

*Lech Malara**

**WYSOKOENERGOOSZCZĘDNA HALA WIDOWISKOWO-
-SPORTOWA KOMPLEKSU SPORTOWEGO „MICHAŁ”
W SIEMIANOWICACH ŚLĄSKICH PO KOMPLEKSOWEJ
TERMOMODERNIZACJI OBIEKTU, MODERNIZACJI WĘZŁA
CIEPLNEGO, INSTALACJI GRZEWCZEJ ORAZ WENTYLACJI**

Streszczenie

Jedną z ostatnich inwestycji przeprowadzonych w latach 2007–2008 w Siemianowicach Śląskich, była kompleksowa termomodernizacja Hali Widowiskowo-Sportowej Kompleksu Sportowego „MICHAŁ”. Podstawę do przeprowadzenia modernizacji stanowiła praca audytorska wykonana wcześniej w Głównym Instytucie Górnictwa w Zakładzie Oszczędności Energii i Ochrony Powietrza. Posłużyła ona do sporządzenia projektu technologiczno-wykonawczego.

W artykule przedstawiono przebieg wykonanych prac: charakterystykę technologiczną obiektu, prace wstępne (badania termowizyjne), energooszczędne usprawnienia termomodernizacyjne (w tym również poprawę sprawności systemu grzewczego oraz modernizację systemu wentylacyjnego), wyniki bilansu energetycznego przed i po wykonaniu zaproponowanych usprawnień termomodernizacyjnych, analizę ekonomiczną wariantu wykonawczego (w tym oszczędność kosztów ogrzewania) oraz sposób finansowania powyższej inwestycji.

**High energy-saving the Show Hall of the Sport Complex "MICHAŁ"
in Siemianowice Śląskie after the complex thermomodernization of the building
and heat distribution center, heating system and ventilation modernization**

Abstract

One of last investments carried out in years 2007–2008 in Siemianowice Śląskie related to complex thermomodernization was the Sport and Show Hall of the Sport Complex "MICHAŁ". The basis of this investment – auditing research was performed earlier by Department of Energy Saving and Air Protection of Central Mining Institute. This work was used later to prepare technological and executive projects related to above investment.

This publication describes the progress of this research: technological characteristic of the building, preliminary works (thermovision research), energy-saving improvements (including heating system efficiency improvement and ventilation system modernization), energy balance results before and after proposed thermomodernization improvements realization, economical analysis of final thermomodernization variant (including cost savings of heating) and the way of financing the above investment.

1. WPROWADZENIE

Celem prac było wykonanie kompleksowej termomodernizacji Hali Widowiskowo-Sportowej Kompleksu Sportowego „MICHAŁ” polegającej na ociepleniu ścian zewnętrznych, ścian zewnętrznych piwnic przy gruncie, stropu nad halą główną, stropodachu nad zapleczem hali, wymianie starych okien w ramach metalowych, zmniejsz-

* Główny Instytut Górnictwa

szeniu powierzchni okiennej, wymianie drzwi wejściowych, modernizacji węzła cieplnego oraz usprawnieniu wewnętrznej instalacji grzewczej zasilanej z węzła cieplnego, znajdującego się w pomieszczeniach piwnicznych, jak również systemu wentylacji obiektu.

Przyczyną podjęcia prac w Hali Widowiskowo-Sportowej były duże straty ciepła spowodowane brakiem izolacji termicznej ścian zewnętrznych oraz ścian piwnic ogrzewanych, stropodachów obiektu, złym stanem technicznym okien w ramach metalowych podwójnie szklonych, drzwi wejściowych do obiektu, małą sprawnością istniejącego węzła cieplnego oraz istniejącej instalacji c.o.

Prace modernizacyjne rozpoczęto od wykonania audytu energetycznego hali na podstawie badań termowizyjnych. Następnie przeprowadzono inwentaryzację stanu przegród budowlanych budynku, w celu wyliczenia bilansu cieplnego oraz zapotrzebowania na ciepło i moc potrzebną do wytworzenia tego ciepła. Przedstawiono optymalne przedsięwzięcia termomodernizacyjne w celu ograniczenia potrzeb cieplnych hali oraz analizę ekonomiczną, w tym: koszty ogrzewania, wielkość nakładów inwestycyjnych na prace termomodernizacyjne i propozycje ich finansowania.

2. LOKALIZACJA OBIEKTU

Hala Widowiskowo-Sportowa znajduje się w dzielnicy Michałkowice, zlokalizowanej w północno-zachodniej części miasta Siemianowice Śląskie. W centrum miasta, które ma zwartą zabudowę, znajdują się liczne skwery i zieleńce oraz park miejski. Poza miastem występują tereny rolnicze, leśne oraz rekreacyjne, a zabudowę mieszkaniową stanowią rozproszone jedno- i wielorodzinne budynki mieszkaniowe.

Kompleksowa termomodernizacja hali spowoduje zmniejszenie zapotrzebowania na energię cieplną, a w efekcie zmniejszenie ilości paliwa do jej produkcji, a w konsekwencji zmniejszenie emisji zanieczyszczeń do środowiska w skali miasta, będącego częścią Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego.

