.8. Metoda wyznaczania optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego poprawiającego sprawność cieplną systemu grzewczego	33
3.9. Metoda wyboru optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego	35
4. Program ArCADdia-TERMOCAD	40
5. Literatura	42





Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Materiały dydaktyczne objęte licencją Creative Commons BY 4.0.

Licencja dostępna pod adresem: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. Podstawowe definicje

Audyt energetyczny – opracowanie określające zakres oraz parametry techniczne i ekonomiczne przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, ze wskazaniem rozwiązania optymalnego, w szczególności z punktu widzenia kosztów realizacji tego przedsięwzięcia oraz oszczędności energii, stanowiące jednocześnie założenia do projektu budowlanego.

Charakterystyka energetyczna – zbiór danych i wskaźników energetycznych budynku lub części budynku, określających całkowite zapotrzebowanie na energię niezbędną do ich użytkowania zgodnie z przeznaczeniem.

System ogrzewania – system techniczny zapewniający dostawę energii użytkowej na potrzeby ogrzewania i wentylacji pomieszczeń w budynku lub części budynku.

System przygotowania ciepłej wody użytkowej – system techniczny zapewniający dostawę energii użytkowej na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej w budynku lub części budynku.

System chłodzenia – system techniczny zapewniający dostawę energii użytkowej na potrzeby chłodzenia pomieszczeń w budynku lub części budynku.

System wbudowanej instalacji oświetlenia – system techniczny zapewniający dostawę energii końcowej na potrzeby oświetlenia pomieszczeń w budynku lub części budynku.

Prosty system techniczny – system techniczny wykorzystujący jeden rodzaj źródła energii, zasilany jednym rodzajem nośnika energii lub energii.

Złożony system techniczny – system techniczny wykorzystujący więcej niż jeden rodzaj źródła energii.

Nieodnawialna energia pierwotna – energia zawarta w kopalnych surowcach energetycznych, która nie została poddana procesowi konwersji lub transformacji.

Energia końcowa – energia dostarczana do budynku lub części budynku dla systemów technicznych.



Energia pomocnicza końcowa – część energii końcowej dostarczanej do budynku lub części budynku dla zapewnienia funkcjonowania urządzeń pomocniczych w systemach technicznych (np. energia elektryczna do zasilania sterowników, pomp, wentylatorów).

Energia użytkowa – w przypadku ogrzewania budynku lub części budynku – energia przenoszona z budynku lub części budynku do jego (jej) otoczenia przez przenikanie lub z powietrzem wentylacyjnym, pomniejszona o zyski ciepła.

Zyski ciepła – ciepło wytworzone wewnątrz budynku lub części budynku przez użytkowników oraz przez urządzenia niebędące częścią systemów technicznych oraz ciepło dostarczone przez promienie słoneczne do budynku lub części budynku.

Powierzchnia o regulowanej temperaturze powietrza – ogrzewana lub chłodzona powierzchnia kondygnacji netto, wyznaczana według Polskiej Normy dotyczącej właściwości użytkowych w budownictwie określanie i obliczanie wskaźników powierzchniowych i kubaturowych.

Metoda obliczeniowa wyznaczania charakterystyki energetycznej – metoda stosowana do wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oparta na standardowym sposobie użytkowania budynku lub części budynku.

Metoda zużyciowa wyznaczania charakterystyki energetycznej – metoda stosowana do wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oparta na faktycznie zużytej ilości energii.

Ulepszenie termomodernizacyjne – działanie techniczne składające się na przedsięwzięcie termomodernizacyjne w budynku mające na celu oszczędność energii.

Wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego - zestaw ulepszeń termomodernizacyjnych sporządzonych przez audytora energetycznego (wykonawcę audytu energetycznego).

Optymalny wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego - zestaw ulepszeń wybrany zgodnie z algorytmem oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, który spełnia wszystkie warunki i kryteria określone w ustawie, przeznaczony do realizacji.



2. Charakterystyka energetyczna budynku

2.1. Wskaźniki rocznego zapotrzebowania na energię

Charakterystykę energetyczną określają wartości wskaźników rocznego zapotrzebowania na [5]:

1) nieodnawialną energię pierwotną:

$$EP = \frac{Q_P}{A_f}, \quad \frac{kWh}{m^2 \cdot rok} \quad (1)$$

2) energię końcową:

$$EK = \frac{Q_K}{A_f}, \quad \frac{kWh}{m^2 \cdot rok} \quad (2)$$

3) energię użytkową:

$$EU = \frac{Q_U}{A_f}, \quad \frac{kWh}{m^2 \cdot rok} \quad (3)$$

gdzie:

- Q_P - roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemów technicznych, w kWh/rok,
- Q_K - roczne zapotrzebowanie na energię końcową dla systemów technicznych, w kWh/rok,
- Q_U - roczne zapotrzebowanie na energię użytkową dla systemów technicznych, w kWh/rok,
- A_f - powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza (powierzchnia ogrzewana lub chłodzona), w m^2 .

2.2. Wyznaczanie rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną dla systemów technicznych

W celu wyznaczenie rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną dla systemów technicznych Q_P należy skorzystać z zależności [5]:

$$Q_p = Q_{pH} + Q_{pW} + Q_{pC} + Q_{pL}, \quad kWh/rok \quad (4)$$

gdzie:

- Q_{pH} - roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu ogrzewania, w kWh/rok,



- Q_{pW} - roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej, w kWh/rok,
- Q_{pC} - roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu chłodzenia, w kWh/rok,
- Q_{pL} - roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu wbudowanej instalacji oświetlenia (nie wyznacza się dla budynków i lokali mieszkalnych), w kWh/rok,

przy czym [5]:

$$Q_{pH} = Q_{kH} \cdot w_H + E_{el.pom,H} \cdot w_{el}, \quad kWh/rok \quad (5)$$

$$Q_{pW} = Q_{kW} \cdot w_W + E_{el.pom,W} \cdot w_{el}, \quad kWh/rok \quad (6)$$

$$Q_{pC} = Q_{kC} \cdot w_C + E_{el.pom,C} \cdot w_{el}, \quad kWh/rok \quad (7)$$

$$Q_{pL} = Q_{kL} \cdot w_{el}, \quad kWh/rok \quad (8)$$

gdzie:

- Q_{kH} - roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu ogrzewania, w kWh/rok,
- Q_{kW} - roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej, w kWh/rok,
- Q_{kC} - roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu chłodzenia, w kWh/rok,
- Q_{kL} - roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu wbudowanej instalacji oświetlenia (nie wyznacza się dla budynków i lokali mieszkalnych), w kWh/rok,
- w_i - współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii: dla systemu ogrzewania w_H , dla systemu ciepłej wody użytkowej w_W , dla systemu chłodzenia w_C , dla energii elektrycznej w_{el} ,
- $E_{el,pomH}$ - roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu ogrzewania, w kWh/rok,
- $E_{el,pomW}$ - roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu ciepłej wody użytkowej, w kWh/rok,



$E_{el,pomC}$ - roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu chłodzenia, w kWh/rok,

Wartość współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii dla systemów technicznych w_i przyjmuje się na podstawie danych udostępnionych przez dostawcę tego nośnika energii lub energii. W przypadku braku takich danych przyjmuje się wartości współczynnika w_i określone w tabeli 1 [5].

Tabela 1. Wartości współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii dla systemów technicznych

Lp.	Sposób zasilania budynku lub części budynku w energię	Rodzaj nośnika energii lub energii	w_i
1	Miejscowe wytwarzanie energii w budynku	Olej opałowy	1,10
2		Gaz ziemny	
3		Gaz płynny	
4		Węgiel kamienny	
5		Węgiel brunatny	
6		Energia słoneczna	0,00
7	Ciepło sieciowe z kogeneracji	Energia wiatrowa	
8		Energia geotermalna	
9		Biomasa	0,20
10		Biogaz	0,50
11	Ciepło sieciowe z kogeneracji	Węgiel kamienny lub gaz	0,80
12		Biomasa, biogaz	0,15
13	Ciepło sieciowe z ciepłowni	Węgiel kamienny	1,30
14		Gaz lub olej opałowy	1,20
15	Sieć elektroenergetyczna systemowa	Energia elektryczna	2,50

2.3. Program Audytor OZC 7.0

Charakterystykę energetyczną budynku zawierającą między innymi wskaźniki charakterystyki energetycznej można wyznaczyć z wykorzystaniem programu Audytor OZC zakupionego w ramach projektu „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki” nr FERS.01.05-IP.08-0234/23.

[Tekst alternatywny. Zrzut ekranu przedstawia interfejs programu do obliczeń energetycznych budynków. W oknie dialogowym użytkownik wprowadza dane

dotyczące analizowanego obiektu. W dolnej części widoczne są pola do wprowadzenia geometrii budynku oraz parametrów rzędnych terenu i gruntu. Wszystkie opcje są przedstawione w przejrzystej, tabelarycznej formie z rozwijanymi listami i polami edycji.]

The screenshot shows the 'Podstawowe dane' (Basic data) tab in the Audytor OZC software. The interface includes a menu bar with options like 'Plik', 'Edycja', 'Widok', 'Dane', 'Obliczenia', 'Wyniki', 'Parametry', 'Okno', and 'Pomoc'. Below the menu is a toolbar with various icons. The main workspace is divided into several sections:

- Funkcja budynku:** 'Mieszkalna' (Residential).
- Typ budynku:** 'Jednorodzinny' (Single-family).
- Typ budynku wg WT 2021:** 'WT 2021'.
- Budynek mieszkalny - Jednorodzinny:** 'Budynek mieszkalny - Jednorodzinny'.
- Typ konstrukcji:** 'Średnia' (Average).
- C_{m,A}:** '165,00' kJ/(m²·K).
- Oblicz C_m w oparciu o bryłę budynku:** 'Oblicz C_m w oparciu o bryłę budynku'.
- Stopień szczelności:** 'Średni' (Average).
- Krotność wym. powietrza n50:** '7,0' 1/h.
- Klasa osłonięcia budynku:** 'Średnie osłonięcie'.
- Nieosłonięte fasady:** 'Wiecej niż jedna nieosłonięta'.
- Geometria budynku:**
 - Rzędna terenu:** '0,00' m, **A_g:** '85,00' m².
 - Rzędna wody gruntowej:** '-10,00' m, **P_g:** '35,00' m.
- Ogrzewanie:**
 - Typ ogrzewania:** 'Konwekcyjne'.
 - Harmonogram ogrzewania:** 'BEZ PRZERW'.
 - Oslabienie ogrzewania:** 'Bez osłabienia'.
 - Regulacja dostawy ciepła w grupach:** 'Indywidualna reg.'
- Jest instalacja chłodzenia:** 'Jest instalacja chłodzenia'.
- Obrót budynku:** 'Bez obrotu'.

