

Mariusz Ćwięczek*

**AUDYT ENERGETYCZNY WYBRANEGO OBSZARU MIASTA
– PREZENTACJA PROGRAMU KOMPUTEROWEGO
„AUDYT_MIASTA_V. 1.0”**

Streszczenie

Do tej pory nie opracowano komputerowych programów do sporządzania projektów termomodernizacyjnych określonych obszarów miast, na przykład: śródmieścia miasta, osiedli mieszkaniowych, zespołów budynków użyteczności publicznej. Podstawę działań termomodernizacyjnych dla grup budynków stanowią metody wskaźnikowe zarówno bilansowania potrzeb cieplnych, szacowania nakładów inwestycyjnych, jak i wyznaczania efektów ekonomicznych i ekologicznych.

W artykule przedstawiono opis działania aplikacji „Audyt_miasta_v. 1.0” opracowanej na bazie algorytmu, będącego wynikiem realizacji pracy pt. „Opracowanie algorytmu wykonywania audytu energetycznego wybranego obszaru miast/gmin” (Ćwięczek 2005).

W omówionej wersji programu komputerowego do wykonywania audytu wybranego obszaru miasta, tj. grupy budynków stanowiących osiedle mieszkaniowe lub wybrany sektor miasta, uwzględniono:

- bilans sezonowego zapotrzebowania na ciepło i moc cieplną budynków na analizowanym obszarze,
- wyznaczenie parametrów energetycznych systemów grzewczych,
- wybór optymalnych, ekonomicznie uzasadnionych usprawnień termomodernizacyjnych,
- wyznaczenie efektów energetycznych, ekonomicznych oraz parametrów ekonomicznych procesu termomodernizacji analizowanego obszaru miasta lub grupy budynków dla dwóch opcji obliczeniowych:
 - dotyczącej pełnego zakresu termomodernizacji – logarytm uwzględnia wszystkie wskazane, zoptymalizowane usprawnienia dla wszystkich budynków,
 - dotyczącej zakresu termomodernizacji do wysokości zadeklarowanego kapitału inwestora – obliczenia polegają na konfiguracji usprawnień termomodernizacyjnych, których łączny koszt nie przekracza wartości zarezerwowanych przez inwestora środków finansowych, dla całego obszaru lub dla pojedynczego budynku.

Konstrukcja programu umożliwia wykonanie audytu energetycznego zarówno grupy budynków, jak i pojedynczego budynku, co pozwala na bardzo szerokie jego wykorzystanie. Wyniki obliczeń mogą być podawane dla pojedynczego budynku lub zbiorczo dla całego analizowanego obszaru.

Program został napisany jako aplikacja arkusza kalkulacyjnego MS Excel z wykorzystaniem języka programowania MS Visual Basic. Wszystkie parametry i dane wejściowe są wprowadzane do aplikacji przez układ okien dialogowych, typowych dla systemu MS Windows, natomiast wyniki obliczeń są przedstawione w formie tabel arkusza oraz wykresów.

Minimalne wymagania do uruchomienia aplikacji to komputer biurowy klasy Pentium z systemem operacyjnym MS Windows oraz arkusz kalkulacyjny MS Excel 97 lub nowszy.

* Główny Instytut Górnictwa.

Energetic audit of town chosen area – presentation of computer program "Audyt_miasta_v. 1.0"

Abstract

Up to now, there were not developed computer programs for preparing thermomodernisation projects of defined areas of towns, e.g.: the city of town, housing estates, sets of buildings of public utilities. Basis of thermomodernisation activities for groups of buildings forms indicatory methods for balancing thermal needs, estimating investments' expenditures, as well as for determining economic and ecological effects.

In the paper, description of "Audyt_miasta_v.1.0" framework was presented, developed on the basis of algorithm being result of realisation of the work "Algorithm development of energetic audit executing for chosen areas of towns/municipalities" (Ćwięczek 2005).

In the discussed version of computer program for executing audit of town chosen area, i.e. of buildings' group forming housing estate or chosen sector of town, it was considered:

- balance of seasonal demand for heat and thermal power for buildings on the analysed area,
- determining parameters of energetic heating systems,
- choice of optimal, economically well-founded thermomodernisation improvements,
- determination of energetic and economic effects, as well as economic parameters of thermomodernisation process for the analysed area of town or group of buildings for two computational options:
 - related to full range of thermomodernisation – program contains all indicated, optimised improvements for all buildings,
 - related to the range of thermomodernisation restricted to the height of capital declared by investor – calculations depend on configuration of thermomodernisation improvements, which total cost does not exceeds values of financial resources reserved by Investor for the whole area or for a single building.

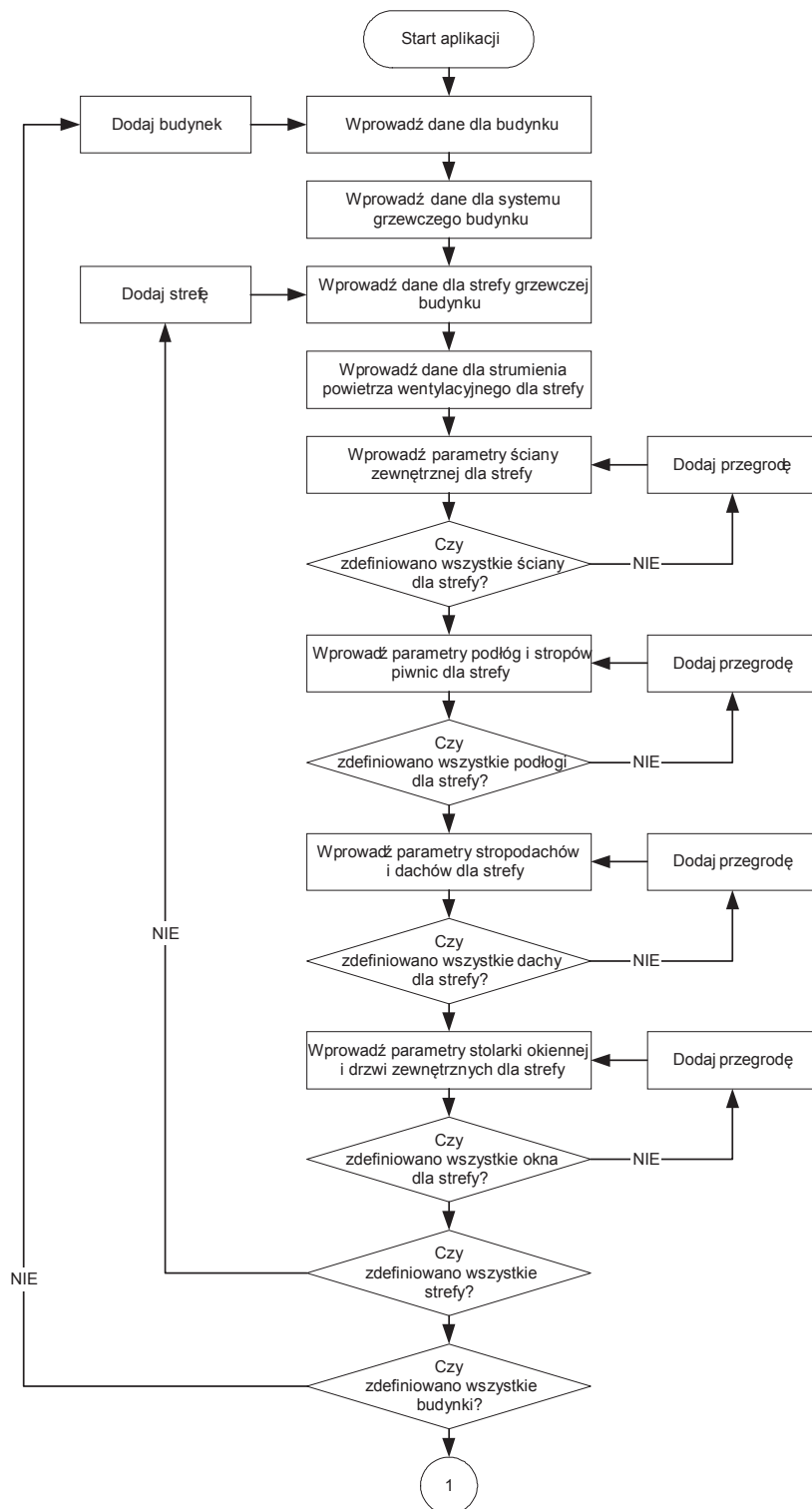
A construction of program makes possible realization of energetic audit both for a group of buildings, as well as for a single building, and this enables its application for very wide area. The results of calculations can be presented for any single building or together for whole the analysed area.