3. OCENA STANU TECHNICZNEGO OBIEKTU

Hala Widowiskowo-Sportowa została wybudowana w 1969 roku. Konstrukcja jej jest żelbetowa; jest ona wykonana w technologii tradycyjnej, wymurowana z cegły pełnej. Składa się z dwóch kondygnacji i jest częściowo podpiwniczona, połączona bocznym wejściem głównym i korytarzem z nowoczesną częścią, w której znajduje się basen. Przed rozpoczęciem prac modernizacyjnych powierzchnia zabudowy obiektu wynosiła 1763 m², powierzchnia użytkowa pomieszczeń – 2550 m². Kubatura obiektu wynosiła 25 451 m³, w tym kubatura ogrzewanej części obiektu 14 010 m³. Po przebudowie kubatura obiektu została zwiększona (tab. 1).

Stan techniczny hali nie był zadowalający ze względu na wysokie współczynniki przenikania ciepła U w przegrodach, wynoszące:

- 1,67; 1,04 – strop i stropodach,
- 0,968; 1,157; 1,428; 1,616 – ściany zewnętrzne budynków,
- 4,00; 5,60 – okna zewnętrzne,
- 5,10; 5,60 – drzwi zewnętrzne.

Okna w ścianach zewnętrznych budynków były podwójnie lub pojedynczo szklone, w ramach stalowych. Stan okien był zły – okna były nieszczelne. Drzwi wejściowe do budynku były w ramach stalowych lub aluminiowych, podwójnie szklone, w złym stanie technicznym. Drzwi wejściowe boczne – stalowe pełne, stan ich był niedostateczny, drzwi były nieszczelne. W budynku była wentylacja grawitacyjna (zaplecze hali, pomieszczenia administracyjne) i mechaniczna (obecnie nieczynna, ze względu na awarię) – sala widowiskowa, poczekalnia – hall. Stan wentylacji był dostateczny.

Tabela 1. Charakterystyka technologiczna Hali Widowiskowo-Sportowej Kompleksu Sportowego „Michał” przed i po termomodernizacji

Wyszczególnienie	Hala przed termomodernizacją	Hala po termomodernizacji i przebudowie
Rok budowy/zasiedlenia	1969/1971	2007/2008
Technologia wykonania obiektu	Obiekt wykonany z prefabrykowanych elementów żelbetowych oraz murowany z cegły	Obiekt wykonany z prefabrykowanych elementów żelbetowych oraz murowany z cegły, częściowo przebudowany (dojście)
Powierzchnia zabudowy, m ²	1763	2052
Kubatura budynku, m ³	25 451	26 112
Powierzchnia użytkowa pomieszczeń, m ²	2550	2550
Powierzchnia korytarzy, m ²	241	476
Powierzchnia użytkowa ogrzewanej części obiektu, m ²	2791	3026
Kubatura ogrzewanej części budynku, m ³	14 010	15 605
Obiekt podpiwniczony, tak/nie	tak	tak
Węzeł cieplny, tak/nie	tak	tak

4. BADANIA TERMOWIZYJNE

Metodę termowizyjną stosuje się we wnioskowaniu o zachodzących zjawiskach i procesach na podstawie zmian temperatury lub jej rozkładu na powierzchni, między innymi do wyszukiwania miejsc ucieczek ciepła z budynków i kontroli jakości wykonania ich ocieplenia. Istotą termowizyjnej metody oceny stanu izolacji cieplnej jest możliwość wykrywania różnic temperatury na powierzchniach zewnętrznych i wewnętrznych przegród budynku. Na skutek przepływu ciepła przez ściany otrzymuje się rozkład temperatury na powierzchni, typowy dla każdego badanego budynku, na przykład z wielkiej płyty, siporex-u itp.

Najczęściej termowizja w budownictwie jest stosowana do oceny stanu izolacji cieplnej budynków oraz wykrywania niewłaściwych połączeń elementów czy też wad materiałów, powstałych w czasie prac termomodernizacyjnych.

4.1. Badania termowizyjne obiektu przed termomodernizacją

Badania termowizyjne budynku zostały wykonane na początku marca 2006 roku w celu lokalizacji miejsc ucieczek ciepła. Na ich podstawie stwierdzono wiele wad cieplnych w obudowie budynku (liczne mostki cieplne, złą izolację między przegrodami, zacieki, zawilgocenia i przemarzanie ścian, wady w izolacjach ścian). Stwier-

dzono także duże ucieczki ciepła przez przegrody zewnętrzne (stropodachy i ściany) oraz okna obiektu i drzwi wejściowe (Malara 2005, 2006).

Badania potwierdziły, że w takim stanie budynek Hali Widowiskowo-Sportowej wymaga niezwłocznej kompleksowej termomodernizacji, polegającej na wymianie okien i drzwi oraz ociepleniu przegród zewnętrznych (stropodachów i ścian), co pozwoli na znaczne zaoszczędzenie energii cieplnej potrzebnej do jego ogrzania.

5. OPTYMALIZACJA PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH

Współczynniki przenikania ciepła przegród U obliczono, korzystając z katalogu materiałów programu AUDYTOR OZC 3.0 Narodowej Agencji Poszanowania Energii SA w Warszawie. Uzyskane wyniki obliczeń zamieszczano w opracowaniach stanowiących załącznik do wydruków z powyższego programu.