Rys. 1. Przykład wprowadzania danych podstawowych do wyznaczania charakterystyki energetycznej w programie Audytor OZC

[Tekst alternatywny. Zrzut ekranu przedstawia interfejs programu do obliczeń energetycznych budynków. W oknie dialogowym użytkownik wprowadza dane dotyczące analizowanego obiektu. W dolnej części widoczne są pola do wprowadzenia geometrii budynku oraz parametrów rzędnych terenu i gruntu. Wszystkie opcje są przedstawione w przejrzystej, tabelarycznej formie z rozwijanymi listami i polami edycji.]

The screenshot shows the 'Audytor OZC' software interface. On the left is a project tree with rooms K1, S1, G1, W, Ł, P, K, K2, S2, G2, and ST. The main window displays input fields for room 'P' (Pokój) with parameters like $\theta_{int,H}$ (20,0 °C), η_{min} (0,50), V_{min} (34,8 m³/h), and η_{max} (0,50). Below these are fields for area (A: 25,76 m²), volume (V: 69,6 m³), and other room-specific data. A table at the bottom lists room characteristics:

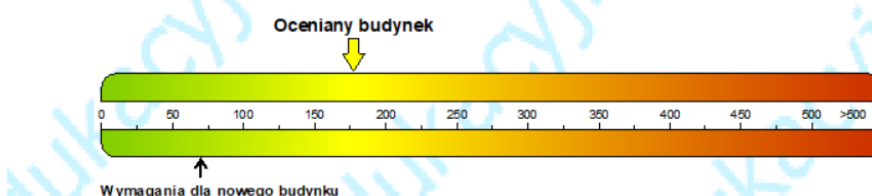
Obł.	Symbol	Or.	Pomieszczenie lub θ	PDS	L lub A	H	N
3D			°C		m; m²	m	Szt.
☒	0	N	Te= -20,0 °C		6,00	2,90	1
☒	1	N	Te= -20,0 °C		2,20	1,20	1
☒	1	N	Te= -20,0 °C		2,20	1,20	1
☒	0	E	Te= -20,0 °C		5,00	2,90	1
☒	0		K 20,0 °C	☒	5,00	2,90	1
☒	0		Tg= 2,0 °C		30,00		1
☒	0		STR -15,6 (-16) °C	☒	30,00		1
☒	0		SW 16,0 °C	☒	3,00	2,90	1
☒	0		Ł 24,0 °C	☒	3,00	2,90	1
☒	0		W 16,0 °C	☒	4,00	2,90	1

Rys. 2. Przykład wprowadzania danych o pomieszczeniu do wyznaczania charakterystyki energetycznej w programie Audytor OZC

[Tekst alternatywny. Grafika przedstawia wyniki oceny charakterystyki energetycznej budynku w postaci tabelarycznej i graficznej. W górnej części znajduje się tabela porównująca wartości wskaźników energetycznych ocenianego budynku oraz wymagania prawne dla nowych budynków. W tabeli zaprezentowane są wskaźniki rocznego zapotrzebowania na energię użytkową (EU), końcową (EK) i nieodnawialną energię pierwotną (EP), a także jednostkową wielkość emisji CO₂ (E_{CO2}) oraz udział odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową (U_{oze}). W dolnej części zamieszczona jest kolorowa skala graficzna przedstawiająca wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną (EP) w kWh/(m²·rok). Strzałka wskazuje położenie ocenianego budynku na skali, która rozciąga się od wartości 0 do ponad 500, z zaznaczonym wymaganiem dla nowego budynku na poziomie 70 kWh/(m²·rok). Skala przechodzi od zielonego (lepsza efektywność) przez żółty i pomarańczowy do czerwonego (najgorsza efektywność).]

OCENA CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ BUDYNKU ¹⁰⁾

WSKAŹNIK CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ	OCENIANY BUDYNEK	WYMAGANIA DLA NOWEGO BUDYNKU WEDŁUG PRZEPISÓW TECHNICZNO-BUDOWLANYCH ¹¹⁾
WSKAŹNIK ROCZNEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ UŻYTKOWĄ	EU = 114,4 kWh/(m ² ·rok)	
WSKAŹNIK ROCZNEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ KOŃCOWĄ ¹²⁾	EK = 170,1 kWh/(m ² ·rok)	
WSKAŹNIK ROCZNEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA NIEODNAWIALNĄ ENERGIĘ PIERWOTNĄ ¹²⁾	EP = 177,9 kWh/(m ² ·rok)	EP = 70,0 kWh/(m ² ·rok)
JEDNOSTKOWA WIELKOŚĆ EMISJI CO ₂	E _{CO2} = 0,055 t CO ₂ /(m ² ·rok)	
UDZIAŁ ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII W ROCZNYM ZAPOTRZEBOWANIU NA ENERGIĘ KOŃCOWĄ	U _{OZE} = 7,2 %	

WSKAŹNIK ROCZNEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA NIEODNAWIALNĄ ENERGIĘ PIERWOTNĄ EP [kWh/(m²·rok)]

Rys. 3. Przykładowe wskaźniki charakterystyki energetycznej budynku
(obliczenia w programie Audytor OZC)

3. Audyt energetyczny

3.1. Rodzaje audytów

Według Ustawy o wspieraniu termomodernizacji i remontów oraz o centralnej ewidencji emisyjności budynków, audyt energetyczny jest to opracowanie określające zakres oraz parametry techniczne i ekonomiczne przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, ze wskazaniem rozwiązania optymalnego, w szczególności z punktu widzenia kosztów realizacji tego przedsięwzięcia oraz oszczędności energii, stanowiące jednocześnie założenia do projektu budowlanego [9].

Audyty energetyczne są niezbędnym elementem przedsięwzięć, których celem jest zmniejszenie zużycia energii. Takie działania wymagają, aby dokonać oceny potencjalnych sposobów poprawy aktualnego stanu obiektu. Należy wówczas zbadać, jakie zmiany potrzebne są w istniejących elementach budowlanych, urządzeniach i instalacjach. Koniecznym jest także określenie kosztów tych zmian oraz ich efektywności w kwestii zmniejszenia zużycia energii i bieżących opłat. Na podstawie tego można wskazać zakres i procedurę przeprowadzenia zrównoważonej modernizacji, która zapewni ograniczenie zużycia energii oraz ponoszonych kosztów. Wykonanie audytu energetycznego jest wskazane w kilku przypadkach. Przede wszystkim, gdy zarządzający obiektem (budynkiem) planuje dokonać zmian bądź ulepszeń, które będą efektywne. Jest to pomocny dokument także dla realizatorów



danego przedsięwzięcia, jako zbiór środków technicznych do wykonania modernizacji. Jeśli zamierzone jest ubieganie się o dofinansowanie przedsięwzięcia, wykonanie audytu energetycznego jest wówczas wymogiem oraz podstawą do udzielenia wsparcia finansowego. Uzyskanie wsparcia finansowego jest najczęstszą determinantą do sporządzania audytów energetycznych [2].

Wymóg wykonania audytów energetycznych wynika z dwóch ustaw, które określają zasady udzielania pomocy finansowej przez państwo na realizację działań związanych z poprawą efektywności energetycznej. Są to: Ustawa o wspieraniu termomodernizacji i remontów oraz o centralnej ewidencji emisyjności budynków [9] oraz Ustawa o efektywności energetycznej [8]. Do ustaw wydano rozporządzenia, w których szczegółowo zawarto wymagania dotyczące sporządzania audytów, są to: Rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego [7] oraz Rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej [4]. Powyższe dokumenty stanowią podstawę ustalającą zakres, formę oraz metodę sporządzania audytów.

Audyt energetyczny dla termomodernizacji

Znaczna część polskich budynków, wybudowanych w ubiegłych latach, ma niski standard energetyczny. Wymagane jest wówczas duże zapotrzebowanie energii na ogrzewanie i jednocześnie ponoszone są wysokie koszty z tym związane. Dobrym rozwiązaniem tego problemu jest termomodernizacja, czyli ulepszenie techniczne budynku, którego efektem jest zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło. Takie przedsięwzięcie jest jednak dość kosztowne i często przekraczające możliwości finansowe właścicieli. Zgodnie z ustawą [9], stanowiącą jednocześnie podstawę prawną, **dokumentem niezbędnym do możliwości ubiegania o premię termomodernizacyjną jest audyt energetyczny**. Dofinansowaniem środkami publicznymi procesów termomodernizacji zajmują się instytucje takie jak: Bank Gospodarstwa Krajowego (BGK), wojewódzkie fundusze ochrony środowiska i gospodarki wodnej, Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oraz urzędy marszałkowskie [1]. Szczegółowe wymagania dotyczące treści audytu określa rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego [7].

Audyt remontowy

Według ustawy [9] audyt remontowy jest to opracowanie określające zakres oraz parametry techniczne i ekonomiczne przedsięwzięcia remontowego, stanowiące jednocześnie założenia do projektu budowlanego. Audyt remontowy jest wymagany w przypadku chęci ubiegania się o wsparcie finansowe państwa w przedsięwzięciach



remontowych. W audycie remontowym nie oblicza się kwoty planowanych oszczędności finansowych, a jedynie oszczędności energetycznej.

Przedsięwzięcia remontowe ustawa [9] określa jako przedsięwzięcia związane z termomodernizacją, obejmujące przede wszystkim prace dotyczące budynków wielorodzinnych. Zakres przedsięwzięć może dotyczyć wymiany okien, remontu balkonów (również w przypadku wyłącznego użytku właścicieli lokali), przebudowy budynku w celu ulepszenia, a także wyposażenie budynków w instalacje i urządzenia.

Audyty remontowe mogą dotyczyć węższej grupy obiektów niż audyty energetyczne. Według ustawy [9] można wspierać finansowo przedsięwzięcia remontowe dotyczące budynków mieszkalnych wielorodzinnych.

Zawartość audytu remontowego określono częściowo w rozporządzeniu w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego [7] oraz częściowo w ustawie o wspieraniu termomodernizacji i remontów [9]. Audyt remontowy powinien zawierać stronę identyfikacyjną audytu, kartę audytu, wykaz dokumentów i źródeł (wraz z wytycznymi inwestora dotyczącymi wielkości środków własnych oraz ewentualnego kredytu), inwentaryzację techniczno-budowlaną budynku, ocenę stanu technicznego (w tym roczne zapotrzebowanie energii do ogrzewania i wentylacji budynku oraz do przygotowania ciepłej wody), wykaz ulepszeń remontowych oraz dokumentację wskazującą wybór wariantu przedsięwzięcia remontowego.

Audyty efektywności energetycznej

Zgodnie z definicją zawartą w ustawie [3] audyt efektywności energetycznej jest to opracowanie zawierające analizę zużycia energii oraz określające stan techniczny obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, zawierające wykaz przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, a także ocenę ich opłacalności ekonomicznej i możliwej do uzyskania oszczędności energii.