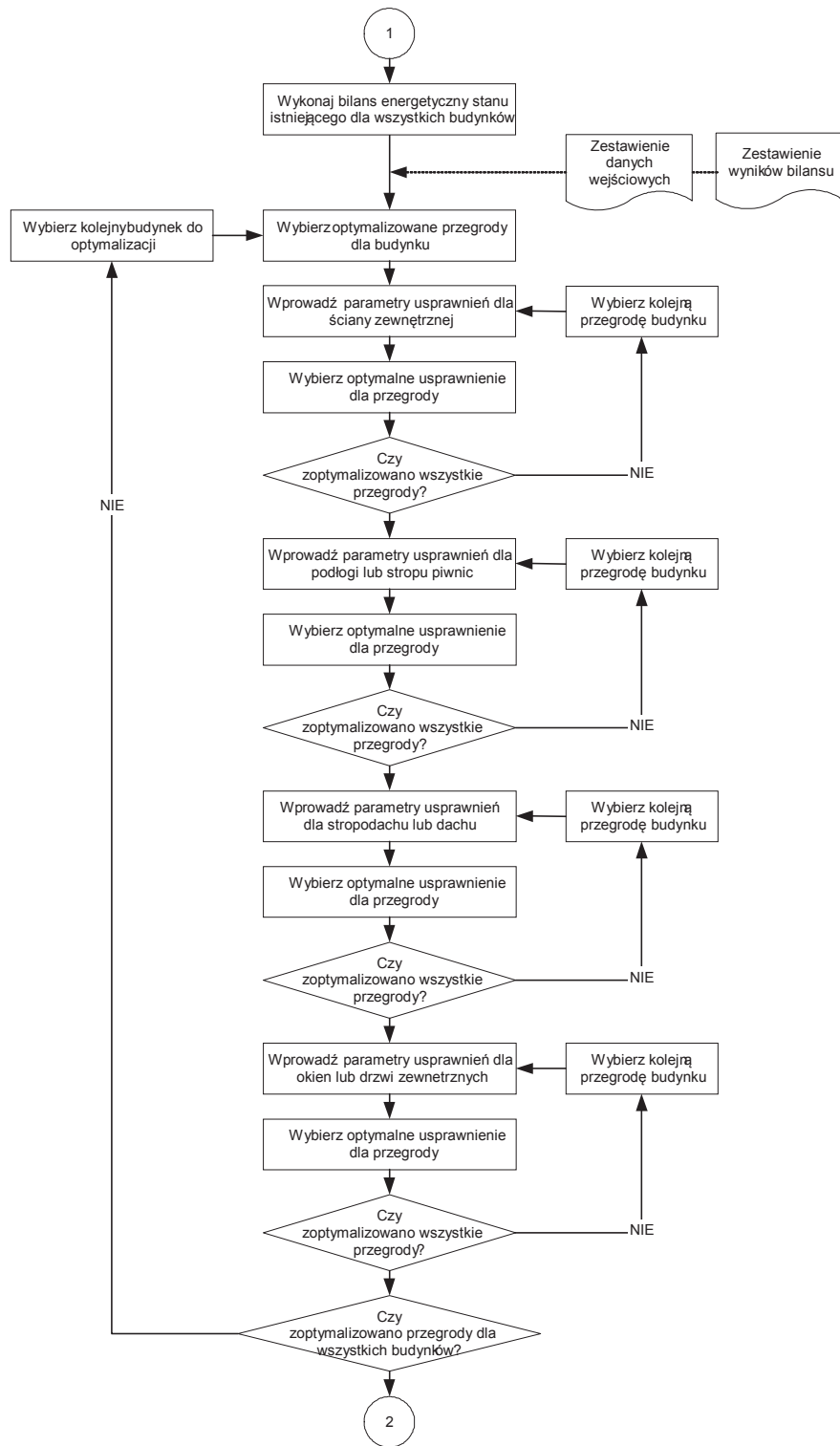
Program was written in MS Excel spreadsheet with the use of MS Visual Basic programming language. All the parameters and input data are loaded to the application through suitably arranged dialog boxes, typical for MS Windows operating system, however results of calculations are presented in the form of spreadsheet tables and graphs.

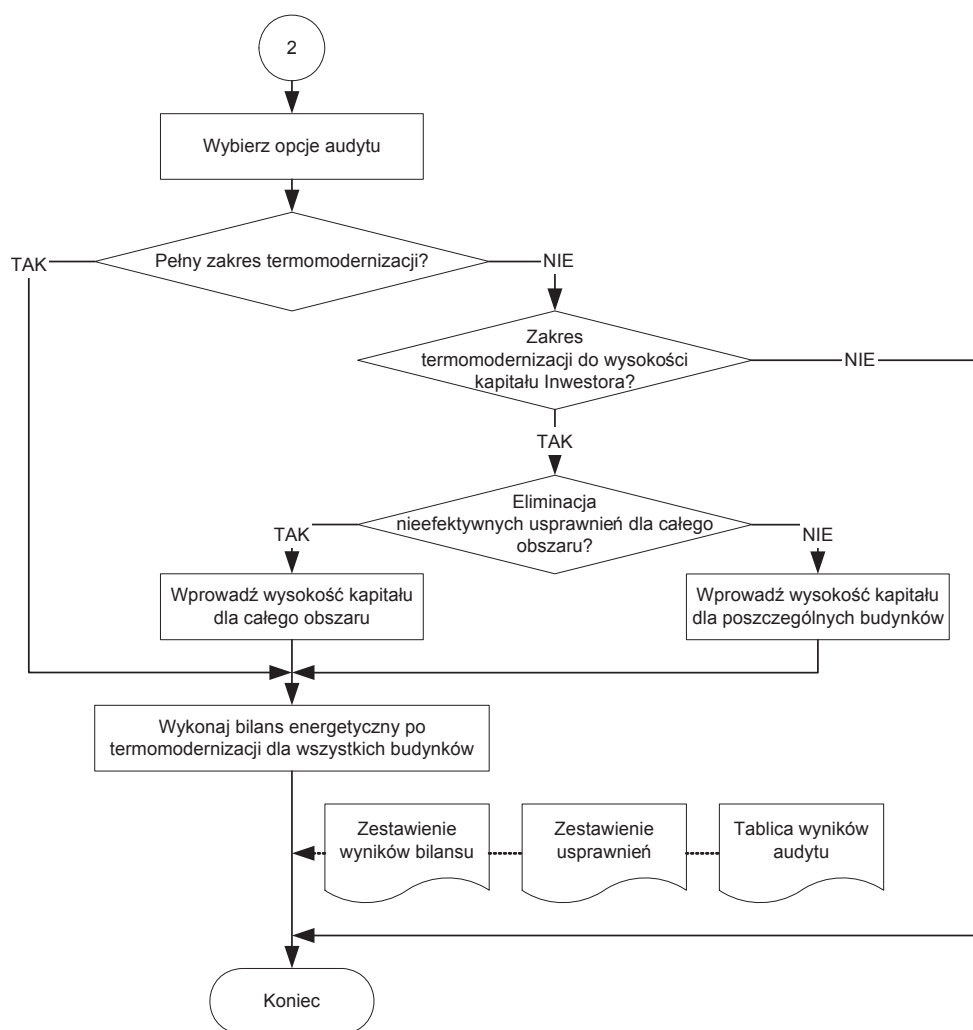
Minimal requirements for running the application is an office computer of Pentium class with the operating system MS Windows as well as MS Excel 97 spreadsheet or any newer one.