W celu wyznaczenia optymalnego dodatkowego oporu cieplnego ΔR przegrody korzystano z zależności określonej wzorem

$$SPBT = \frac{N_u}{\left[U - \frac{1}{(1/U + \Delta R)} \right] W_E}, \text{ rok}$$

gdzie:

- ΔR – dodatkowy opór cieplny przegrody zewnętrznej, (m²·K)/W;
- N_u – planowane koszty robót na zwiększenie o wartość ΔR oporu cieplnego 1 m² przegrody, zł/m²;
- U – współczynnik przenikania ciepła przegrody zewnętrznej, określony zgodnie z Polską Normą, dotyczącą sposobu obliczania oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła, dla budynku przed termomodernizacją, W/(m²·K);
- W_E – jednostkowa roczna oszczędność kosztów energii w wyniku usprawnienia termomodernizacyjnego, (zł·K)/W·rok.

Optymalny dodatkowy opór cieplny ΔR , odpowiadający optymalnej grubości warstwy ocieplenia, jest to opór, dla którego prosty czas zwrotu nakładów SPBT przyjmuje wartość minimalną.

W wyniku przeprowadzonej optymalizacji przegród otrzymano następujące współczynniki przenikania ciepła U w przegrodach:

- 0,183; 0,193 – strop i stropodach,
- 0,170; 0,175; 0,180; 0,183 – ściany zewnętrzne budynków,
- 1,10 – okna zewnętrzne,
- 1,10 – drzwi zewnętrzne.

Okna w ścianach zewnętrznych budynku wymieniono na okna podwójnie szklone z szybą specjalną (niskoemisyjną). Drzwi wejściowe główne i boczne do budynku wymieniono na drzwi z szybą specjalną (tab. 2).

Tabela 2. Charakterystyka obiektu w stanie istniejącym i po optymalizacji przegród zewnętrznych

Rodzaj przegrody	Stan przed termomodernizacją		Stan po termomodernizacji		
	powierzchnia przegrody m ²	współczynnik przenikania ciepła przegrody W/m ² K	grubość izolacji cm	współczynnik przewodzenia ciepła izolacji W/m·K	współczynnik przenikania ciepła przegrody W/m ² ·K
Przegrody budowlane oddzielające część ogrzewaną od powietrza zewnętrznego i części nie ogrzewanej					
Ściany zewnętrzne 0,38 m, piwnice	44,30	1,428	17	0,035	0,180
Ściany zewnętrzne 0,38 m, parter, piętro	496,00	0,968	17	0,035	0,170
Ściany zewnętrzne 0,25 m, parter, piętro	51,20	1,157	17	0,035	0,175
Ściany zewnętrzne 0,24 m, poddasze	187,10	1,616	17	0,035	0,183
Strop podwieszany nad halą główną	1494,00	1,669	16	0,035	0,193
Stropodach nad zapleczem hali	395,20	1,041	15	0,035	0,191
Ściany piwnic przy gruncie	47,60	1,020	11	0,036	0,248
Podłoga na gruncie I strefa	68,80	1,385	10	0,034	0,273
Podłoga na gruncie II strefa	177,60	0,786	10	0,034	0,237
Okna pojedynczo/podwójnie szklone	480,80 28,10	5,60/4,00	–	–	1,100
Drzwi wejściowe aluminiowe/stalowe	22,90 4,20	5,10/5,60	–	–	1,100

6. BILANS ENERGETYCZNY OBIEKTU W STANIE ISTNIEJĄCYM

Zapotrzebowanie na ciepło i moc dla budynku obliczono za pomocą programu komputerowego AUDYTOR OZC 3.0 Narodowej Agencji Poszanowania Energii SA w Warszawie, z uwzględnieniem obowiązujących norm (tab. 3).

Temperaturę zewnętrzną określono według PN-82/B-02403 Temperatury obliczeniowe zewnętrzne [6]; dla III strefy klimatycznej ustalono 20°C.

Temperaturę ogrzewanych pomieszczeń w budynkach określono według PN-82/B-02402 Temperatury ogrzewanych pomieszczeń w budynkach [5]:

- zaplecze hali widowiskowej, pomieszczenia i kabiny obsługi +20°C,
- łazienki, natryski, rozbieralnie +25°C,
- klatki schodowe, korytarze (hall), sala widowiskowa +16°C.

Strumień powietrza wentylacyjnego określono według PN-83/B-03430 Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej [8].

W pomieszczeniach W.C. przyjęto wentylację grawitacyjną¹⁾ o strumieniu 30 m³/h, dla pomieszczeń łazienki z W.C. przyjęto wentylację grawitacyjną o strumieniu 50 m³/h, dla kuchni z oknem zewnętrznym – 70 m³/h; dla innych pomieszczeń przyjęto:

- hala widowiskowa – 2,5 wymiany powietrza na godz.,
- sale gimnastyczne – 2,0 wymiany na godz.,
- zaplecze hali, poczekalnia (hall) – 2,0 wymiany na godz.,
- kabiny obsługi – 1,0 wymiana na godz.,
- typu klatki schodowe oraz korytarze – 1,0 wymiana na godz.,
- piwnicznych – 1,0 wymiana na godz.