Audyty efektywności energetycznej znacznie różnią się od audytów termomodernizacyjnych. Spośród elementów wspólnych można wymienić: dotyczą obiektów podobnego rodzaju, stosowane są standardowe metody wzmacniania efektywności energetycznej, mają podobną formę i zawartość. Jednak w odróżnieniu od audytów dla termomodernizacji, audyty efektywności energetycznej mogą dotyczyć obiektów o różnym sposobie użytkowania, co często związane jest to ze skomplikowaną technologią. Ten rodzaj audytu nierzadko wymaga wykorzystania zaawansowanych metod i środków, dostosowanych do specyfiki obiektów.

Podstawę prawną, określającą zasady wykonywania tego rodzaju audytu oraz systemu świadectw, stanowi Ustawa o efektywności energetycznej [8], natomiast



zawartość określa Rozporządzenie w sprawie sporządzania audytu efektywności energetycznej [4].

Cały proces sporządzania audytu najczęściej rozpoczyna się w momencie, gdy zarządca/właściciel danego obiektu stwierdza, że jest potrzeba wprowadzenia zmian, które ulepszą jego działalność lub efektywność energetyczną. Wówczas zleca się sporządzenie takiego audytu, którego zadaniem jest wybór metody dokonania planowanej zmiany oraz określenie jego oszczędności energetycznej. Wówczas może istnieć podstawa do uzyskania białego certyfikatu, a jego sprzedaż ułatwi finansowanie przedsięwzięcia [2].

Audyt energetyczny przedsiębiorstwa

Według ustawy [8], na podstawie której sporządza się ten rodzaj audytu, audyt energetyczny przedsiębiorstwa jest procedurą mającą na celu przeprowadzenie szczegółowych i potwierdzonych obliczeń dotyczących proponowanych przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej oraz dostarczenie informacji o potencjalnych oszczędnościach energii. Ten rodzaj audytu polega na przeprowadzeniu przeglądu gospodarki energetycznej przedsiębiorstwa, a także diagnozy aktualnego stanu wykorzystania energii. Podobnie jak w pozostałych rodzajach audytów, wskazuje się środki poprawy efektywności energetycznej. W ustawie [8] określono obowiązek przeprowadzania audytów przedsiębiorstwa (lub zlecenie go) co 4 lata. Regularne sporządzanie audytu energetycznego przedsiębiorstwa ma na celu, przede wszystkim, uświadomienie przedsiębiorcy, jakie ma możliwości wykorzystania środków oszczędności energetycznych i redukcji kosztów. Audyt energetyczny przedsiębiorstwa znacznie różni się od poprzednich rodzajów audytów. Przede wszystkim, nie dotyczy oceny indywidualnego obiektu, ale dotyczy wszelkich dziedzin użytkowania energii w danym przedsiębiorstwie. Sporządzanie audytu efektywności przedsiębiorstwa nie jest także związane z pozyskiwaniem dofinansowania na wykonanie przedsięwzięcia, ale jedynie z rozpatrywaniem potencjalnych sposobów osiągnięcia oszczędności energetycznej w przedsiębiorstwie. Ważną różnicą jest również kwestia, że ten rodzaj audytu może dotyczyć wprowadzenia wszelkich możliwych środków, również tych nie inwestycyjnych, na przykład organizacyjnych.

3.2. Części audytu energetycznego

Audyt energetyczny zawiera następujące części [7]:

1. Stronę tytułową.
2. Kartę audytu energetycznego (opracowaną zgodnie ze wzorem).





3. Dokumenty i dane źródłowe wykorzystywane przy opracowaniu audytu oraz wytyczne i uwagi inwestora budowlanego budynku.
4. Inwentaryzację techniczno-budowlaną budynku zawierającą min:
 - dane ogólne budynku,
 - podstawową dokumentację architektoniczną,
 - charakterystykę techniczną budynku,
 - charakterystykę systemu grzewczego,
 - charakterystykę systemu ciepłej wody użytkowej,
 - opis systemu wentylacji
 - charakterystykę energetyczną budynku.
5. Ocenę stanu technicznego budynku w zakresie:
 - elementów konstrukcyjnych (ściany, podłogi, stropy, dach, okna, inne),
 - systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej,
 - systemu ogrzewania budynku.
6. Wykaz usprawnień i przedsięwzięć termomodernizacyjnych w zakresie:
 - modernizacji przegród nieprzezroczystych,
 - modernizacji okien i systemu wentylacji,
 - modernizacji systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej,
 - modernizacji systemu grzewczego w budynku.
7. Określenie optymalnych usprawnień termomodernizacyjnych i wybór optymalnego wariantu termomodernizacyjnego:
 - zestawienie wybranych do realizacji optymalnych usprawnień termomodernizacyjnych w kolejności rosnącej współczynnika SPBT,
 - usprawnienie w zakresie modernizacji systemu c.w.u. budynku,
 - usprawnienie w zakresie modernizacji systemu grzewczego budynku,
 - warianty termomodernizacyjne zawierające usprawnienia optymalne,
 - roczne koszty ogrzewania budynku oraz roczne oszczędności kosztów energii dla stanu istniejącego oraz dla każdego wariantu termomodernizacyjnego,
 - wybór optymalnego wariantu termomodernizacyjnego,
8. Opis wariantu optymalnego
 - sporządzić wykaz prac dla wybranego wariantu termomodernizacyjnego,
 - opracować charakterystykę finansową.
9. Załączniki – dla prawidłowej realizacji audytu energetycznego wskazane jest opracowanie załączników potwierdzających wykonane analizy np.:
 - 1) określenie współczynników przenikania ciepła,
 - 2) charakterystykę energetyczną budynku,
 - 3) obliczenie sezonowego zapotrzebowania na ciepło dla stanu istniejącego,



- 4) świadectwo charakterystyki energetycznej dla wybranego wariantu termomodernizacji.

3.3. Wzór karty audytu energetycznego budynku

Wzór karty audytu energetycznego określa rozporządzenie [7] w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego.

Tabela 2. Wzór karty audytu energetycznego budynku

1. Dane ogólne		Stan przed termomodernizacją	Stan po termomodernizacji
1.	Konstrukcja / technologia budynku		
2.	Liczba kondygnacji		
3.	Kubatura części ogrzewanej [m ³]		
4.	Powierzchnia użytkowa budynku [m ²]		
5.	Powierzchnia użytkowa służąca celom mieszkalnym i wykonywaniu zadań publicznych przez organy administracji publicznej [m ²]		
6.	Wskaźnik udziału powierzchni (poz. 5) / (poz. 4) [%]		
7.	Liczba lokali mieszkalnych		
8.	Liczba osób użytkujących budynek		
9.	Sposób przygotowania ciepłej wody użytkowej		
10.	Rodzaj systemu grzewczego budynku		
11.	Współczynnik A/V ¹¹⁾ [1/m]		
12.	Inne dane charakteryzujące budynek		
2. Współczynniki przenikania ciepła przez przegrody budowlane [W/m ² K]			
1.	Ściany zewnętrzne		
2.	Dach / stropodach / strop pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami		
3.	Strop nad piwnicą		
4.	Podłoga na gruncie w pomieszczeniach ogrzewanych		
5.	Okna, drzwi balkonowe		
6.	Drzwi zewnętrzne/bramy		



7.	Inne		
3. Sprawności składowe systemu ogrzewania i współczynniki uwzględniające przerwy w ogrzewaniu			
1.	Sprawność wytwarzania η_g		
2.	Sprawność przesyłu η_d		
3.	Sprawność regulacji i wykorzystania η_e		
4.	Sprawność akumulacji η_s		
5.	Uwzględnienie przerw na ogrzewanie w okresie tygodnia (w_t)		
6.	Uwzględnienie przerw na ogrzewanie w ciągu doby (w_d)		
4. Sprawności składowe systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej			
1.	Sprawność wytwarzania		
2.	Sprawność przesyłu		
3.	Sprawność regulacji i wykorzystania	1,0	1,0
4.	Sprawność akumulacji		
5. Charakterystyka systemu wentylacji			
1.	Rodzaj wentylacji (naturalna, mechaniczna, inna)		
2.	Sposób doprowadzenia i odprowadzenia powietrza		
3.	Strumień powietrza zewnętrznego [m ³ /h]		
4.	Krotność wymian powietrza [1/h]		
6. Charakterystyka energetyczna budynku		przed	po
1.	Obliczeniowa moc cieplna systemu grzewczego	kW	
2.	Obliczeniowa moc cieplna na przygotowanie cwu	kW	
3.	Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)	GJ/a	
4.	Roczne obliczeniowe zużycie energii do ogrzewania budynku (z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)	GJ/a	
5.	Roczne obliczeniowe zużycie energii do przygotowania ciepłej wody użytkowej	GJ/a	
6.	Zmierzone zużycie ciepła na ogrzewanie przeliczone na warunki sezonu standardowego (służące weryfikacji przyjętych składowych danych obliczeniowych bilansu ciepła)	GJ/a	



7.	Zmierzone zużycie ciepła na przygotowanie ciepłej wody użytkowej (służące weryfikacji przyjętych składowych danych obliczeniowych bilansu ciepła)	GJ/a		
8.	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)	kW·h/ (m ² ·a)		
9.	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)	kW·h/ (m ² ·a)		
10.	Udział odnawialnych źródeł energii ¹⁾	%		
7. Opłaty jednostkowe (obowiązujące w dniu sporządzenia audytu)				
1.	Koszt za 1 GJ ciepła do ogrzewania budynku ²⁾	zł/GJ		
2.	Koszt 1 MW mocy zamówionej na ogrzewanie na miesiąc ³⁾	zł/MW/ (m-c)		
3.	Koszt przygotowania 1m ³ ciepłej wody użytkowej ²⁾	zł/m ³		
4.	Koszt 1 MW mocy zamówionej na podgrzanie cwu na m-c ³⁾	zł/MW/ (m-c)		
5.	Miesięczny koszt ogrzewania 1 m ² powierzchni użytkowej	zł/m ² (m-c)		
6.	Miesięczna opłata abonamentowa [zł/m-c]	zł/m-c		
7.	Inne opłaty	zł		
8.1. Wskaźniki dla optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego				
1.	EK – wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową	kW·h/ (m ² ·a)		
2.	EP – wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną	kW·h/ (m ² ·a)		
3.	Zmniejszenie rocznego zapotrzebowania na energię	%		
4.	Zmniejszenie zapotrzebowania na energię	GJ/rok		
5.	Średnioroczna oszczędność energii finalnej	[toe/rok]		
6.	Uniknięta emisja CO ₂	[t CO ₂ /rok]		
7.	Roczne oszczędności kosztów energii	[zł/rok]		
8.	Moc instalacji OZE w ramach termomodernizacji ⁴⁾	kW		
8.2. Charakterystyka ekonomiczna przedsięwzięcia termomodernizacyjnego				
			netto	brutto