1. ALGORYTM APLIKACJI

Dużą zaletą algorytmu aplikacji jest jego konstrukcja równoległa, co znaczy, że istnieje możliwość swobodnego dodawania lub usuwania budynków z obszaru będącego przedmiotem audytu energetycznego. Schemat blokowy programu przedstawiono na rysunku 1.







Rys. 1. Schemat blokowy programu aplikacji

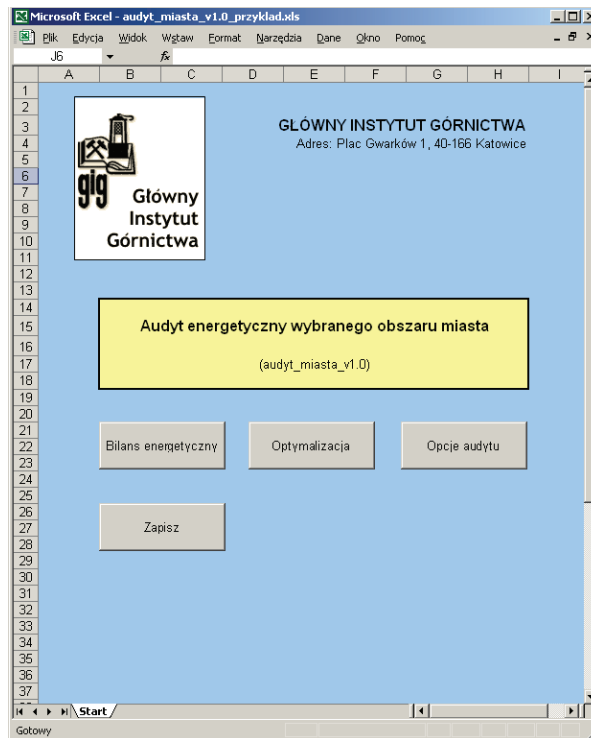
Fig. 1. Block diagram of application program

2. OPIS DZIAŁANIA PROGRAMU

Po uruchomieniu aplikacji **Audyt_miasta_v1.xls**, pojawia się ekran informacyjny arkusza wraz z przyciskami wyboru opcji programu (fot. 1). W pierwszej fazie działania programu mogą być dostępne tylko dwa przyciski:

1. Bilans energetyczny.
2. Zapisz.

Przycisk **Zapisz** umożliwia zapisanie na dysku komputera kopii aplikacji **Audyt_miasta_v1.xls** wraz z wprowadzonymi danymi i wynikami obliczeń. Na dysku zapisu można dokonać w dowolnym momencie realizacji aplikacji i z dowolnie wybraną przez operatora nazwą (różną od **Audyt_miasta_v1.xls**).



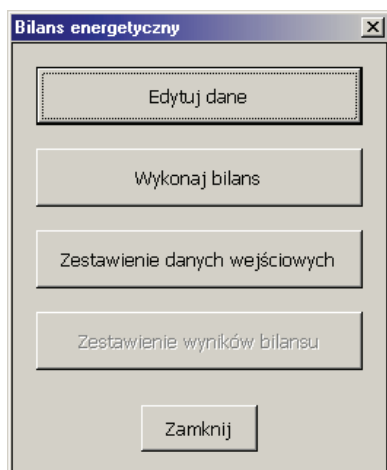
Fot. 1. Ekran informacyjny z przyciskami wyboru opcji programu

Phot. 1. Informative screen with buttons for selection options of program

2.1. Obliczenia bilansu energetycznego

Przycisk **Bilans energetyczny** powoduje ukazanie się okna dialogowego (fot. 2), które umożliwia wybranie kolejnych opcji programu:

1. **Edytuj dane** – umożliwia wprowadzanie nowych danych wejściowych audytu oraz edycję danych wprowadzonych wcześniej (fot. 3).
2. **Wykonaj bilans** – dokonuje obliczeń bilansu energetycznego dla budynków i przegród zdefiniowanych w aplikacji.
3. **Zestawienie danych wejściowych** – daje możliwość przeglądu wprowadzonych przez operatora danych wejściowych dla poszczególnych budynków i ich oddzielnych stref ogrzewania (fot. 4).
4. **Zestawienie wyników bilansu** – daje możliwość przeglądu bilansu energetycznego budynków dla stanu istniejącego (przed termomodernizacją). Możliwe jest przeglądanie wyników dla poszczególnych budynków lub zbiorczo dla całego obszaru (fot. 5).



Fot. 2. Opcja obliczeniowa – bilans energetyczny
Phot. 2. Computational option – energetic balance

Każde wprowadzenie nowych danych do aplikacji lub edycja danych wprowadzonych wcześniej, wymaga przeliczenia bilansu energetycznego dla budynków, które jest realizowane po wybraniu przycisku **Wykonaj bilans**.

Budynek	
Budynek nr:	1
Gmina:	Katowice
Miejscowość:	Katowice
Ulica:	Raławicka
Nr domu:	12
Il. lokatorów:	60
Ilość lokali:	24
cw:	1
Temp. te:	-20
System grzewczy:	
Stacja meteo:	Katowice
Stacja aktynometr:	Chorzów

Strefa ogrzewana	
Strefa nr:	1
Kubatura:	2255
Powierzchnia użyt.:	321
Temp. ti:	20
Liczba stopniodni:	3797,8

Fot. 3. Edycja danych budynków
Phot. 3. Editing of buildings data

Dane wejściowe budynków										
Dane wejściowe budynków										
Nr 1 Strefa 1 <- Powrót										
Adres budynku		Gmina Katowice		Miejscowość Katowice		Ulica Ractawicka		Nr domu 12		
Ilość lokali		24		Powierzchnia użytkowa [m ²]		321		cw		1
Ilość mieszkańców		60		Kubatura [m ³]		2255		t _e [°C]		-20
								t _i [°C]		20
PRZEGRODY ZEWNĘTRZNE										
Ściany zewnętrzne (SZ)										
Symbol ściany	Orientacja względem stron świata	Współczynnik przenikania ciepła U [W/(m ² *K)]	Powierzchnia przegrody [m ²]							
			z oknami i drzwiami	bez okien i drzwi						
SZ1	NW	1,435	294,4	215,1						
SZ1	NE	1,435	120,6	99,6						
SZ1	SW	1,435	120,6	95,8						
Podłoga na gruncie (PG), podłoga piwnic (PP) lub strop piwnicy (SP)										
Symbol przegrody	Orientacja względem stron świata	Współczynnik przenikania ciepła U [W/(m ² *K)]	Powierzchnia przegrody [m ²]							
SP1		1,437	263,7							
Stropodachy (STD) i dachy (D)										
Symbol przegrody	Orientacja względem stron świata	Współczynnik przenikania ciepła U [W/(m ² *K)]	Powierzchnia przegrody [m ²]							
S1		0,996	263,7							
Stołarka okienna (OK) i drzwi zewnętrzne (DZ)										
Symbol przegr.	Symbol ściany	Orient.	S [kWh/m ²]	U	A [m ²]	TR	cr	cm	a	
OK1	SZ1	NW	160	2,6	25,6	0,7	1,2	1,3	4,5	
OK1	SZ1	SW	310	2,6	20,5	0,7	1,2	1,3	4,5	