¹⁾ Podczas oceny okazało się, że Hala Widowiskowo-Sportowa w stanie istniejącym nie miała wentylacji nawiewno-wywiewnej, ze względu na awarię urządzeń do wentylacji mechanicznej.

Tabela 3. Charakterystyka obiektu w stanie istniejącym i po termomodernizacji (bilans energetyczny obiektu)

Wyszczególnienie	Przed termomodernizacją	Po termomodernizacji
Obliczeniowa moc cieplna, kW	744,23	221,84
Roczne zapotrzebowanie na ciepło (netto), GJ/rok	5966,09	2242,50
Sprawność systemu grzewczego	0,624	0,864*
Poprawa sprawności systemu grzewczego, %	–	74,2
Roczne zapotrzebowanie na ciepło z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu, GJ/rok	9561,04	2465,71

* oraz ośmiogodzinna przerwa w ogrzewaniu w godzinach nocnych ($w_d = 0,95$).

7. PRZEWIDYWANY EFEKT EKOLOGICZNY

W celu wyliczenia wielkości emisji zanieczyszczeń do powietrza, korzystano ze wskaźników zalecanych przez MOŚZNiL w materiałach informacyjno-instruktażowych seria 1/96 z kwietnia 1996 roku „Wskaźniki emisji substancji zanieczyszczeń wprowadzanych do powietrza z procesów energetycznego spalania paliw” (tab. 4).

Emisję poszczególnych substancji zanieczyszczających (dwutlenku siarki, dwutlenku azotu, tlenku węgla, dwutlenku węgla i benzyno/a/pirenu) obliczono według zależności

$$E_i = Bw, \quad \text{kg}$$

gdzie:

B – ilość spalonego paliwa stałego, Mg;
 w – wskaźnik emisji, kg/Mg.

Emisję pyłu natomiast obliczono za pomocą wzoru

$$E_{\text{pył}} = BW(100 - \eta)/(100 - k), \text{ kg}$$

gdzie:

B – ilość spalonego paliwa stałego, Mg;
 W – wskaźnik unosu pyłu, kg/Mg paliwa;
 η – sprawność urządzenia odpylającego;
 k – zawartość części palnych w pyle, %.

W przypadku energetycznego spalania paliw stałych w kotłach z rusztami mechanicznymi zalecane wskaźniki emisji wynoszą:

- dla pyłu – $3,0 \cdot A^r\%$,
- SO_2 – $17 \cdot S$,
- dla NO_2 – 4,
- dla CO – 5,
- dla CO_2 – 2200,
- B-a-P – 0,0004,
- sadza – $0,002 \cdot A^r\%$,

gdzie:

S – zawartość siarki całkowitej, %;
 A^r – zawartość popiołu, %.

Tabela 4. Wielkość emisji substancji zanieczyszczających powietrze powstałych ze spalania paliwa stałego w ciepłowni Siemianowice Sp. z o.o. przy produkcji ciepła

Rodzaj zanieczyszczeń	Emisja zanieczyszczenia, kg/a		Redukcja emisji	
	stan bieżący	WARIANT I	kg/a	%
SO ₂	5503,01	1502,12	4000,69	72,7
NO ₂	1992,04	543,83	1448,21	72,7
CO	2490,05	679,78	1810,27	72,7
CO ₂	1 095 622,00	299 104,8	796517,2	72,7
Pył	370,39	101,12	269,27	72,7
Sadza	0,249005	0,067978	0,181027	72,7
B-a-P	1,992040	0,543827	1,448213	72,7

Redukcja emisji jest wynikiem zmniejszenia zużycia energii cieplnej (brutto) z 9760,96 GJ/a²⁾ do 2665,63²⁾ GJ/a (o 72,7%).

8. BADANIA TERMOWIZYJNE OBIEKTU PO WYKONANIU TERMOMODERNIZACJI

W celu sprawdzenia prawidłowości wykonania modernizacji zgodnie z audytem energetycznym i projektem budowlano-wykonawczym oraz ustalenia lokalizacji ewentualnych miejsc ucieczek ciepła z budynku hali wykonano w lutym 2009 roku powtórne badania termowizyjne.