1.	Koszty całkowite przedsięwzięcia	zł		
2.	Koszty zakupu, montażu, budowy albo modernizacji instalacji odnawialnego źródła	zł	netto	brutto
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	%		
4.	Czy inwestorowi przyznano grant OZE: TAK/NIE ⁵⁾			
5.	Premia termomodernizacyjna	zł		
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 [kW·h/(m ² ·a)]				
2. Przegrody oraz wyposażenie techniczne budynku ODPOWIADAJĄ / NIE ODPOWIADAJĄ ⁷⁾ 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 ^{8)**}	zł		
10. Premia MZG i grant MZG ⁹⁾				
1. Przed realizacją przedsięwzięcia termomodernizacyjnego / W ramach przedsięwzięcia termomodernizacyjnego ⁷⁾ w budynku jest spełniony warunek, o którym mowa w art. 11h ust. 1 ustawy: TAK/NIE , jeżeli TAK, to: – pkt 1 / – pkt 2 / – pkt 3 ⁷⁾				
2.	Wysokość premii MZG	zł		
3.	Wysokość grantu MZG ^{4)***}	zł		
4.	Wysokość premii MZG łącznie z wartością grantu	zł		
11. Inne				
1. W ramach przedsięwzięcia termomodernizacyjnego ZOSTANIE / NIE ZOSTANIE ⁷⁾ zastosowana wysokosprawna kogeneracja				
2. Budynek JEST / NIE JEST ⁷⁾ wpisany do rejestru zabytków lub znajduje się na obszarze wpisanym do rejestru				
3. Przedsięwzięcie STANOWI / NIE STANOWI ⁷⁾ przedsięwzięcia rewitalizacyjnego, o którym mowa w art. 11g ust. 2 ustawy				
4. Z audytu energetycznego WYNIKA / NIE WYNIKA ⁷⁾ , że po zrealizowaniu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego elementy budynku poddane przedsięwzięciu termomodernizacyjnemu będą spełniać wymagania, o których mowa w art. 5a ust. 2 i art. 11g ust. 1 pkt 4 ustawy ¹⁰⁾				



- ¹⁾ U_{OZE} [%] obliczany zgodnie z rozporządzeniem dotyczącym sporządzania świadectw, jako udział odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową dostarczaną do budynku dla systemu grzewczego oraz dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej.
- ²⁾ Opłata zmienna związana z dystrybucją i przesyłem jednostki energii.
- ³⁾ Stała opłata miesięczna związana z dystrybucją i przesyłem energii.
- ⁴⁾ Jeśli dotyczy.
- ⁵⁾ Jeśli dotyczy, w przypadku gdy inwestorowi nie przyznano grantu OZE.
- ⁶⁾ Należy wpisać 0, jeśli inwestorowi została przyznana premia MZG.
- ⁷⁾ Niepotrzebne skreślić.
- ⁸⁾ Należy wpisać 0, jeśli inwestorowi nie przysługuje premia termomodernizacyjna.
- ⁹⁾ Dotyczy inwestora, o którym mowa w art. 11g ust. 1 pkt 1 ustawy.
- ¹⁰⁾ Jeżeli z audytu energetycznego wynika, że nie jest możliwe spełnienie tego warunku, to w przypadku budynku, o którym mowa w art. 11g ust. 2 ustawy, audytor załącza do karty audytu energetycznego oświadczenie, które to potwierdza, wraz z uzasadnieniem.
- ^{*)} Wysokość premii termomodernizacyjnej wynosi:
 - 1) 26% kosztów przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, w przypadku, o którym mowa w art. 5 ust. 1 ustawy;
 - 2) 31% kosztów przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, w przypadku, o którym mowa w art. 5 ust. 2a ustawy;
 - 3) 31% łącznych kosztów przedsięwzięcia termomodernizacyjnego oraz zakupu, montażu, budowy lub modernizacji instalacji odnawialnego źródła energii, w przypadku, o którym mowa w art. 5 ust. 2b ustawy.
- ^{**)} 10% kosztów przedsięwzięcia termomodernizacyjnego netto.
- ^{***)} 30% kosztów przedsięwzięcia netto.
- ¹¹⁾ **A/V - Współczynnik kształtu** budynku należy obliczyć zgodnie z obowiązującymi w tym zakresie warunkami technicznymi dla budynków, gdzie:
A – powierzchnia liczona po obrysie zewnętrznym wszystkich przegród (ścian, okien, drzwi, podłogi, stropu) oddzielających część ogrzewaną budynku od powietrza zewnętrznego, gruntu, przestrzeni nieogrzewanych, **V – kubatura ogrzewanej części budynku** liczona po obrysie zewnętrznym.



3.4. Metoda oceny opłacalności i wyboru usprawnień termomodernizacyjnych prowadzących do zmniejszenia strat ciepła przez przenikanie przez ściany, stropy i stropodachy

Optymalne usprawnienia prowadzące do zmniejszenia strat ciepła przez przenikanie przez ściany i stropy budynku to takie usprawnienia, dla których prosty czas zwrotu SPBT przyjmuje wartość minimalną. W celu wyznaczenia optymalnego usprawnienia można skorzystać z zależności [7]:

$$SPBT = \frac{N_u}{\sum_n \Delta O_{rU}} \quad [lata] \quad (9)$$

gdzie:

- N_u – planowane koszty robót związanych z ograniczeniem strat ciepła przez przenikanie, [zł],
- ΔO_{rU} – roczna oszczędność kosztów energii, która wynika z zastosowania usprawnienia termomodernizacyjnego, która przypada na poszczególne z n wykorzystanych źródeł energii, [zł/rok].

Wartość rocznej oszczędności kosztów energii ΔO_{rU} dla n- tego źródła określa się na podstawie zależności (10) wyrażonej w [zł/rok]:

$$\Delta O_{rU} = [(x_0 \cdot Q_{0u} \cdot O_{0z}) - (x_1 \cdot Q_{1u} \cdot O_{1z})] + 12 \cdot [(y_0 \cdot q_{0u} \cdot O_{0m}) - (y_1 \cdot q_{1u} \cdot O_{1m})] + 12 \cdot (Ab_0 \cdot Ab_1) \quad (10)$$

gdzie:

- x_0, x_1 – udział n-tego źródła w zapotrzebowaniu na ciepło przed (indeks 0) i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego (indeks 1),
- Q_{0u}, Q_{1u} – roczne zapotrzebowanie na ciepło na pokrycie strat ciepła przez przenikanie przed i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego, [GJ/rok],
- O_{0z}, O_{1z} – opłata zmienna, która jest związana z dystrybucją i przesyłem jednostki energii wykorzystywanej do ogrzewania przed i po termomodernizacji budynku dla n-tego źródła, odpowiadająca:
- dla ogrzewania zdalczynnego – 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 za przesyłane paliwo zł/m^3 przeliczonej na $[\text{zł/GJ}]$,
 - dla własnego źródła zasilanego dowolnym paliwem – stawce opłaty zmiennej określonej wg kalkulacji kosztów rodzajowych przeliczonej na $[\text{zł/GJ}]$,
- 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, $[\text{MW}]$,
- O_{0m}, O_{1m} – stała opłata miesięczna związana z dystrybucją i przesyłaniem energii wykorzystywanej do ogrzewania przed i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego dla n-tego źródła, odpowiadająca:
- dla ogrzewania zdalczego – opłacie za zamówioną moc cieplną i opłacie stałej za usługi przesyłowe, $[\text{zł}/(\text{MW} \cdot \text{m} \cdot \text{c})]$:
 - dla gazu – składnikowi stałemu wyznaczonemu na jednostkę mocy umownej w miesięcznym okresie rozliczeniowym przeliczonemu na $[\text{zł}/(\text{MW} \cdot \text{m} \cdot \text{c})]$,
 - dla energii elektrycznej – składnikowi stałemu stawki sieciowej $[\text{zł}/(\text{kW} \cdot \text{m} \cdot \text{c})]$, przeliczonemu na $[\text{zł}/(\text{MW} \cdot \text{m} \cdot \text{c})]$,
 - dla własnego źródła zasilanego dowolnym paliwem – składnikowi miesięcznych kosztów stałych, określonego zgodnie z kalkulacją kosztów rodzajowych, odniesionemu do mocy źródła, $[\text{zł}/(\text{MW} \cdot \text{m} \cdot \text{c})]$,
- Ab_0, Ab_1 – miesięczna opłata abonamentowa przed i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego dla n-tego źródła, $[\text{zł}]$.

Wartość rocznego zapotrzebowania na ciepło na pokrycie strat przez przenikanie przed wykonaniem przedsięwzięcia termomodernizacyjnego Q_{0u} , oraz po wykonaniu termomodernizacji Q_{1u} , oblicza się korzystając z zależności [7]:

$$Q_{0u}, Q_{1u} = 8,64 \cdot 10^{-5} \cdot S_d \cdot A \cdot U \quad [\text{GJ}/\text{rok}] \quad (11)$$

gdzie:

- U – całkowity współczynnik przenikania ciepła ocenianej przegrody budowlanej przed i po termomodernizacji, $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$, przy czym maksymalna wartość współczynnika U_{max} po termomodernizacji wynika z aktualnie obowiązujących przepisów rozporządzenia w

sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie,

A – powierzchnia całkowita izolowanej przegrody przed i po termomodernizacji, wyrażona w [m²],

S_d – liczba stopniodni.

Liczbę stopniodni określa się na podstawie zależności [7]:

$$S_d = \sum_{m=1}^{L_g} [t_{wo} - t_e(m)] \cdot L_d(m) \text{ [d} \cdot \text{K/rok]} \quad (12)$$

gdzie:

t_{wo} – obliczeniowa temperatura powietrza wewnętrznego określona zgodnie z Polską Normą dotyczącą temperatur ogrzewanych pomieszczeń w budynkach, [°C],

t_e(m) – średnia wieloletnia temperatura miesiąca m, określona zgodnie z Polską Normą dotyczącą obliczania zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego, a w przypadku stropów nad nieogrzewanymi piwnicami lub pod nieogrzewanymi poddaszami – temperatura wynikająca z bilansu cieplnego budynku, [°C],

L_d(m) – liczba dni ogrzewania w miesiącu m określana na podstawie tabeli 3,

L_g – liczba miesięcy ogrzewania w sezonie grzewczym.