Fot. 4. Zestawienie danych wejściowych dla budynków i ich stref ogrzewania

Phot. 4. Compilation of input data for buildings and their heating zones

Bilans energetyczny budynków					
<input checked="" type="checkbox"/> wszystkie budynki					
Stan istniejący					
Adres budynku:					
	gmina	miescowosc	ulica	nr	
Dane ogólne budynku					
Liczba mieszkań w budynku	60				
Liczba mieszkańców w budynku	126				
Powierzchnia użytkowa	2141,0				m ²
Kubatura	7163,5				m ³
Obliczeniowy strumień powietrza wentylacyjnego, Ψ	7770,0				m ³ /h
Składniki strat energii cieplnej budynku					
Straty ciepła przez ściany zewnętrzne	754,9				GJ/rok
	209696,4				kWh/rok
Straty ciepła przez podłogi na gruncie, podłogi lub stropy piwnic	323,2				GJ/rok
	89786,1				kWh/rok
Straty ciepła przez dachy i stropodachy	272,6				GJ/rok
	75713,1				kWh/rok
Straty ciepła przez przenikanie przez okna	455,7				GJ/rok
	126570,0				kWh/rok
Zapotrzebowanie ciepła na podgrzanie powietrza wentylacyjnego	907,6				GJ/rok
	252085,4				kWh/rok
Składniki strat mocy cieplnej budynku					
Straty ciepła przez ściany zewnętrzne	0,0930				MW
Straty ciepła przez podłogi na gruncie, podłogi lub stropy piwnic	0,0169				MW

Fot. 5. Wyniki bilansu energetycznego budynków

Phot. 5. Results of energetic balance for buildings

2.2. Edycja danych wejściowych

Wprowadzenie nowych danych wejściowych lub edycja danych już wcześniej wprowadzonych jest możliwe po wybraniu przycisku **Bilans energetyczny**, a następnie **Edytuj dane** (fot. 3). W oknie dialogowym użytkownika **Edycja danych budynków** są dostępne następujące pola danych i przyciski wyboru:

- 1) przyciski dodania nowego lub usunięcia budynku z analizowanego obszaru,
- 2) informacje o lokalizacji budynku oraz jego podstawowych parametrach eksploatacyjnych,
- 3) lista stacji meteorologicznych i aktynometrycznych,

- 4) zestawienie stref ogrzewania przypisanych do danego budynku,
- 5) przyciski dodania lub usunięcia stref ogrzewania budynków,
- 6) przycisk **System grzewczy**, umożliwiający wprowadzenie parametrów systemu grzewczego dla budynku (fot. 6),

System grzewczy budynku

Składowe sprawności systemu grzewczego

Sprawność wytwarzania:	η_w	1	?
Sprawność przesyłania:	η_p	0,9	?
Sprawność wykorzystania:	η_e	0,95	?
Współczynnik regulacji:	η_{co}	0,8	?

Współczynniki eksploatacyjne

Oslabienie tygodniowe:	wt	1	?
Oslabienie dobowe:	wd	1	?

Zamknij

Fot. 6. Okno dialogowe – system grzewczy budynku
Phot. 6. Dialog box – heating system of building

- 7) przycisk **str. powietrza went.**, umożliwiający wyznaczenie strumienia powietrza wentylacyjnego dla poszczególnych stref grzewczych (fot. 7); kolumna określająca wartości normowe może być edytowana i zmieniana,

Strumień powietrza wentylacyjnego

Rodzaje i liczba pomieszczeń w budynku

	norma	ilość
Kuchnie z oknem zewn., gaz, węgiel:	70	24
Kuchnie z oknem zewn., elektr., 3 os./mieszk.:	30	24
Kuchnie z oknem zewn., elektr., >3 os./mieszk.:	50	0
Kuchnie bez okna zewn., elektr.:	50	0
Kuchnie bez okna zewn., gaz:	70	0
Łazienka z ustępem lub bez:	50	0
Oddzielny ustęp:	30	0
Pomocnicze pomieszczenie bezokienne:	15	0

Rodzaj i kubatura pomieszczeń pomocniczych

	norma	ilość
Klatki schodowe:	1	255
Piwnice ogrzewane:	0,5	0
Inne pomieszczenia ogrzewane, tj.: gospodarcze, garażowe:	1,5	0

Obiekty użyteczności publicznej

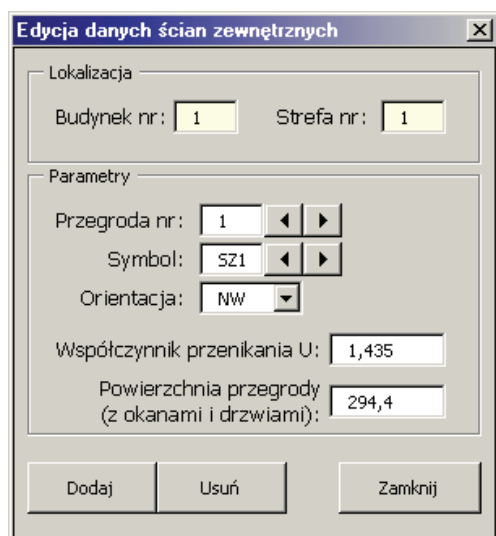
	norma	ilość
Liczba osób w obiektach użyteczności publicznej:	20	0

Obliczeniowy strumień powietrza wentylacyjnego: 2655

Zamknij

Fot. 7. Okno dialogowe – strumień powietrza wentylacyjnego
Phot. 7. Dialog box – ventilation stream of air

8) przycisk **Ściany**, umożliwiający edytowanie parametrów ścian zewnętrznych dla poszczególnych stref grzewczych budynków (fot. 8),



Edycja danych ścian zewnętrznych

Lokalizacja

Budynek nr: 1 Strefa nr: 1

Parametry

Przegroda nr: 1

Symbol: SZ1

Orientacja: NW

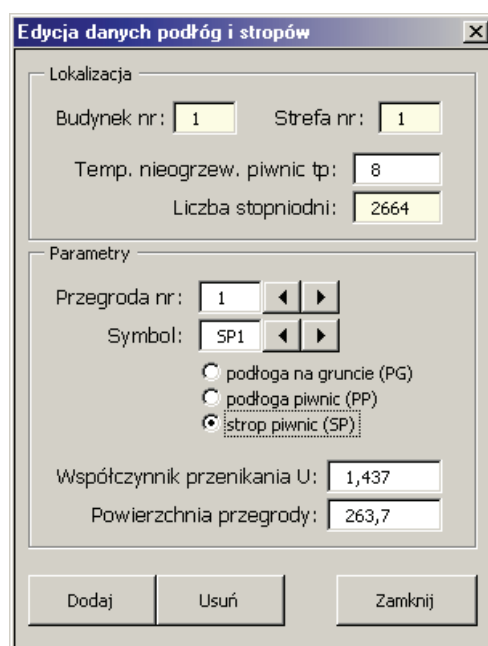
Współczynnik przenikania U: 1,435

Powierzchnia przegrody (z oknami i drzwiami): 294,4

Dodaj Usuń Zamknij

Fot. 8. Edycja danych ścian zewnętrznych
Phot. 8. Editing of external walls data

9) przycisk **Podłogi**, umożliwiający edytowanie parametrów podłóg i stropów piwnic dla poszczególnych stref grzewczych budynków (fot. 9),



Edycja danych podłóg i stropów

Lokalizacja

Budynek nr: 1 Strefa nr: 1

Temp. nieogrzew. piwnic tp: 8

Liczba stopniodni: 2664

Parametry

Przegroda nr: 1

Symbol: SP1

podłoga na gruncie (PG)

podłoga piwnic (PP)

strop piwnic (SP)

Współczynnik przenikania U: 1,437

Powierzchnia przegrody: 263,7

Dodaj Usuń Zamknij

Fot. 9. Edycja danych podłóg i stropów
Phot. 9. Editing of floors and ceilings data

10) przycisk **Stropy/Dachy**, umożliwiającą edytowanie parametrów stropodachów i dachów dla poszczególnych stref grzewczych budynków (fot. 10),

Fot. 10. Edycja danych stropodachów i dachów
Phot. 10. Editing of flat roofs and other roofs data

11) przycisk **Okna**, umożliwiającą edytowanie parametrów stolarki okiennej i drzwi zewnętrznych dla poszczególnych stref grzewczych budynków (fot. 11).

Fot. 11. Edycja danych stolarki okiennej i drzwi zewnętrznych
Phot. 11. Editing of windows and external doors woodworks data

Przyciski opisane znakiem ? udostępniają okienka z podpowiedziami określającymi wartości lub dopuszczalne zakresy dla wybranych parametrów wejściowych. Przykład podpowiedzi zamieszczono na fotografii 12.