Po przebudowie i dobudowie (np. podjazdu dla niepełnosprawnych) i modernizacji, powierzchnia zabudowy obiektu wynosi 2052 m², powierzchnia użytkowa pomieszczeń 2773 m² a kubatura 15 605 m³. Obiekt jest konstrukcją żelbetową, którą wypełniają konstrukcyjne ściany zewnętrzne z cegły grubości 0,38 i 25 m ocieplone warstwą styropianu grubości 17 cm. Stropodach nad zapleczem hali widowiskowej ocieplono styropianem grubości 15 cm. Ocieplono strop podwieszany nad halą widowiskową styropianem grubości 16 cm, a także ściany piwnic przy gruncie i ponad gruntem, wykonano również ocieplenie podłóg na gruncie. Wymieniono całą stolarkę okienną (z wyjątkiem okien na ścianie północnej – parter) na okna o współczynniku $U = 1,10$ oraz główne drzwi wejściowe do obiektu. Zlikwidowano (zamurowano i ocieplono) około 13% całej powierzchni okien w hali. Nad głównym wejściem do hali widowiskowej zabudowano system ogniw fotowoltaicznych do zamiany energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną oraz zmodernizowano system wentylacyjny w hali przez zastosowanie nowoczesnych central wentylacyjnych nawiewno-wywiewnych o wysokiej sprawności z wymiennikami ciepła (rekuperatorami), zaopatrzonymi w kompletny układ automatyki, utrzymujący zadane parametry i płynną zmianę przepływu powietrza. Zmodernizowano węzeł cieplny w hali i całkowicie wymieniono instalację grzewczą oraz zabudowano nowoczesne grzejniki konwektorowe z zaworami termostatycznymi.

Badania termowizyjne Hali Widowiskowo-Sportowej wykazały, że jej stan termiczny znacznie się poprawił w porównaniu ze stanem przed termomodernizacją (Malara 2006, 2009).

²⁾ Uwzględniono zapotrzebowanie energii brutto na przygotowanie ciepłej wody użytkowej, która w obiekcie wynosiła 199,92 GJ/rok.

Kompleksowa termomodernizacja Hali Widowiskowo-Sportowej spowodowała poprawę izolacyjności przegród zewnętrznych hali i bardzo zmniejszyła ucieczki ciepła przez ściany i okna oraz strop. Wyjątek stanowią okna o większym współczynniku przenikania, pozostawione w ścianie północnej hali (parter) niż pozostałych okien, a które powinno się wymienić, czego potwierdzeniem są zdjęcia termograficzne.

Na podstawie powyższych badań stwierdzono także, że pomimo właściwego ocieplenia przegród zewnętrznych budynku, nadal występują pewne małe straty ciepła, głównie na mostkach cieplnych, przy niektórych ramach okiennych oraz przy fragmencie połączenia stropodachu ze ścianą północną hali (do doszczelnienia przez wykonawcę w ramach gwarancji).

9. MODERNIZACJA WĘZŁA CIEPLNEGO I SYSTEMU GRZEWczego

System grzewczy hali był w złym stanie technicznym. Dotyczyło to zarówno źródeł ciepła (stary węzeł cieplny), jak i grzejników i wyeksploatowanych dwururowych stalowych instalacji grzewczych. Brak zaworów termostatycznych na grzejnikach nie pozwalał na ustalanie właściwej temperatury w zajmowanych pomieszczeniach, co z kolei nie dawało możliwości oszczędzania energii w czasie ogrzewania pomieszczeń (tab. 5).

Tabela 5. Charakterystyka systemu grzewczego

System grzewczy	Stan przed termomodernizacją	Stan po termomodernizacji
Charakterystyka źródła ciepła (rodzaj źródła ciepła – wymiennikownia wbudowana, źródło zdala czynne, liczba sztuk, producent, typ, moc, rok produkcji, wysokość komina)	dwufunkcyjny węzeł ciepłowniczy mieszczący się w piwnicach obiektu	dwufunkcyjny węzeł ciepłowniczy po modernizacji z zabudowaną automatyką pogodową, mieszczący się w piwnicach obiektu
Charakterystyka instalacji c.o. (grzejniki, zawory termostatyczne, przewody)	stara instalacja c.o., dwururowa z rozdziałem dolnym, na elementach grzejnych rurowych stalowych ożebrowanych niewyposażonych w zawory termostatyczne, odpowietrzana centralnie	nowa wymieniona instalacja c.o., nowe nowoczesne grzejniki konwekcyjne zaopatrzone w zawory termostatyczne, odpowietrzanie instalacji (automatyczne odpowietrzniki), regulacja hydrauliczna, zabudowanie automatyki pogodowej w węźle
Zapotrzebowanie na moc, kW	744,23	221,84
Zapotrzebowanie na energię netto, GJ/a	5966,09	2242,50
Sprawność wytwarzania	1,00	1,00
Sprawność przesyłu	0,80	0,99
Sprawność regulacji	0,87	0,97
Sprawność wykorzystania	0,90	0,90
Współczynnik uwzględniający przerwy w ogrzewaniu w okresie doby	1,00	0,95
Współczynnik uwzględniający przerwy w ogrzewaniu w okresie tygodnia	1,00	1,00
Zapotrzebowanie na energię brutto, GJ/a	9561,04	2465,71



Fot. 1. Zmodernizowany węzeł cieplny w Hali Widowiskowo-Sportowej – część A (fot. L. Malara)

Photo 1. Modernized heat distribution center in the Show and Sport Hall – part A (photo. L. Malara)



Fot. 2. Zmodernizowany węzeł cieplny w Hali Widowiskowo-Sportowej – część B (fot. L. Malara)

Photo 2. Modernized heat distribution center in the Show and Sport Hall – part B (photo. L. Malara)



Fot. 3. Modernizacja dwufunkcyjnego węzła ciepłownego – system ciepłej wody użytkowej (fot. L. Malara)
Photo 3. Modernization of the double-function heat distribution center – usable hot water system (photo. L. Malara)