Tabela 3. Wartości L_d(m) dni ogrzewania dla kolejnych miesięcy [7]

Lp.	Miejscowość	Miesiąc											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	Aleksandrowice	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
2	Białystok	31	28	31	30	10	0	0	0	10	31	30	31
3	Bydgoszcz	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
4	Chojnice	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
5	Częstochowa	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
6	Elbląg	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
7	Gdańsk	31	28	31	30	20	0	0	0	10	31	30	31
8	Gorzów Wlkp.	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
9	Hel	31	28	31	30	20	0	0	0	10	31	30	31
10	Jelenia Góra	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
11	Kalisz	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
12	Kasprowy Wierch	31	28	31	30	20	0	0	0	20	31	30	31
13	Katowice	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
14	Kętrzyn	31	28	31	30	10	0	0	0	10	31	30	31
15	Kielce	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
16	Kłodzko	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31



Lp.	Miejscowość	Miesiąc											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
17	Koło	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
18	Kołobrzeg	31	28	31	30	20	0	0	0	10	31	30	31
19	Koszalin	31	28	31	30	20	0	0	0	10	31	30	31
20	Kraków	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
21	Legnica	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
22	Lesko	31	28	31	30	10	0	0	0	10	31	30	31
23	Leszno	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
24	Lębork	31	28	31	30	20	0	0	0	10	31	30	31
25	Lublin	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
26	Łeba	31	28	31	30	20	0	0	0	10	31	30	31
27	Łódź	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
28	Mikołajki	31	28	31	30	10	0	0	0	10	31	30	31
29	Mława	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
30	Nowy Sącz	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
31	Olsztyn	31	28	31	30	10	0	0	0	10	31	30	31
32	Opole	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
33	Ostrołęka	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
34	Płock	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
35	Lublin	31	28	31	30	0	0	0	0	0	31	30	31
36	Przemyśl	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
37	Racibórz	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
38	Resko	31	28	31	30	20	0	0	0	5	31	30	31
39	Rzeszów	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
40	Sandomierz	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
41	Siedlce	31	28	31	30	10	0	0	0	10	31	30	31
42	Słubice	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
43	Suwałki	31	28	31	30	20	0	0	0	20	31	30	31
44	Szczecin	31	28	31	30	20	0	0	0	10	31	30	31
45	Szczecinek	31	28	31	30	20	0	0	0	10	31	30	31
46	Śnieżka	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
47	Świnoujście	31	28	31	30	20	0	0	0	10	31	30	31
48	Tarnów	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
49	Terespol	31	28	31	30	10	0	0	0	10	31	30	31
50	Toruń	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
51	Wałcz	31	28	31	30	20	0	0	0	10	31	30	31
52	Warszawa	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
53	Wieluń	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
54	Włodawa	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
55	Wrocław	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31
56	Zakopane	31	28	31	30	20	0	0	0	20	31	30	31
57	Zamość	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
58	Zgorzelec	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
59	Zielona Góra	31	28	31	30	10	0	0	0	5	31	30	31

Tabela 4. Obliczanie liczby stopniodni dla przykładowej stacji meteorologicznej

Strefa klimatyczna:	-20 °C	
Stacja meteorologiczna	Kielce	
Temperatura wewn.	20 °C	

Miesiąc:	te [°C]	Ld(m)	t _m [h]	t _{wo} [°C]	(t _{wo} -t _e)*Ld(m)
I	-3,9	31	744,0	20	740,9
II	-2,7	28	672,0	20	635,6
III	1,0	31	744,0	20	589,0
IV	7,0	30	720,0	20	390,0
V	12,3	5	120,0	20	38,5
VI	16,2	0	0,0	20	0,0
VII	17,3	0	0,0	20	0,0
VIII	16,7	0	0,0	20	0,0
IX	12,7	5	120,0	20	36,5
X	7,7	31	744,0	20	381,3
XI	2,9	30	720,0	20	513,0
XII	-1,2	31	744,0	20	657,2
				Sd =	3982 d*K/rok

Wartości zapotrzebowania na moc ciepłą na pokrycie strat przez przenikanie przed wykonaniem usprawnień q_{0u} oraz po wykonaniu termomodernizacji q_{1u} oblicza się korzystając z zależności [7]:

$$q_{0u}, q_{1u} = 10^{-6} \cdot A \cdot U \cdot (t_{wo} - t_{zo}) \text{ [MW]} \quad (13)$$

gdzie:

- t_{wo} – jak we wzorze (12),
- t_{zo} – obliczeniowa temperatura powietrza zewnętrznego dla danej strefy klimatycznej określona zgodnie z Polską Normą dotyczącą temperatur obliczeniowych zewnętrznych, wyrażona w [°C],
- A – jak we wzorze (12),
- U – jak we wzorze (12).

3.5. Metoda oceny opłacalności i wyznaczania optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego



polegającego na wymianie okien lub drzwi oraz poprawie systemu wentylacji

Optimalny wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, polegający na wymianie okien i drzwi oraz na poprawieniu systemu wentylacji, to taki wariant, dla którego prosty czas zwrotu nakładów SPBT przyjmuje wartość minimalną, przy czym porównuje się warianty o tym samym zakresie usprawnień technicznych. W celu wyznaczenia optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego należy korzystać z zależności:

$$SPBT = \frac{N_{Ok} + N_W}{\sum_n (\Delta O_{rOk} + \Delta O_{rW})} \quad [\text{lata}] \quad (14)$$

gdzie:

- N_{Ok} – planowane koszty robót związane z wymianą okien lub drzwi, [zł],
- N_W – planowane koszty związane z modernizacją wentylacji, [zł],
- ΔO_{rOk} – roczna oszczędność kosztów energii, która wynika z wymiany okien lub drzwi przypadająca na poszczególne z n wykorzystanych źródeł energii, zł/rok,
- ΔO_{rW} – roczna oszczędność kosztów energii wynikająca z modernizacji wentylacji, przypadająca na poszczególne z n wykorzystanych źródeł energii, [zł/rok].

Wartość łącznej oszczędności kosztów energii $\Delta O_{rOk} + \Delta O_{rW}$, która jest wyrażana w [zł/rok], dla n-tego źródła oblicza się korzystając z zależności [7]:

$$\Delta O_{rOk} + \Delta O_{rW} = (x_0 \cdot Q_0 \cdot O_{0z} - x_1 \cdot Q_1 \cdot O_{1z}) + + 12 \cdot (y_0 \cdot q_0 \cdot O_{0m} - y_1 \cdot q_1 \cdot O_{1m}) + 12 \cdot (Ab_0 - Ab_1) \quad (15)$$

gdzie:

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



- O_{0z}, O_{1z} – suma opłat jak w zależności (10),
 y_0, y_1 – udział n -tego źródła w zapotrzebowaniu na moc cieplną przed po wykonaniu wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego,
 q_0, q_1 – zapotrzebowanie na moc cieplną na pokrycie strat przez przenikanie przed i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego oraz infiltrację lub na pokrycie strat przez przenikanie i ogrzewanie przed i po wykonaniu wariantu usprawnienia termomodernizacyjnego.

Wartość rocznego zapotrzebowania na ciepło przed termomodernizacją Q_0 , oraz po termomodernizacji Q_1 , w przypadku gdy doprowadzenie powietrza wentylacyjnego nie odbywa się przez nawiewniki okienne lub ściennie, okna lub drzwi, określa korzystając z zależności [7]:

$$Q_0, Q_1 = 8,64 \cdot 10^{-5} Sd \cdot A_{Ok} \cdot U \cdot Q_{inf} \quad (16)$$

gdzie:

- U – współczynnik przenikania ciepła okna lub drzwi przewidzianych do wymiany, przyjęty z dokumentacji technicznej oraz po wymianie przyjęty na podstawie aprobaty technicznej, $W/(m^2 \cdot K)$; przy czym dla pomieszczeń ogrzewanych, w których temperatura obliczeniowa jest większa niż $16^\circ C$, maksymalna wartość współczynnika U_{max} po termomodernizacji wynika z aktualnie obowiązujących przepisów rozporządzenia w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie,
 A_{Ok} – powierzchnia całkowita okien lub drzwi przed i po modernizacji wyrażona w $[m^2]$,
 Q_{inf} – roczne zapotrzebowanie na ciepło na ogrzanie niepożądanego strumienia powietrza napływającego przez nieszczelności okien i drzwi obliczane wg wzoru (20), $[GJ/rok]$.

Wartość rocznego zapotrzebowania na ciepło przed termomodernizacją Q_0 oraz po termomodernizacji Q_1 , w przypadku gdy doprowadzenie powietrza wentylacyjnego odbywa się przez nawiewniki ściennie, okna lub drzwi, określa się korzystając z zależności [7]:

$$Q_0, Q_1 = (8,64 \cdot Sd \cdot A_{Ok} \cdot U + 2,94 \cdot c_r \cdot c_w \cdot V_{nom} \cdot Sd) \cdot 10^{-5} [GJ/rok] \quad (17)$$

gdzie:

- Sd – jak we wzorze (12),



- U – jak we wzorze (16),
 A_{Ok} – powierzchnia całkowita okien lub drzwi przed i po modernizacji wyrażona w $[m^2]$,
 V_{nom} – strumień powietrza wentylacyjnego odniesiony do warunków projektowych dla wentylacji naturalnej, w przypadku braku danych należy przyjąć minimalny strumień wentylacyjnego powietrza zamieszczony w Polskiej Normie dotyczącej wentylacji w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej, $[m^3/h]$,
 C_r, C_w – współczynniki korekcyjne według tabeli 5.

Wartość zapotrzebowania na moc cieplną przed wykonaniem termomodernizacji q_0 oraz po wykonaniu działań modernizacyjnych q_1 , w przypadku gdy doprowadzenie powietrza wentylacyjnego nie odbywa się przez nawiewniki okienne lub ściennie, oblicza się ze wzoru [7]:

$$q_0, q_1 = 10^{-6} \cdot A_{Ok} \cdot (t_{wo} - t_{zo}) \cdot U + 1,65 \cdot 10^{-8} \cdot a \cdot l \cdot (t_{wo} - t_{zo})^{5/3} [MW] \quad (18)$$

gdzie:

- t_{wo} – jak we wzorze (12),
 t_{zo} – jak we wzorze (13),
 A_{Ok} – jak we wzorze (16),
 U – jak we wzorze (16),
 a – współczynnik przepływu powietrza przez szczeliny okien lub drzwi przed i po termomodernizacji określany według tabeli 6,
 l – długość zewnętrznych szczelin przylgowych okien lub drzwi, przed i po termomodernizacji, w $[m]$.

Wartość zapotrzebowania na moc cieplną przed termomodernizacją q_0 i po termomodernizacji q_1 , w przypadku gdy doprowadzanie powietrza wentylacyjnego odbywa się przez nawiewniki okienne lub ściennie, oblicza się z wzoru:

$$q_0, q_1 = 10^{-6} \cdot A_{Ok} \cdot (t_{wo} - t_{zo}) \cdot U + 3,4 \cdot 10^{-7} \cdot V_{obl} \cdot (t_{wo} - t_{zo}) [MW] \quad (19)$$

gdzie:

- V_{obl} - strumień powietrza wentylacyjnego odniesiony do warunków obliczeniowych dla instalacji ogrzewczych.