Lp.	Rodzaj oszklecia	TR
1	Potedyńcze	0,82
2	Podwójne	0,70
3	Potrójne lub szyba zespolona jednokomorowa z jedną powłoką niskoemisyjną	0,64
4	j.w., lecz przestrzeń między szymbami wypełniona argonem	0,64
5	Szyba zespolona dwukomorowa z powłoką niskoemisyjną	0,55
6	Szyba specjalna	0,50

Zamknij

Fot. 12. Okno pomocy – współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego

Phot. 12. Help window – sun light transmittance

2.3. Optymalizacja wyboru usprawnień termomodernizacyjnych

Przycisk **Optymalizacja** powoduje ukazanie się okna dialogowego (fot. 13), w którym są zestawione wszystkie zadeklarowane przegrody budowlane, wpływające na wynik bilansu cieplnego. W niniejszym oknie dialogowym dokonuje się wyboru przegród dla poszczególnych budynków, które zostaną poddane procesowi termomodernizacji.

Ściany zewnętrzne							
Lp.	Strefa	Symbol	Współ. U	Powierzchnia	Straty ciepła Q	Optym.	
1	1	SZ1	1,435	410,5	193,29	tak	
Podłogi na gruncie, podłogi piwnic lub stropy piwnic							
Lp.	Strefa	Symbol	Współ. U	Powierzchnia	Straty ciepła Q	Optym.	
1	1	SP1	1,437	263,7	87,22	tak	
Stropodachy i dachy							
Lp.	Strefa	Symbol	Współ. U	Powierzchnia	Straty ciepła Q	Optym.	
1	1	S1	0,996	263,7	86,182	tak	
Stolarka okienna i drzwi zewnętrzne							
Lp.	Strefa	Symbol	Współ. U	Powierzchnia	Straty ciepła Q	Optym.	
1	1	OK1	2,6	119,8	359,279	tak	
2	1	OK2	1,1	23	49,067	nie	
3	1	OK3	1,6	15,4	33,432	nie	
4	1	OK4	5,1	49,1	180,576	tak	

Zamknij Dalej...

Fot. 13. Okno dialogowe – wybór przegród do optymalizacji

Phot. 13. Dialog box – choice of barriers for optimisation

Przegrody są podzielone na cztery grupy i w każdej z nich można zmienić status optymalizacji dowolnej przegrody (**tak/nie**) przez kliknięcie myszką. Po dokonaniu selekcji przegród należy wybrać przycisk **Dalej...** i wówczas ukaże się okno dialogowe prezentujące przegrody wskazane do optymalizacji (fot. 14). Dodatkowo w oknie **Optymalizowane przegrody** należy wypełnić pola określające jednostkowe koszty ogrzewania poszczególnego budynku w stanie istniejącym i po termomodernizacji.

Optymalizowane przegrody

Budynek nr:

Optata zmienna [zł/G]: stan ist. po termod.

Optata stała [zł/MW*miesiąc]:

Optata abonamentowa [zł/miesiąc]:

Ściany zewnętrzne

Lp.	Strefa	Symbol	Współ. U	Powierzchnia	Straty ciepła Q	Optym.
1	1	SZ1	1,435	410,5	193,29	tak

Podłogi na gruncie, podłogi piwnic lub stropy piwnic

Lp.	Strefa	Symbol	Współ. U	Powierzchnia	Straty ciepła Q	Optym.
1	1	SP1	1,437	263,7	87,22	tak

Stropodachy i dachy

Lp.	Strefa	Symbol	Współ. U	Powierzchnia	Straty ciepła Q	Optym.
1	1	S1	0,996	263,7	86,182	tak

Stolarka okienna i drzwi zewnętrzne

Lp.	Strefa	Symbol	Współ. U	Powierzchnia	Straty ciepła Q	Optym.
1	1	OK1	2,6	119,8	359,279	tak
2	1	OK4	5,1	49,1	180,576	tak

Wstecz... Zapisz

Fot. 14. Okno dialogowe – optymalizowane przegrody

Phot. 14. Dialog box – barriers being optimised

Optymalizację przeprowadza się dla każdej przegrody indywidualnie i dla każdej grupy przegród jest prezentowane inne okno dialogowe wybierane przyciskiem **Dalej...**

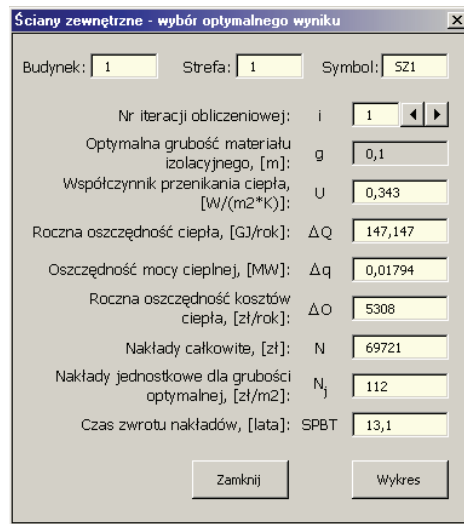
2.3.1. Wybór optymalnego usprawnienia polegającego na termomodernizacji ścian zewnętrznych

Sposób wyznaczenia optymalnego usprawnienia w zakresie termomodernizacji przegród zewnętrznych (ściany zewnętrzne, dachy, stropodachy) polega na wyznaczeniu grubości warstwy docieplającej, przy której czas zwrotu poniesionych nakładów jest najkrótszy. Parametry wejściowe dla procesu wprowadza się przez okno dialogowe (fot. 15). Algorytm optymalizacji wymaga wpisania współczynników A i B funkcji $N_j = Ag + B$ określającej zależność ceny jednostkowej ocieplenia [$\text{zł}/\text{m}^2$] w zależności od grubości materiału izolacyjnego [m]. Obliczenia przeprowadza się dla zadanego zakresu analizy, iteracyjnie ze stałym skokiem grubości materiału termoizolacyjnego co 0,01 m.

Fot. 15. Okno dialogowe – optymalizacja ścian zewnętrznych

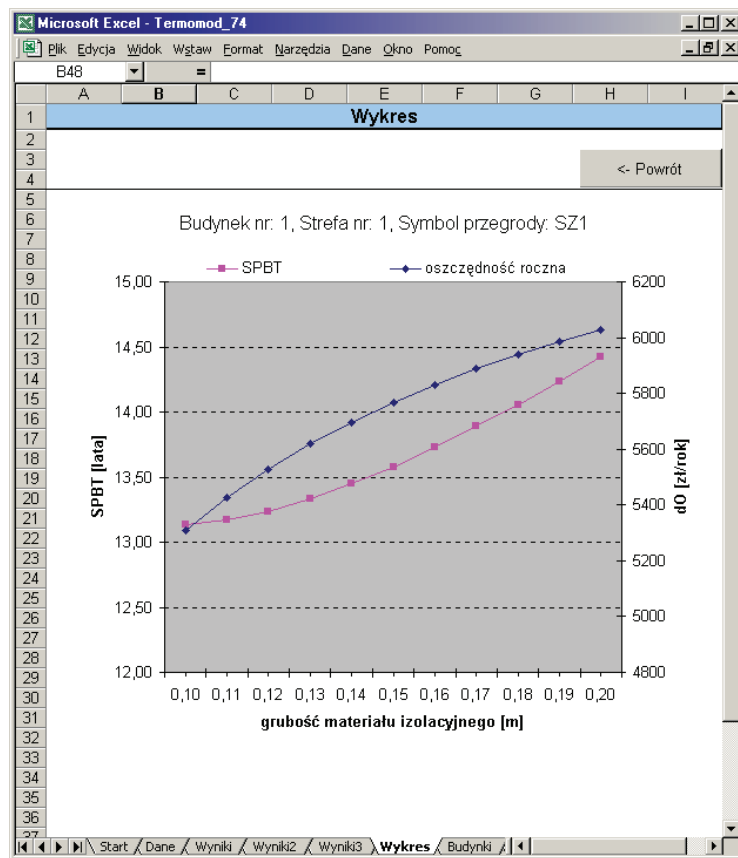
Phot. 15. Dialog box – optimisation of external walls

Wyniki optymalizacji można zobaczyć po wybraniu przycisku **Dalej...** (fot. 16). Program automatycznie prezentuje wyniki dla optymalnej grubości (pole przyjmuje kolor szaroniebieski), czyli takiej, dla której czas zwrotu nakładów SPBT jest najkrótszy. Jednakże operator ma możliwość ręcznego wyboru innej grubości materiału przez zmianę numeru iteracji obliczeniowej.