Całkowitą sprawność systemu grzewczego obiektu obliczono za pomocą wzoru

$$\eta_o, \eta_1 = \eta_w \eta_p \eta_r \eta_e$$

gdzie:

- η_w – sprawność wytwarzania ciepła określana zgodnie z Polskimi Normami dotyczącymi kotłów grzewczych wodnych niskotemperaturowych gazowych lub przyjmowana z tabeli lub z dokumentacji technicznej,
- η_p – sprawność przesyłania ciepła określana zgodnie z Polską Normą dotyczącą izolacji cieplnej rurociągów, armatury i urządzeń lub przyjmowana z tabeli lub z dokumentacji technicznej,
- η_r – sprawność regulacji systemu ogrzewania obliczana ze wzoru lub przyjmowana z dokumentacji technicznej,
- η_e – sprawność wykorzystania ciepła przyjmowana z tabeli lub z dokumentacji technicznej.

10. MODERNIZACJA SYSTEMU WENTYLACYJNEGO

Zmiany w systemie ogrzewania hali polegały na zastosowaniu ogrzewania nawiewnego ciepłym powietrzem. Zastosowano nowy rodzaj wentylacji mechanicznej i ogrzewanie nawiewne niemieckiej firmy MENERGA, które znacząco zmniejszyło straty energetyczne i przez to poprawiło efektywność ogrzewania.

Dodatkowe oszczędności energii zostały osiągnięte w wyniku rekuperacji, czyli odzysku ciepła ze zużytego powietrza wentylacyjnego. Zastosowano najnowsze rekuperatory o wysokiej sprawności.

Poprawiono jakość powietrza w pomieszczeniach przez zmniejszenie zanieczyszczeń (filtry), stałe odprowadzenie wilgotności i szkodliwych związków (fot. 4–6).



Fot. 4. Centrala wentylacyjna nawiewno-wywiewna dla pomieszczeń sanitarnych (fot. L. Malara)
Photo 4. Supply-exhaust ventilation center for the sanitary rooms (photo. L. Malara)



Fot. 5. Centrala wentylacyjna nawiewno-wywiewna dla pomieszczeń sportowych (sala gimnastyczna i fitness) (fot. L. Malara)
Photo 5. Supply-exhaust ventilation center for the sports rooms (gymnastic and fitness) (photo. L. Malara)



Fot. 6. Centrala wentylacyjna nawiewno-wywiewna z rekuperacją (odzyskiem ciepła) dla głównej Hali Widowiskowo-Sportowej (fot. L. Malara)

Photo 6. Supply-exhaust ventilation center with the recuperation (heat recovery) in the main room of the Show and Sport Hall (photo. L. Malara)

W obiekcie zabudowano cztery centrale wentylacyjne. Dwie główne centrale wentylacyjne z odzyskiem ciepła wynoszącym 90% i dwie centrale wentylacyjne z odzyskiem ciepła wynoszącym 55%.

Charakterystykę systemu wentylacji w obiekcie przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Charakterystyka systemu wentylacji

Wentylacja mechaniczna	Stan przed termomodernizacją	Stan po termomodernizacji
Sposób doprowadzenia i odprowadzenia powietrza	Doprowadzenie – przewody i kanały wentylacyjne. Odprowadzenie – wyrzutnie dachowe i wentylatory	Doprowadzenie – przewody i kanały wentylacyjne. Odprowadzenie – oddzielne kanały wentylacyjne, wyrzutnie i wentylatory dachowe
Sposób wytwarzania i dostarczania ciepła	brak	Centralne wentylacyjne z wymiennikami i wodnymi nagrzewnicami ciepła z pełną automatyką i regulacją
Liczba wymian, l/h	2,18	2,76
Strumień powietrza, m ³ /h	33 977	Nawiew – 42 880, wywiew – 43 415
Stopień odzysku ciepła	–	Centrala wentylacyjna I i II – 90% Centrala wentylacyjna III i IV – 55%
Zapotrzebowanie na moc, kW	358,53	101,31
Zapotrzebowanie na energię netto, GJ/a	997,53 ^{*)}	479,64 ^{*)}
Sprawność wytwarzania	1,00	1,00
Sprawność instalacji (przesyłu, regulacji, wykorzystania)	1,00	1,00
Zapotrzebowanie na energię brutto, GJ/a	997,53 ^{*)}	497,64 ^{*)}

^{*)} Przewidywane rzeczywiste zapotrzebowanie na energię cieplną dla wentylacji mechanicznej przed i po termomodernizacji obiektu.

11. INSTALACJA OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH

Przeszklenia nowo projektowanej skośnej frontowej ściany kurtynowej łącznika komunikacyjnego na elewacji południowej są wyposażone w zintegrowane moduły fotowoltaiczne (fot. 7). Służą one do przetwarzania energii promieniowania światła słonecznego bezpośrednio na energię elektryczną. Generator fotowoltaiczny składa się z: układu ogniw fotowoltaicznych, elektronicznego urządzenia sterującego oraz urządzenia magazynującego energię elektryczną.