Wartość rocznego zapotrzebowania na ciepło wykorzystywanego do ogrzewania niepożądanego powietrza, które napływa do mieszkania przez nieszczelności w oknach i drzwiach Q_{0inf} , Q_{1inf} oblicza się ze wzoru:

$$Q_{0inf}, Q_{1inf} = 1,43 \cdot 10^{-6} \cdot a \cdot l \cdot \sum_{m=1}^{L_g} [t_{wo} - t_e(m)] \cdot Ld(m) \quad (20)$$

Tabela 5. Wartości współczynników korekcyjnych do wyznaczania zapotrzebowania na ciepło na cele wentylacji [7]

Lp.	Wyszczególnienie przyczyn wpływających na zapotrzebowanie ciepła na cele grzewcze	Wartości współczynników korekcyjnych ^{*)}	
		Współczynnik C _r	Współczynnik C _m
1	Wentylacja naturalna. Szczelność okien i drzwi, charakterystyka nawiewnika lub obserwowany poziom wentylacji	-	-
a)	Okna bardzo nieszczelne (a ≤ 4) lub obserwowana nadmierna wentylacja powodująca wyziębienie pomieszczeń	1,1-1,3	1,2-1,5
b)	Okna szczelne (0,5 < a <1), okno ze skrzydłem rozwieralno - uchylnym lub opcją rozszczelnienia, warunki wentylacji normalne	1,0	1,0
c)	Okna bardzo szczelne (a < 0,3) z nawiewnikami powietrza regulowanymi ręcznie	0,85	1,0
d)	Okna bardzo szczelne (a < 0,3) z nawiewnikami powietrza regulowanymi automatycznie	0,7	1,0
e)	Okna szczelne, obserwowana niewystarczająca wentylacja ^{**)}	0,4-0,7	0,6-0,8
2	Wentylacja mechaniczna wywiewna. Szczelność okien i drzwi, charakterystyka nawiewnika lub obserwowany poziom wentylacji	-	-
a)	Otwory nawiewne bez możliwości regulacji lub okna bardzo nieszczelne (a ≥ 4) oraz otwory nawiewne z możliwością regulacji	1,1-1,3	1,2-1,5
b)	Okna bardzo szczelne (a < 0,3) z nawiewnikami powietrza regulowanymi ręcznie lub automatycznie	1,0	1,0
c)	Współcześnie szczelne okna bez nawiewników powietrza, obserwowana niewystarczająca wentylacja ^{**)}	0,4-0,7	0,6-0,8
3	Stopień wyeksponowania budynku na działanie wiatru	Współczynnik c _w	
a)	Budynek na otwartej przestrzeni lub budynki wysokie	1,2	
b)	Inne budynki	1,0	

^{*)} – współczynniki korekcyjne odnoszą się wyłącznie do budynków, w których sposób doprowadzania powietrza spełnia wymagania przepisów techniczno-budowlanych i Polskich Norm

^{**)} – instalację wentylacji należy podać modernizacji



W tabeli 6 zostały przedstawione wartości współczynników przepływu oraz współczynniki korekcyjne do wyznaczania zapotrzebowania na ciepło do wentylacji, w zależności od rodzaju okien i drzwi stosowanych w budynkach mieszkalnych.

Tabela 6. Wartości współczynników przepływu a_0 i a_1

Rodzaj przegrody		a_0, a_1 [m ³ /(m · h · daPa ^{2/3})]
Okna i drzwi balkonowe stare	Okna i drzwi balkonowe drewniane, bez uszczelek, z luzem wrębowym 5mm	3,0 – 3,4 ^{*)}
	Okna i drzwi balkonowe drewniane, bez uszczelek, z luzem wrębowym 3mm	2,0
	Okna i drzwi balkonowe drewniane, bez uszczelek, z luzem wrębowym 2mm	1,5
	Okna i drzwi balkonowe drewniane, z uszczelkami samoprzylepnymi z miękkiego PCW, z luzem wrębowym do 5mm	2,0
	Okna i drzwi balkonowe drewniane, z uszczelkami z EPDM, z luzem wrębowym do 5mm	1,2
	Okna i drzwi balkonowe drewniane, z uszczelkami z PU, z luzem wrębowym do 5mm	0,8
	Okna i drzwi balkonowe drewniane z uszczelkami silikonowymi	0,5
Okna i drzwi balkonowe aktualnie produkowane	Okna i drzwi balkonowe jednoramowe, drewniane i z PCW, trwale rozszczelnione z mikrouchyleniem	0,5 – 1,0
	Okna i drzwi balkonowe jednoramowe, drewniane i z PCW, nierozszczelnione	< 0,3
*) – Wartość współczynnika a przyjmuje się w zależności od stanu technicznego okna		

3.6. Metoda wyznaczania optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego prowadzącego do zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło na przygotowania ciepłej wody użytkowej

Oszczędność energii można uzyskać także w wyniku optymalizacji instalacji służącej do przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.). Optymalny wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego to wariant, dla którego prosty czas zwrotu nakładów SPBT na poniesionych modernizację instalacji przygotowania c.w.u. przyjmuje wartość minimalną, przy czym porównuje się warianty o tym samym zakresie usprawnień. Optymalny wariant przedsięwzięcia określa zależność:

$$SPBT = \frac{N_{cw}}{\sum_n \Delta O_{rcw}} \quad [\text{lata}] \quad (21)$$



gdzie:

- N_{cw} – planowane koszty robót związanych z modernizacją c.w.u., [zł],
 ΔO_{rcw} – roczna oszczędność kosztów wynikająca z zastosowania wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, przypadająca na każde z n źródeł energii, [zł/rok].

Roczną oszczędność kosztów związanych ze zużyciem energii ΔO_{rcw} n -tego źródła ciepła można określić na podstawie zależności wyrażonej w [zł/rok]:

$$\Delta O_{rcw} = (x_0 \cdot Q_{0cw} \cdot \frac{O_{oz}}{\eta_{ow}} - x_1 \cdot Q_{1cw} \cdot \frac{O_{1z}}{\eta_{1w}}) + 12 \cdot (y_0 \cdot q_{0cw} \cdot O_{om} - y_1 \cdot q_{1cw} \cdot O_{1m}) + 12 \cdot (Ab_0 - Ab_1) \quad (22)$$

gdzie:

- x_0, x_1 – udział n -tego źródła w zapotrzebowaniu na ciepło przed i po wykonaniu wariantu planowanego przedsięwzięcia modernizacyjnego,
 Q_{0cw}, Q_{1cw} – zapotrzebowanie na energię użytkową przed i po wykonaniu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, określone na podstawie rozporządzenia w sprawie metodologii wykonywania świadectw charakterystyki energetycznej budynków $Q_{w,nd}$ [GJ/rok lub kWh/rok],
 y_0, y_1 – udział n -tego źródła w zapotrzebowaniu na moc cieplną przed i po wykonaniu wariantu termomodernizacyjnego,
 q_{0w}, q_{1w} – zapotrzebowanie na moc cieplną na przygotowanie c.w.u. przed i po wykonaniu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego określone przez audytora na podstawie analizy i prognozy zużycia lub obliczone dla zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową,
 η_0 – całkowita sprawność systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej przed modernizacją wyznaczona na podstawie zależności (23),
 η_1 – całkowita sprawność systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej po modernizacją wyznaczona na podstawie zależności (23).

Całkowitą sprawność systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej przed i po modernizacji oblicza się ze wzoru:

$$\eta_{ow}, \eta_{1w} = \eta_{gw} \cdot \eta_{dw} \cdot \eta_{ew} \cdot \eta_{sw} \quad (23)$$

gdzie:

- η_{gw} – sprawność wytwarzania ciepła, przyjmowana zgodnie z przepisami rozporządzenia dotyczącego sporządzania świadectw lub z dokumentacji technicznej,



- η_{dw} – sprawność przesyłu ciepła w instalacji ciepłej wody, przyjmowana zgodnie z przepisami rozporządzenia dotyczącego sporządzania świadectw,
- η_{sw} – sprawność akumulacji ciepła w systemie przygotowania ciepłej wody, przyjmowana zgodnie z przepisami rozporządzenia dotyczącego sporządzania świadectw,
- η_{ew} – sprawność wykorzystania ciepła w systemie przygotowania ciepłej wody, przyjmowana zgodnie z przepisami rozporządzenia dotyczącego sporządzania świadectw.

Wartości sprawności cząstkowych do obliczenia sprawności całkowitej należy przyjmować (obliczać) na podstawie aktualnego rozporządzenia w sprawie obliczania charakterystyki energetycznej budynku. W przypadku przygotowywania CWU z tego samego źródła ciepła jak do ogrzewania budynku, sprawność wytwarzania należy przyjmować równą sprawności wytwarzania źródła ciepła dla systemu grzewczego.

3.7. Zapotrzebowanie na energię użytkową do przygotowania ciepłej wody użytkowej

Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do przygotowania ciepłej wody użytkowej $Q_{W,nd}$ wyznacza się według wzoru [5]:

$$Q_{W,nd} = \frac{V_{Wi} \cdot A_f \cdot c_w \cdot \rho_w \cdot (\theta_w - \theta_o) \cdot k_R \cdot t_R}{3600} \quad kWh/rok \quad (24)$$

gdzie:

V_{Wi}	-	Jednostkowe dobowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową (tabela 7)	$dm^3/(m^2 \cdot doba)$
A_f	-	Powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza (powierzchnia ogrzewana)	m^2
c_w	-	Ciepło właściwe wody (4,19)	$kJ/(kg \cdot K)$
ρ_w	-	Gęstość wody (1,0)	kg/dm^3
θ_w	-	Obliczeniowa temperatura ciepłej wody użytkowej w zaworze czerpalnym (55 °C)	°C
θ_o	-	Obliczeniowa temperatura wody użytkowej przed podgrzaniem (10 °C)	°C
k_R	-	Współczynnik korekcyjny ze względu na przerwy w użytkowaniu ciepłej wody (tabela 7) - a w przypadku	-



braku takich danych – k_R wyznacza się jako stosunek
liczby dni użytkowania ciepłej wody użytkowej do
liczby dni w roku t_R

t_R - Liczba dni w roku (przyjmuje się 365)

dość

Tabela 7. Wartości współczynnika korekcyjnego ze względu na przerwy w użytkowaniu ciepłej wody użytkowej k_R oraz wartości jednostkowego dobowego zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową V_i

Lp.	Rodzaj budynku		k_R	V_{Wi} dm ³ /(m ² ·dość)
1	Mieszkalny	Wielorodzinny (rodzaj rozliczania za ciepłą wodę: *ryczałtowe, **indywidualne)	0,9	2,00* 1,60**
2		Jednorodzinny	0,9	1,4
3	Użyteczności publicznej	Biuroowy	0,7	0,35
4		Przeznaczony na potrzeby: oświaty, szkolnictwa wyższego, nauki	0,55	0,80
5		Przeznaczony na potrzeby: opieki zdrowotnej	1,00	6,50
6		Przeznaczony na potrzeby: gastronomii	0,80	2,50
7		Przeznaczony na potrzeby: sportu	0,33-0,50	0,25
8		Przeznaczony na potrzeby: handlu i usług	0,78	0,60
9	Zamieszkania zbiorowego		0,60	3,75
10	Magazynowy		0,70	0,10
11	Produkcyjny		Indywidualnie w zależności od rodzaju produkcji i sposobu użytkowania	



3.8. Metoda wyznaczania optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego poprawiającego sprawność cieplną systemu grzewczego

W celu poprawy sprawności cieplnej systemu grzewczego wyznacza się optymalny wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, dla którego prosty czas zwrotu nakładów poniesionych na inwestycję przyjmuje wartość minimalną. Należy pamiętać o tym, że porównuje się warianty o tym samym zakresie usprawnień. Optymalny wariant przedsięwzięcia modernizacyjnego systemu grzewczego określa się korzystając z zależności [7]:

$$SPBT = \frac{N_{co}}{\sum_n \Delta O_{rco}}, \quad [lata] \quad (25)$$

gdzie:

- N_{co} – planowane koszty robót związanych z modernizacją systemu ogrzewania, [zł],
- ΔO_{rco} – roczna oszczędność kosztów wynikająca z zastosowania wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, przypadająca na każde z n źródeł energii, [zł/rok].