Fot. 16. Wyniki optymalizacji – ściany zewnętrzne
 Phot. 16. Results of optimisation – external walls

Po wybraniu przycisku **Wykres** (fot. 17) jest możliwa również graficzna prezentacja wyników analizy w całym zadeklarowanym zakresie.



Fot. 17. Graficzna prezentacja wyników analizy
 Phot. 17. Graphic presentation of results of analysis

2.3.2. Wybór optymalnego usprawnienia polegającego na termomodernizacji podłóg i stropów piwnic

Optymalizacja podłóg i stropów piwnic przebiega analogicznie jak w przypadku ścian zewnętrznych i polega na wyborze optymalnej grubości materiału izolacyjnego użytego do termomodernizacji. Parametry wejściowe dla procesu wprowadza się przez okno dialogowe (fot. 18). Obliczenia wykonuje się iteracyjnie ze stałym skokiem grubości materiału co 0,01 m.

Fot. 18. Okno dialogowe – optymalizacja podłóg lub stropów piwnic

Phot. 18. Dialog box – optimisation of floors or ceilings of cellars

Wyniki optymalizacji można zobaczyć po wybraniu przycisku **Dalej...** (fot. 19). Program automatycznie prezentuje wyniki dla optymalnej grubości (SPBT = min.), a pole przyjmuje kolor szaroniebieski. Analogicznie jak w przypadku optymalizacji wyboru usprawnienia polegającego na termomodernizacji ścian zewnętrznych operator ma możliwość ręcznego wyboru innej grubości materiału przez zmianę numeru iteracji obliczeniowej.

Podłogi lub stropy piwnic - wybór optymalnego wyniku

Budynek: 1 Strefa: 1 Symbol: SP1

Nr iteracji obliczeniowej: i 3

Optymalna grubość materiału izolacyjnego, [m]: g 0,07

Współczynnik przenikania ciepła, [W/(m²*K)]: U 0,409

Roczna oszczędność ciepła, [GJ/rok]: ΔQ 62,404

Oszczędność mocy cieplnej, [MW]: Δq 0,01084

Roczna oszczędność kosztów ciepła, [zł/rok]: ΔO 2537

Nakłady całkowite, [zł]: N 15822

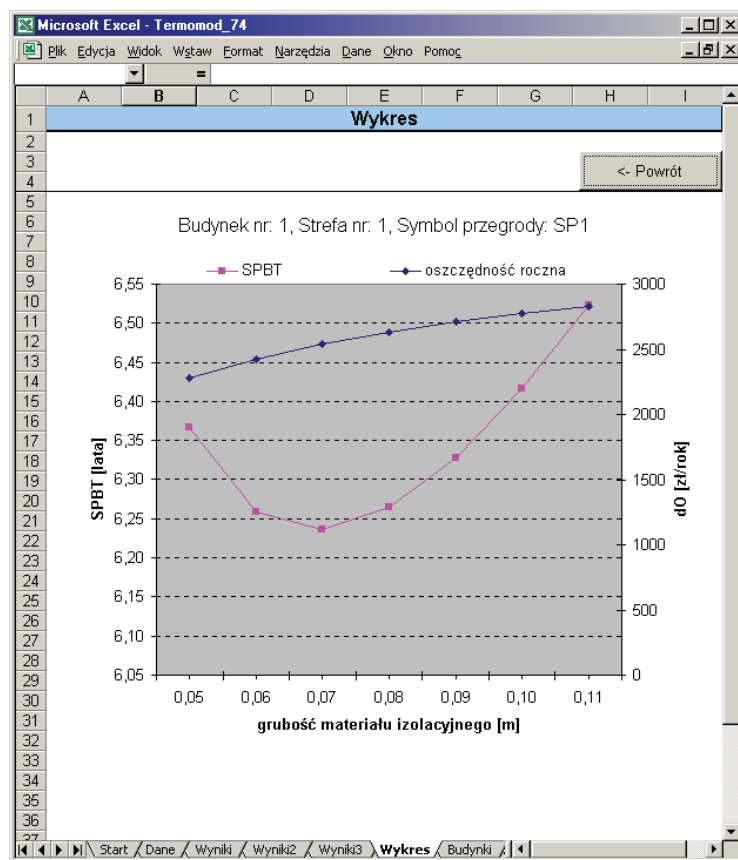
Nakłady jednostkowe dla grubości optymalnej, [zł/m²]: N_o 60

Czas zwrotu nakładów, [lata]: SPBT 6,2

Zamknij Wykres

Fot. 19. Wyniki optymalizacji – podłogi lub stropy piwnic
Phot. 19. Results of optimisation – floors or ceilings of cellars

Podobnie jak dla ścian zewnętrznych jest możliwa również graficzna prezentacja wyniku po wybraniu przycisku **Wykres** (fot. 20).



Fot. 20. Graficzna prezentacja wyników wyboru
Phot. 20. Graphic presentation of results of choice

2.3.3. Wybór optymalnego usprawnienia polegającego na termomodernizacji stropodachów i dachów

Optymalizacja stropodachów i dachów przebiega analogicznie, jak w przypadku ścian zewnętrznych i polega na doborze optymalnej grubości materiału izolacyjnego użytego do termomodernizacji. Parametry wejściowe dla procesu wprowadza się przez okno dialogowe (fot. 21). Obliczenia wykonuje się iteracyjnie ze stałym skokiem grubości materiału co 0,01 m.

Fot. 21. Okno dialogowe – optymalizacja stropodachów i dachów
Phot. 21. Dialog box – optimisation of flat roofs and other roofs

Wyniki optymalizacji można zobaczyć po wybraniu przycisku **Dalej...** (fot. 22). Program automatycznie prezentuje wyniki dla optymalnej grubości (pole przyjmuje kolor szaroniebieski), czyli takiej dla której czas zwrotu nakładów SPBT jest najkrótszy. Operator ma możliwość ręcznego wyboru innej grubości materiału przez zmianę numeru iteracji obliczeniowej.

Podobnie jak dla ścian zewnętrznych możliwa jest również graficzna prezentacja wyniku po wybraniu przycisku **Wykres**.

Parameter	Value
Budynek:	1
Strefa:	1
Symbol:	S1
Nr iteracji obliczeniowej:	i 3
Optymalna grubość materiału izolacyjnego, [m]:	g 0,12
Współczynnik przenikania ciepła, [W/(m²·K)]:	U 0,25
Roczna oszczędność ciepła, [GJ/rok]:	ΔQ 64,571
Oszczędność mocy cieplnej, [MW]:	Δq 0,00787
Roczna oszczędność kosztów ciepła, [zł/rok]:	ΔO 2329
Nakłady całkowite, [zł]:	N 25579
Nakłady jednostkowe dla grubości optymalnej, [zł/m²]:	N_j 97
Czas zwrotu nakładów, [lata]:	SPBT 11

Fot. 22. Wyniki optymalizacji – stropodachy i dachy

Phot. 22. Results of optimisation – flat roofs and other roofs

2.3.4. Optymalizacja wyboru usprawnień w zakresie stolarki okiennej i drzwi zewnętrznych

Optymalizacja usprawnienia polegającego na wymianie stolarki okiennej i drzwi zewnętrznych polega na doborze optymalnego współczynnika przenikania ciepła U [$W/m^2 \cdot K$], charakteryzującego rodzaj stolarki wybranej do termomodernizacji. Parametry wejściowe dla procesu wprowadza się przez okno dialogowe (fot. 23). Obliczenia wykonuje się iteracyjnie, maksymalnie dla pięciu wariantów stolarki.