Moduły fotowoltaiczne są połączone ze sobą szeregowo, przewodami doprowadzonymi do pomieszczenia przyłącza energetycznego, w którym są zainstalowane tablice rozdzielcze i falowniki służące do przetwarzania w prąd przemienny 230 V, 50 Hz.

Projekt przewidywał zastosowanie trzech rodzajów modułów: typu 1 o mocy 267 Wp, typu 2 o mocy 89 Wp oraz typu 3 o mocy 178 Wp. Do tej pory zainstalowano 25 modułów typu 1 na południowej elewacji (ścianie frontowej – fot. 7) o następującej charakterystyce: liczba ogniw – 64, typ ogniw: multikrystaliczne o wymiarach 6×6 ", wymiary modułu: 150×150 cm.

Przewidywana łączna końcowa moc ogniw fotowoltaicznych wyniesie 18,2 kW.

Uzyskana w ten sposób energia elektryczna jest wykorzystywana głównie do celów własnych (do oświetlenia pomieszczeń zaplecza i punktów sanitarnych w hali).



Fot. 7. Zainstalowane moduły ogniw fotowoltaicznych na południowej części przeszklenia Hali Widowiskowo-Sportowej (fot. L. Malara)

Photo 7. Installed photovoltaic cells modules on the south side of the Show and Sport Hall glass wall (photo. L. Malara)

12. WYBÓR WARIANTU PRZEDSIĘWZIĘĆ TERMOMODERNIZACYJNYCH

Obliczenia ekonomiczne

Zdyskontowaną wartość netto inwestycji *NPV* obliczono ze wzoru

$$NPV = \sum_{t=1}^{15} \frac{1}{(1+i)^t} \cdot \Delta O_{\text{rco}} - N_{\text{co}}, \text{ z}\text{ł}$$

gdzie:

- i – stopa dyskonta określana corocznie przez ministra finansów;
- ΔO_{rco} – roczna oszczędność kosztów energii, wynikająca z termomodernizacji wykonanej w celu poprawy sprawności systemu ogrzewania, zł/rok;
- N_{co} – planowane koszty robót, zł.

Wartość rocznej oszczędności kosztów energii ΔO_{rco} obliczono za pomocą wzoru

$$\Delta O_{\text{rco}} = (w_{t0} w_{d0} Q_{0\text{co}}/\eta_0 - w_{t1} w_{d1} Q_{0\text{co}}/\eta_1) O_z + 12 O_m (q_0 - q_1), \text{ z}\text{ł/rok}$$

gdzie:

- $Q_{0\text{co}}$ – sezonowe zapotrzebowanie budynku na ciepło przed termomodernizacją, określone zgodnie z Polską Normą dotyczącą obliczania sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych, GJ/rok;
- η_0, η_1 – całkowita sprawność systemu ogrzewania przed i po modernizacji;
- w_{t0}, w_{t1} – współczynniki z uwzględnieniem przerwy w ogrzewaniu w okresie tygodnia;
- w_{d0}, w_{d1} – współczynniki z uwzględnieniem przerwy w ogrzewaniu w okresie doby;
- q_0, q_1 – zapotrzebowanie budynku na moc cieplną przed i po zastosowaniu termomodernizacji poprawiającej sprawność całkowitą systemu ogrzewania budynku, określone zgodnie z Polską Normą, dotyczącą obliczania zapotrzebowania na ciepło lub projektu technicznego instalacji ogrzewania, MW.

Optymalny wariant termomodernizacji w celu poprawy sprawności cieplnej systemu grzewczego jest to wariant, dla którego zdyskontowana wartość netto inwestycji NPV przyjmuje wartość maksymalną.

Przy wyborze wariantu termomodernizacji dla inwestora brano pod uwagę wielkość maksymalnych oszczędności uzyskanych w wyniku wykonania jak największej liczby usprawnień.

13. OPIS TECHNICZNY ROBÓT OPTIMALNEGO WARIANTU PRZEDSIĘWZIĘCIA TERMOMODERNIZACYJNEGO PRZEWIDZIANEGO DO REALIZACJI

W ramach wskazanego przedsięwzięcia termomodernizacyjnego wykonano następujące prace (tab. 7):

1. Ocieplenie stropu podwieszanego nad halą widowiskową od wewnątrz 16 cm warstwa z materiału izolacyjnego w postaci styropianu o współczynniku $\lambda = 0,035$ W/m·K w postaci płyt układanych na przestrzeni stropu podwieszanego odpowiednio izolowanych.