Roczną oszczędność kosztów wynikającą z poprawy sprawności systemu grzewczego ΔO_{rco} , wyrażoną w [zł/rok] określa się ze wzoru:

$$\Delta O_{rco} = (x_0 \cdot w_{t0} \cdot w_{d0} \cdot Q_{0co} \cdot \frac{O_{oz}}{\eta_o} - x_1 \cdot w_{t1} \cdot w_{d1} \cdot Q_{1co} \cdot \frac{O_{1z}}{\eta_1}) + \\ + 12 \cdot (y_0 \cdot q_{0m} \cdot O_{0m} - y_1 \cdot q_{1m} \cdot O_{1m}) + 12 \cdot (Ab_0 - Ab_1) \quad (26)$$

gdzie:

- x_0, x_1 – udział n -tego źródła w zapotrzebowaniu na ciepło przed i po wykonania wariantu planowanego przedsięwzięcia modernizacyjnego,
- Q_{0co} – sezonowe zapotrzebowanie budynku na ciepło przed modernizacją, określone zgodnie z Polską Normą dotyczącą obliczania sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych, [GJ/rok],
- η_0 – całkowita sprawność systemu grzewczego przed modernizacją wyznaczona na podstawie zależności (27),
- η_1 – całkowita sprawność systemu po modernizacji wyznaczona na podstawie zależności (27),



- W_{d0}, W_{d1} – współczynniki uwzględniające przerwy w ogrzewaniu w okresie doby przyjmuje się z tabeli 9,
- W_{t0}, W_{t1} – współczynniki uwzględniające przerwy w ogrzewaniu w okresie tygodnia, wartości przyjmuje się z tabeli 8,
- y_0, y_1 – udział n-tego źródła w zapotrzebowaniu na moc cieplną przed i po wykonaniu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego,
- q_{0m}, q_{1m} – zapotrzebowanie na moc cieplną przed i po modernizacji, poprawiającą sprawność całkowitą systemu grzewczego, określone według Polskiej Normy dotyczącej obliczania zapotrzebowania na ciepło lub projektu instalacji centralnego ogrzewania.

Tabela 8. Współczynniki uwzględniające przerwy w ogrzewaniu w okresie tygodnia W_t

Czas ogrzewania	Typ budynku	
	lekki ^{*)}	ciężki
7 dni	1,00	1,00
5 dni	0,75	0,85
*) – Budynek lekki, którego masa części ogrzewanej odniesiona do kubatury ogrzewanej nie przekracza 150 kg/m ³ .		

Tabela 9. Współczynniki uwzględniające przerwy w ogrzewaniu w okresie doby W_d

Czas przerwy w ogrzewaniu W_d	Typ budynku	
	lekki ^{*)}	ciężki
Bez przerw	1,00	1,00
4 godziny	0,96	0,98
8 godziny	0,93	0,95
12 godzin	0,85	0,91
24 godziny	0,79	0,88
*) - Budynek lekki, którego masa części ogrzewanej odniesiona do kubatury ogrzewanej nie przekracza 150 kg/m ³ .		
Dla budynków mieszkalnych wielorodzinnych typu lekkiego i ciężkiego, w których nie stosuje się przerw w ogrzewaniu w okresie doby, a zainstalowane termostatyczne zawory grzejnikowe i podzielniki kosztów lub mieszkaniowe liczniki ciepła oraz wprowadzono rozliczenie kosztów ogrzewania indywidualnie dla poszczególnych odbiorców, przyjmuje się wartość współczynnika $W_d = 0,95$ jako uwzględnienie stosowanych indywidualnie przerw w ogrzewaniu		

Całkowitą sprawność systemu grzewczego przed modernizacją η_0 i po modernizacji η_1 określa się na podstawie zależności:

$$\eta_0, \eta_1 = \eta_g \cdot \eta_d \cdot \eta_e \cdot \eta_s \quad (27)$$

gdzie:



- η_g – sprawność wytwarzania ciepła określana 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 dokumentacji technicznej,
- η_d – sprawność przesyłania ciepła określona zgodnie z Polską Normą dotyczącą izolacji cieplnej rurociągów, armatury i urządzeń lub przyjmowana zgodnie z przepisami rozporządzenia dotyczącego sporządzania świadectw lub dokumentacji technicznej,
- η_e – sprawność regulacji i wykorzystania ciepła przyjmowana zgodnie z przepisami rozporządzenia dotyczącego sporządzania świadectw lub z dokumentacji technicznej,
- η_s – sprawność akumulacji ciepła przyjmowana zgodnie z przepisami rozporządzenia dotyczącego sporządzania świadectw lub z dokumentacji technicznej.

3.9. Metoda wyboru optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego

W celu wyznaczenia optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, który uwzględnia wszystkie usprawnienia dotyczące zmniejszenia strat ciepła przez przegrody budowlane, modernizację systemu wentylacji, instalacji ciepłej wody użytkowej, a także uzupełniony o optymalny wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego poprawiającego sprawność całkowitą systemu grzewczego, określa się kolejno:

- a) planowane koszty całkowite N, w tym koszty wykonania audytu energetycznego oraz dokumentacji technicznej, a także koszty związane ze spełnieniem obowiązujących przepisów techniczno-budowlanych, również w przypadku gdy działanie to nie przynosi oszczędności energii,
- b) kwotę rocznych oszczędności ΔO_r przewidzianą do uzyskania w wyniku realizacji przedsięwzięcia obliczoną zgodnie z zależnością:

$$\Delta O_r = (w_{t0} \cdot w_{d0} \cdot \frac{Q_{0co}}{\eta_0} \cdot O_{0co} + \frac{Q_{0cw}}{\eta_{0w}} \cdot O_{0zw}) - (w_{t1} \cdot w_{d1} \cdot \frac{Q_{1co}}{\eta_{01}} \cdot O_{1co} + \frac{Q_{1cw}}{\eta_{1w}} \cdot O_{1zw}) + 12 \cdot [(q_{0m} + q_{0cw}) \cdot O_{0m} - (q_{1m} + q_{1cw}) \cdot O_{1m}] + 12 \cdot (Ab_0 - Ab_1) \quad (28)$$



gdzie:

- Q_{0co}, Q_{1co} – sezonowe zapotrzebowanie budynku na energię użytkową przed i po modernizacji, określone zgodnie z Polską Normą dotyczącą obliczania sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych lub zgodnie z rozporządzeniem dotyczącym sporządzania charakterystyki energetycznej lub indywidualnie na podstawie dokumentacji technicznej lub pomiarów, [GJ/rok],
 - η_0, η_1 – jak we wzorach wcześniejszych,
 - η_{0w}, η_{1w} – jak we wzorach wcześniejszych,
 - Q_{0cw}, Q_{1cw} – sezonowe zapotrzebowanie na energię użytkową na ciepłą wodę obliczone zgodnie z metodologią wykonywania świadectw charakterystyki energetycznej budynku (punkt 3.7), [GJ/rok],
 - W_{t0}, W_{t1} – jak we wzorach wcześniejszych,
 - W_{d0}, W_{d1} – jak we wzorach wcześniejszych,
 - O_{0z}, O_{1z} – jak we wzorach wcześniejszych,
 - O_{0m}, O_{1m} – jak we wzorach wcześniejszych,
 - y_0, y_1 – udział n-tego źródła w zapotrzebowaniu na moc cieplną przed i po wykonaniu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego,
 - q_{0m}, q_{1m} – jak we wzorach wcześniejszych,
 - q_{0cw}, q_{1cw} – jak we wzorach wcześniejszych,
 - Ab_0, Ab_1 – jak we wzorach wcześniejszych.
- c) zmniejszenie (w %) zapotrzebowania na ciepło w stosunku do stanu wyjściowego przed termomodernizacją, z uwzględnieniem sprawności całkowitej,
- d) kwotę środków własnych i kwotę kredytu,
- e) obliczenie wysokości premii termomodernizacyjnej.

Wybrane i zoptymalizowane usprawnienia termomodernizacyjne, które zmierzają do zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło w wyniku zmniejszenia strat przenikania ciepła przez przegrody budowlane oraz warianty przedsięwzięć termomodernizacyjnych dotyczących modernizacji systemu wentylacji i systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej, uszeregowane według rosnącej wartości SPBT można przedstawić wg wzoru zamieszczonego w tablicy 10. Wartości sprawności, które wpływają na poprawę ogólnej sprawności systemu grzewczego w budynku, w wyniku zastosowania ulepszeń termomodernizacyjnych można przedstawić według wzoru przedstawionego w tablicy 11.