Wyniki optymalizacji są prezentowane po wybraniu przycisku **Dalej...** (fot. 24). Program automatycznie wyświetla wyniki dla optymalnego usprawnienia opisanego współczynnikiem przenikania ciepła U zestawu okiennego (pole przyjmuje kolor szaroniebieski), czyli takiego, dla którego prosty czas zwrotu nakładów przyjmuje wartość minimalną. Operator programu ma możliwość ręcznego wyboru innego współczynnika, a tym samym innego zestawu okiennego, przez zmianę numeru wariantu obliczeniowego.

Podobnie jak dla ścian zewnętrznych możliwa jest również graficzna prezentacja wyniku po wybraniu przycisku **Wykres**.

Optymalizacja okien i drzwi zewnętrznych

Budynek: 1 Strefa: 1 Symbol: OK1

Powierzchnia okna, [m²]: A_{ok} 119,8

Współczynnik przenikania ciepła okna istn., [W/m²*K]: U_{ok} 2,6

Strumień powietrza wentylacyjnego doprowadzany przez okna, [m³/h]: V_{nom} 1534,59

Nr wariantu: i 1

Współczynnik przenikania ciepła okna, [W/m²*K]: U 1,3

Współczynnik przepuszczania promieniowania słonecznego: TR 0,64 ?

Współczynnik korekcyjny: C_r 1 ?

Współczynnik korekcyjny: C_m 1 ?

Planowane nakłady związane z modernizacją wentylacji, [zł]: N_w 0

Rodzaj stolarki okiennej:
okna uchylno-rozwieralne z opcją mikrouchyty (Uszyb=1,1)

Charakterystyka $N = f(U) \Rightarrow A = -75$ $B = 572,5$

$N_j = A \cdot U + B$

Wstecz... Zapisz Dalej...

Fot. 23. Okno dialogowe – okna i drzwi zewnętrzne
Phot. 23. Dialogue box – windows and external doors

Okna i drzwi zewnętrzne - wybór optymalnego wyniku

Budynek: 1 Strefa: 1 Symbol: OK1

Nr wariantu: i 1

Współczynnik przenikania ciepła okna, [W/m²*K]: U 1,3

Współczynnik przepuszczania promieniowania słonecznego: TR 0,64

Współczynnik korekcyjny: C_r 1

Współczynnik korekcyjny: C_m 1

Roczna oszczędność ciepła, [GJ/rok]: ΔQ 85,372

Oszczędność mocy cieplnej, [MW]: Δq 0,01249

Roczna oszczędność kosztów ciepła, [zł/rok]: ΔO 3264

Planowane nakłady związane z wymianą stolarki okiennej, [zł]: N_{ok} 56905

Planowane nakłady związane z modernizacją wentylacji, [zł]: N_w 0

Nakłady całkowite, [zł]: N 56905

Nakłady jednostkowe dla grubości optymalnej, [zł/m²]: N_j 475

Czas zwrotu nakładów, [lata]: SPBT 17,4

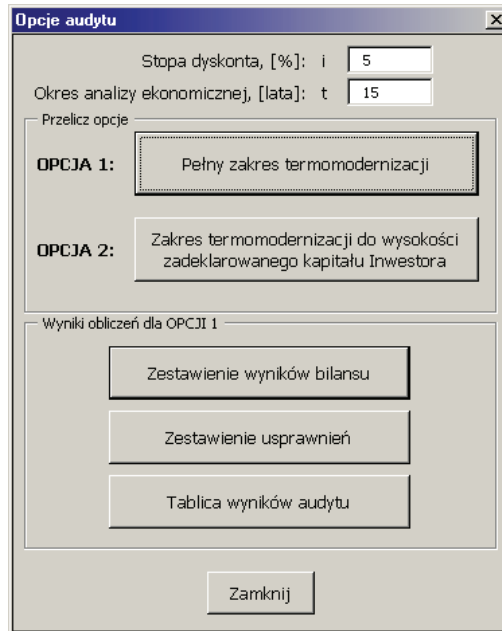
Zamknij Wykres

Fot. 24. Wyniki optymalizacji dla okien i drzwi zewnętrznych
Phot. 24. Results of optimisation for windows and external doors

2.4. Wybór opcji obliczeniowych audytu energetycznego

Przycisk **Opcje audytu** powoduje ukazanie się okna dialogowego (fot. 25), które umożliwia wybór wariantu realizacji audytu dla wszystkich budynków wchodzących w skład analizowanego obszaru. W niniejszej wersji programu **Audyt_miasta_v. 1.0** dostępne są dwie opcje:

- 1) pełny zakres termomodernizacji,
- 2) zakres termomodernizacji dostosowany do wysokości zadeklarowanego kapitału przez inwestora.

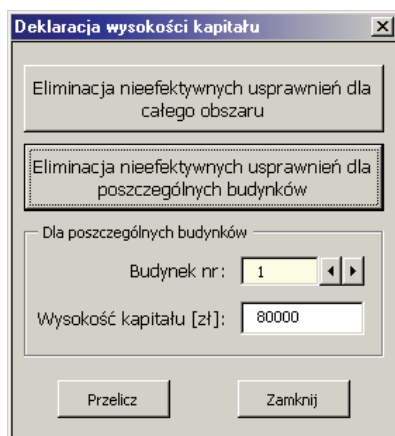


Fot. 25. Okno dialogowe umożliwiające wybór realizacji audytu

Phot. 25. Dialog box enabling choice of realisation of audit

Wybranie **OPCJI 1** powoduje obliczenie bilansu energetycznego dla stanu po termomodernizacji dla budynków wchodzących w skład analizowanego obszaru, z uwzględnieniem wszystkich zoptymalizowanych usprawnień.

Aktywacja **OPCJI 2** powoduje ukazanie się okna dialogowego (fot. 26), w którym należy dokonać wyboru metody eliminacji usprawnień dla budynków, aby ograniczyć zakres termomodernizacji do zadeklarowanej kwoty. Wraz z wyborem metody obliczeń: dla całego obszaru lub poszczególnych, pojedynczych budynków, w kolejnym kroku jest konieczne zadeklarowanie kwoty kapitału inwestora. Eliminacja nieefektywnych ekonomicznie usprawnień (charakteryzujących się najdłuższym czasem zwrotu nakładów) jest realizowana automatycznie przez algorytm programu.



Fot. 26. Okno dialogowe – deklaracja wysokości kapitału

Phot. 26. Dialog box – declaration of capital height

3. WYNIKI AUDYTU ENERGETYCZNEGO

Wyniki obliczeń dla wybranych opcji obliczeniowych są prezentowane po wybraniu przycisku z okna dialogowego **Opcje audytu** (fot. 25):

1. **Zestawienie wyników bilansu** (fot. 27) – zestawienie wyników, analogiczne jak w przypadku tworzenia bilansu stanu istniejącego (fot. 5), z możliwością wyboru stanu po termomodernizacji i stanu istniejącego. Możliwe jest przeglądanie wyników dla poszczególnych budynków lub zbiorczo dla całego obszaru.
2. **Zestawienie usprawnień** (fot. 28) – lista wszystkich zoptymalizowanych usprawnień w kolejności od najkrótszego do najdłuższego czasu zwrotu nakładów. Możliwe jest przeglądanie wyników dla poszczególnych budynków lub zbiorczo dla całego obszaru.
3. **Tablica wyników audytu** (fot. 29) – lista budynków poddanych termomodernizacji z wynikami:
 - sezonowego zapotrzebowania na ciepło (brutto) Q_0 [GJ/rok],
 - obliczeniowej mocy cieplnej q_0 [MW] dla stanu istniejącego,
 - zastosowanych usprawnień,
 - sezonowego zapotrzebowania na ciepło (brutto) Q_1 [GJ/rok],
 - obliczeniowej mocy cieplnej q_1 [MW] dla stanu docelowego – po termomodernizacji,
 - rocznej oszczędności ciepła ΔQ [GJ/rok],
 - oszczędności obliczeniowej mocy cieplnej Δq [MW],
 - rocznych oszczędności kosztów ciepła ΔQ [zł/rok],
 - planowanych kosztów termomodernizacji N [zł],
 - czasu zwrotu nakładów $SPBT$ [lata],
 - wartości bieżącej netto NPV [zł].