Tabela 10. Rodzaje usprawnień termomodernizacyjnych

Lp.	Rodzaj i zakres usprawnienia termomodernizacyjnego lub wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego	Planowane koszty robót [zł]	SPBT [lata]
1			
2			
3			
...			
n-1			
n			

Tabela 11. Rodzaje ulepszeń termomodernizacyjnych składające się na optymalny wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego

Rodzaje ulepszeń termomodernizacyjnych	Wartości sprawności składowych η oraz współczynników $w^{*})$
Wytwarzania ciepła, np. wymiana lokalnego wbudowanego źródła ciepła	η_g
Przesyłania ciepła, np. izolacja pionów zasilających	η_d
Regulacji systemu grzewczego, np. wprowadzenie automatyki pogodowej	η_e
Akumulacji ciepła, np. wprowadzenie zasobnika buforowego	η_s
Uwzględnienie wprowadzenia przerw na ogrzewanie w okresie tygodnia	w_t
Uwzględnienie wprowadzenia przerw na ogrzewanie w okresie doby	w_d
Sprawność całkowita systemu grzewczego	$\eta_g \cdot \eta_d \cdot \eta_e \cdot \eta_s =$
*) – przyjmuje się na podstawie tablic 8-9	

Tabela 12. Usprawnienia termomodernizacyjne zestawione wg. kolejności rosnącej współczynnika SPBT wybrane na podstawie optymalizacji (przykład)

Lp.	Rodzaj i zakres usprawnienia termomodernizacyjnego	Planowane koszty robót usprawnienia termomodernizacyjnego	SPBT lata
1	2	3	4
1.	Modernizacja systemu przygotowania c.w.u.	2 500	2,3
2.	Strop pod nieogrzewanym poddaszem	7 931	4,44
3.	Ściana zewnętrzna	15525	22,0
4.	Okna	6 590	22,3
5.	Podłoga na gruncie	4 500	24,0



Tabela 13. Usprawnienia optymalne zestawione w warianty termomodernizacyjne (przykład)

Usprawnienie	Numer wariantu					
	W1	W2	W3	W4	W5	W6
Modernizacja systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej, zł	2500	2500	2500	2500	2500	0
Strop pod nieogrzewanym poddaszem, zł	7931	7931	7931	7931	0	0
Ściana zewnętrzna, zł	15525	15525	15525	0	0	0
Okna, zł	6590	6590	0	0	0	0
Podłoga na gruncie, zł	4500	0	0	0	0	0
Modernizacja instalacji grzewczej, zł	25000	25000	25000	25000	25000	25000
Koszty wariantu, zł	62046	57546	50956	35431	27500	25000

W dalszej kolejności określa się czy pierwszy z kolejnych wariantów, dla którego wyznaczono wartość w kolumnie 5 tabeli 14 spełnia warunki art. 3. pkt.1 ustawy o wspieraniu termomodernizacji i remontów, a wysokość premii jest określona w kolumnach 6, 7 tabeli 14 oraz wartość w kolumnie 3 z tabeli 14 nie przekracza zadeklarowanych przez inwestora środków własnych i kwoty kredytu to wówczas taki wariant zostaje uznany jako optymalny.

W przypadku gdy, żaden z wariantów nie spełnia powyższych wymagań inwestycja nie może być zakwalifikowana do otrzymania premii termomodernizacyjnej.

Tabela 14. Dokumentacja wyboru optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego budynku

Lp.	Wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego	Koszty całkowite [zł]	Roczne oszczędności kosztów energii [zł/rok]	Procentowa oszczędność zapotrzebowania na energię (z uwzględnieniem sprawności całkowitej) [%]	Premia termomodernizacyjna		
					26% kosztów całkowitych (bez instalacji OZE) [zł]	31% kosztów całkowitych (z instalacją OZE) [zł]	Uwagi
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Zestaw wszystkich ulepszeń termomodernizacyjnych						



Lp.	Wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego	Koszty całkowite [zł]	Roczne oszczędności kosztów energii [zł/rok]	Procentowa oszczędność zapotrzebowania na energię (z uwzględnieniem sprawności całkowitej) [%]	Premia termomodernizacyjna		
					26% kosztów całkowitych (bez instalacji OZE) [zł]	31% kosztów całkowitych (z instalacją OZE) [zł]	Uwagi
1	2	3	4	5	6	7	8
2.	Zestaw jak pod lp. 1 bez ulepszenia o najwyższym wskaźniku prostego czasu zwrotu nakładów (SPBT)						
3.	Zestaw jak pod lp. 2 bez ulepszenia o kolejnym najwyższym wskaźniku prostego czasu zwrotu nakładów (SPBT)						
n-1	Przedsięwzięcie o najmniejszej wartości prostego czasu zwrotu nakładów (SPBT) i wybrany wariant optymalny przedsięwzięcia termomodernizacyjnego poprawiający sprawność systemu grzewczego						
n	Optymalny wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego poprawiający sprawność systemu grzewczego						



4. Program ArCADdia-TERMOCAD

Program ArCADia-TERMOCAD, zakupiony w ramach projektu „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki” nr FERS.01.05-IP.08-0234/23, jest kompleksowym narzędziem do obliczeń cieplnych budynku, pozwala na obliczenia między innymi:

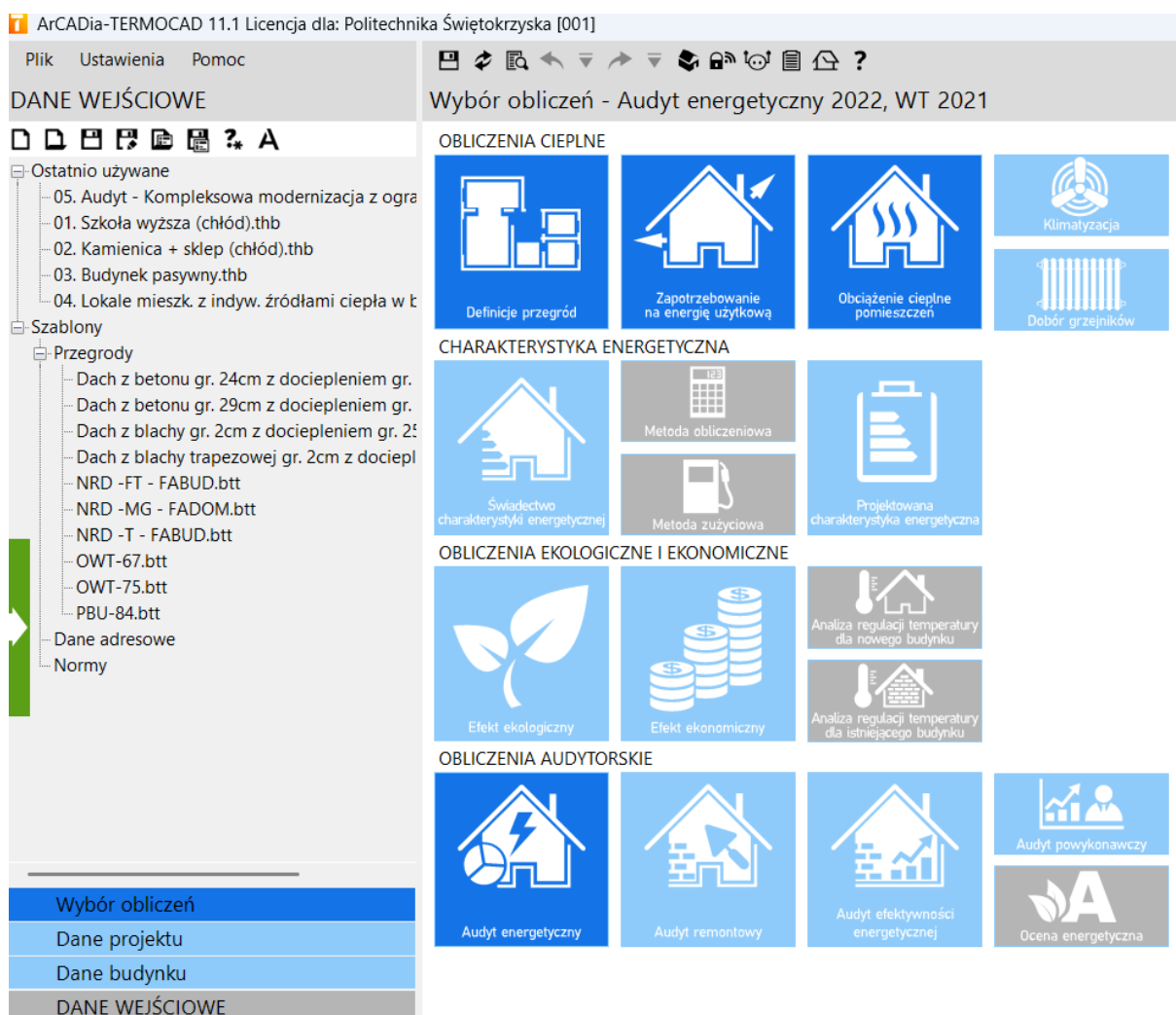
- audytu energetycznego,
- audytu remontowego,
- audytu efektywności energetycznej,
- projektowanej charakterystyki energetycznej,
- efektu ekologicznego (emisji zanieczyszczeń),
- efektu ekonomicznego (analizy kosztów eksploatacyjnych i inwestycyjnych, analizy urządzeń automatycznie regulujących temperaturę),
- zapotrzebowania na ciepło pomieszczeń,
- sezonowego zapotrzebowania na ciepło budynku,
- sezonowego zapotrzebowania na chłód budynku.

Program w wersji ArCADia-TERMOCAD Audyt służy do komputerowego wspomaganie wykonywania audytów energetycznych i remontowych zgodnie z Rozporządzeniem 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, z późn. zm. (Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 29 kwietnia 2020 r. oraz Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 15.12.2022 r.) oraz audytów efektywności energetycznej, o których traktuje Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 5 października 2017 r.

Wydruk raportu obliczeń dokonanych na podstawie ArCADia-TERMOCAD Audyt pozwala na wykorzystanie audytu do realizacji inwestycji finansowanej w trybie Ustawy z dnia 21 listopada 2008 r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów z późn. zm. oraz dla inwestycji termomodernizacyjnych finansowanych z innych źródeł, dla których wymagane jest przygotowanie dokumentacji audytorskiej, wykonanej zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury dotyczącym szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego.

[Tekst alternatywny. Zrzut ekranu przedstawia główne okno programu ArCADia-TERMOCad. Po lewej stronie widoczny jest panel "DANE WEJŚCIOWE" z sekcją ostatnio używanych oraz dostępnych szablonów przegród budowlanych (np. dachy z różnymi rodzajami izolacji). Po prawej stronie ekranu umieszczono kolorowe kafelki z

ikonami, umożliwiające wybór rodzaju obliczeń. Kafle podzielone są na sekcje: obliczenia cieplne (np. definicje przegród, zapotrzebowanie na energię użytkową, obciążenie cieplne pomieszczeń, klimatyzacja, dobór grzejników), charakterystyka energetyczna (np. świadectwo charakterystyki energetycznej, projektowana charakterystyka, metody obliczeniowe i zużyciowe), obliczenia ekologiczne i ekonomiczne (efekt ekologiczny, efekt ekonomiczny, analiza regulacji temperatury) oraz obliczenia audytorskie (audyt energetyczny, remontowy, efektywności energetycznej, powykonawczy, ocena energetyczna).]



Rys. 4. Menu programu ArCADia-TERMOCAD



5. Literatura

1. Maludziński B. (2013). *Audyt remontowy i budowlany z przykładami*. Kraków: Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki.
2. Robakiewicz M. (2022). *Audyty energetyczne. Zastosowanie – Wymagania – Metody wykonania*. Wydawnictwo Polcen. Warszawa.
3. Robakiewicz M. (2022). *Ocena cech energetycznych budynków. Wymagania – Dane - Obliczenia*. Warszawa.
4. Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 5 października 2017r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii. Dz.U. z 2023r. poz. 1220.
5. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. z 2015 r. poz. 476), ze zmianami.
6. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 75, poz. 690, z późn. zm.).
7. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, ze zmianami.
8. Ustawa z dnia 20 maja 2016r. o efektywności energetycznej. Dz.U. z 2024r., poz. 1047.
9. Ustawa z dnia 21 listopada 2008r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów oraz o centralnej ewidencji emisyjności budynków. Dz.U. z 2024r., poz. 1446.