Możliwe jest przeglądanie wyników dla poszczególnych budynków lub zbiorczo dla całego obszaru.

Bilans energetyczny budynków				
<input checked="" type="checkbox"/> po termomodernizacji <input checked="" type="checkbox"/> wszystkie budynki <- Powrót				
OPCJA 1: Pełny zakres termomodernizacji				
Adres budynku:				
	gmina	miescowość	ulica	nr
Dane ogólne budynku				
Liczba mieszkań w budynku	60			
Liczba mieszkańców w budynku	126			
Powierzchnia użytkowa	2141,0 m ²			
Kubatura	7163,5 m ³			
Obliczeniowy strumień powietrza wentylacyjnego, Ψ	7770,0 m ³ /h			
Składniki strat energii cieplnej budynku				
Straty ciepła przez ściany zewnętrzne	256,4	GJ/rok		
	71215,0	kWh/rok		
Straty ciepła przez podłogi na gruncie, podłogi lub stropy piwnic	253,6	GJ/rok		
	70447,7	kWh/rok		
Straty ciepła przez dachy i stropodachy	104,6	GJ/rok		
	29049,8	kWh/rok		
Straty ciepła przez przenikanie przez okna	343,3	GJ/rok		
	95368,9	kWh/rok		
Zapotrzebowanie ciepła na podgrzanie powietrza wentylacyjnego	859,2	GJ/rok		
	238663,1	kWh/rok		
Składniki strat mocy cieplnej budynku				
Straty ciepła przez ściany zewnętrzne	0,0314	MW		
Straty ciepła przez podłogi na gruncie, podłogi lub stropy piwnic	0,0132	MW		

Fot. 27. Wyniki bilansu energetycznego budynków dla stanu po termomodernizacji
 Phot. 27. Results of energetic balance of buildings for its state after thermomodernisation

Zestawienie usprawnień								
<input checked="" type="checkbox"/> wszystkie budynki								
OPCJA 1: Pełny zakres termomodernizacji								
Nr. bud.	Adres budynku	Symbol	N [zł]	ΔQ [GJ/rok]	Δq [MW]	ΔO [zł/rok]	SPBT [lata]	Metoda termomodernizacji
9 1	Katowice, ul. Raclawicka 12	SZ1	1101	167,092	0,02	6026	0,2	Rodzaj prac 1
10 1	Katowice, ul. Raclawicka 12	SP1	445	69,606	0,012	2630	0,2	Rodzaj prac 1
11 2	Katowice, ul. Zwycięstwa 1	S1	14472	103,885	0,013	4647	3,1	ocieplenie dachu od zewnątrz styropapą z wyk. obróbek blacharskich - stropodach nad mieszkaniami
12 2	Katowice, ul. Zwycięstwa 1	SZ2	10188	46,751	0,006	2091	4,9	
13 2	Katowice, ul. Zwycięstwa 1	SZ1	46092	149,971	0,018	6709	6,9	
14 2	Katowice, ul. Zwycięstwa 1	SZ3	1848	6,013	0,001	269	6,9	ocieplenie metodą bezspoinową BSO - ściana SZ3
15 2	Katowice, ul. Zwycięstwa 1	S2	1208	2,589	0,001	156	7,8	ocieplenie dachu od zewnątrz styropapą z wyk. obróbek blacharskich - stropodach nad klatką sch.
16 3	Katowice, ul. Pogodna 5	SZ1	74880	195,779	0,024	8850	8,5	ocieplenie metodą bezspoinową BSO - ściana SZ1
17 1	Katowice, ul. Raclawicka 12	OK4	26073	75,274	0,011	2657	9,1	okna uchylno-rozwieralne z opcją mikrouchyłu (Uszyb=1,1) - OK1
18 2	Katowice, ul. Zwycięstwa 1	SZ6	936	1,262	0	77	12,1	ocieplenie metodą bezspoinową BSO - ściana SZ6
19 2	Katowice, ul. Zwycięstwa 1	SZ5	3768	3,66	0,001	220	17,1	
20 1	Katowice, ul. Raclawicka 12	OK1	56905	85,372	0,012	3264	17,4	okna uchylno-rozwieralne z opcją mikrouchyłu (Uszyb=1,1)
21 3	Katowice, ul. Pogodna 5	SZ2	24353	25,892	0,003	1170	20,8	ocieplenie ścian metodą bezspoinową - ścianY szczytowe SZ2

Fot. 28. Lista wszystkich zoptymalizowanych usprawnień
 Phot. 28. List of all optimised improvements

Tablica wyników audytu energetycznego obszaru miasta/gminy												
<input checked="" type="checkbox"/> wszystkie budynki												
OPCJA 1: Pełny zakres termomodernizacji												
Nr. bud.	Adres budynku	Q _d [GJ/rok]	q _d [MW]	Zakres termomodernizacji	Q ₁ [GJ/rok]	q ₁ [MW]	ΔQ [GJ/rok]	Δq [MW]	ΔO [zł/rok]	N [zł]	SPBT [lata]	NPV [zł]
1	Katowice, ul. Raclawicka 12	955	0,0886	Rodzaj prac 1, Rodzaj prac 2, okna uchylno-rozwieralne z opcją mikrouchyłu (Uszyb=1,1), okna uchylno-rozwieralne z opcją mikrouchyłu (Uszyb=1,1) - OK1	399,8	0,0434	565,2	0,0452	18294	82349	4,5	107536
2	Katowice, ul. Zwycięstwa 1	661,4	0,0692	ocieplenie metodą bezspoinową BSO - ściana SZ3, , ocieplenie metodą bezspoinową BSO - ściana SZ6, ocieplenie dachu od zewnątrz styropapą z wyk. obróbek blacharskich - stropodach nad mieszkaniami, ocieplenie dachu od zewnątrz styropapą z wyk. obróbek blacharskich - stropodach nad klatką sch.	313,9	0,0297	347,5	0,0395	15278	93512	6,1	65068
3	Katowice, ul. Pogodna 5	910,8	0,0912	ocieplenie metodą bezspoinową BSO - ściana SZ1, ocieplenie	779	0,0761	131,8	0,0151	5853	99233	17	-38481

Fot. 29. Zbiorcza tablica wyników audytu budynków na analizowanym obszarze
 Phot. 29. Summary table of audit results for buildings on analysed area

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Niniejsza wersja programu **Audyt_miasta_v. 1.0** została przetestowana na obszarze obejmującym 3 budynki. Uzyskane wyniki zostały zweryfikowane i są prawidłowe.
2. Podczas weryfikacji możliwości obliczeniowych programu, w kontekście jego szerszego zastosowania, w Zakładzie Oszczędności Energii i Ochrony Powietrza Głównego Instytutu Górnictwa podjęto decyzję o rozszerzeniu aplikacji o dodatkowe funkcje. Kolejna wersja programu będzie rozszerzeniem publikowanej wersji **Audyt_miasta_v. 1.0** o:
 - optymalizację wyboru usprawnień w zakresie modernizacji systemu grzewczego każdego z budynków, wchodzącego w skład analizowanego obszaru,
 - obliczenia efektów ekologicznych, wynikających z termomodernizacji analizowanego obszaru miasta dla wybranej opcji obliczeniowej (niniejsza opcja pozwoli wykorzystać możliwości obliczeniowe programu podczas realizacji Programów likwidacji niskiej emisji w gminach, czy Programów ochrony powietrza),
 - realizację wyboru zakresu termomodernizacji w funkcji maksymalnego efektu ekonomicznego określonego parametrem wartości bieżącej netto *NPV* (*net present value*).

Literatura

1. Ćwiężek M. (2005): Opracowanie algorytmu wykonywania audytu energetycznego wybranego obszaru miast/gmin. Dokumentacja GIG. Katowice.

Recenzent: mgr inż. Aleksander Szkliniarz