2. Eliminacja powierzchni okien pojedynczo szklonych w ramach stalowych, $k = 5,60$ w obiekcie przez wybudowanie starych okien, a następnie zamurowanie części powierzchni okien bloczkami z PGS ($\lambda = 0,390 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) na zaprawie cementowo-wapiennej ($\lambda = 0,790 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) oraz otynkowaniu powstałej ściany od wewnątrz tynkiem grubości 1,0 cm ($\lambda = 0,820 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) cementowo-wapiennym. Część zamurowaną ociepla się od zewnątrz 17 cm warstwą styropianu o współczynniku $\lambda = 0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ układanym szczelnie metodą bezspoinową.
3. Eliminacja powierzchni okien podwójnie szklonych w ramach stalowych w obiekcie przez wybudowanie starych okien, a następnie zamurowanie części powierzchni okien bloczkami z PGS ($\lambda = 0,390 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) na zaprawie cementowo-wapiennej ($\lambda = 0,790 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) oraz otynkowaniu powstałej ściany od wewnątrz tynkiem grubości 1,0 cm ($\lambda = 0,820 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) cementowo-wapiennym. Część zamurowaną ociepla się od zewnątrz 13 cm styropianem $\lambda = 0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ układanym szczelnie metodą bezspoinową.
4. Ocieplenie podłogi na gruncie, strefa I, przez położenie warstwy izolacyjnej grubości 10 cm w postaci styropianu o współczynniku $\lambda = 0,034 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.
5. Ocieplenie ścian zewnętrznych o grubości 0,24 m obiektu hali warstwą 17 cm styropianu $\lambda = 0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ w postaci płyt układanych szczelnie metodą bezspoinową.
6. Ocieplenie ścian zewnętrznych ponad gruntem piwnic ogrzewanych 17 cm warstwą izolacyjną styropianu o współczynniku $\lambda = 0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ w postaci płyt układanych szczelnie metodą bezspoinową.
7. Ocieplenie stropodachu nad zapleczem hali widowiskowej od zewnątrz 15 cm warstwą z materiału izolacyjnego w postaci styropianu o współczynniku $\lambda = 0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ w postaci płyt układanych na przestrzeni stropodachu, a następnie izolowanego podwójną warstwą papy termozgrzewalnej.
8. Ocieplenie ścian zewnętrznych grubości 0,25 m obiektu hali warstwą 17 cm styropianu $\lambda = 0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ w postaci płyt układanych szczelnie metodą bezspoinową.
9. Ocieplenie ścian piwnic ogrzewanych przy gruncie 11 cm warstwą materiału izolacyjnego o współczynniku $\lambda = 0,036 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ w postaci płyt układanych szczelnie.
10. Modernizacja systemu wentylacyjnego w hali przez wprowadzenie nowoczesnych central wentylacyjnych nawiewno-wywiewnych o wysokiej sprawności z wymiennikami ciepła, zaopatrzone w kompletny układ automatyki utrzymujący zadane parametry i płynną zmianą przepływu powietrza.
11. Wymiana starych okien w ramach stalowych pojedynczo szklonych o współczynniku $k = 5,60$ w obiekcie na okna nowe o współczynniku $k = 1,10$.
12. Ocieplenie ścian zewnętrznych grubości 0,38 m (parter, piętro) obiektu hali 17 cm warstwą styropianu $\lambda = 0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ w postaci płyt układanych szczelnie metodą bezspoinową.
13. Ocieplenie podłogi na gruncie, strefa II, przez położenie warstwy izolacyjnej grubości 10 cm w postaci styropianu o współczynniku $\lambda = 0,034 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.
14. Wymiana drzwi wyjściowych w ramach aluminiowych pojedynczo szklonych o współczynniku $k = 5,10$ na drzwi nowe o współczynniku $k = 1,10$.

15. Wymiana starych okien w ramach stalowych podwójnie szklonych o współczynniku $k = 4,00$ w obiekcie na okna nowe o współczynniku $k = 1,10$.
16. Wymiana drzwi wejściowych do obiektu stalowych pełnych o współczynniku $k = 5,60$ na drzwi nowe o współczynniku $k = 1,10$.

Tabela 7. Zestawienie optymalnych usprawnień i kosztów robót w kolejności wzrastającej wartości SPBT (prosty okres zwrotu nakładów)

Rodzaj i zakres usprawnienia termomodernizacyjnego	Planowane koszty robót (zł netto)	SPBT (lata)
Ocieplenie stropu podwieszanego nad halą widowiskową	69 874	2,732
Likwidacja okien pojedynczo szklonych w ramach stalowych, $k = 5,60$	7739	2,799
Likwidacja okien podwójnie szklonych w ramach stalowych, $k = 4,00$	4813	3,979
Ocieplenie podłogi na gruncie, strefa I	6162	6,943
Ocieplenie ściany zewnętrznej 0,24 m	23 966	7,703
Ocieplenie ścian zewnętrznych ponad gruntem piwnic ogrzewanych	5674	8,846
Ocieplenie stropodachu nad zapleczem hali	40 038	10,269
Ocieplenie ściany zewnętrznej 0,25 m – parter, piętro	6558	11,241
Ocieplenie ścian piwnic ogrzewanych przy gruncie	5049	11,842
Modernizacja systemu wentylacyjnego w hali	90 1696	12,243
Wymiana okien w ramach stalowych pojedynczo szklonych, $k = 5,60$	39 8102	13,770
Ocieplenie ścian zewnętrznych 0,38 m – parter, piętro	63 533	13,832
Ocieplenie podłóg na gruncie, strefa II	15 911	14,072
Wymiana drzwi wejściowych w ramach aluminiowych pojedynczo szklonych, $k = 5,10$	21 324	15,193
Wymiana okien w ramach stalowych podwójnie szklonych, $k = 4,00$	20 955	15,406
Wymiana drzwi zewnętrznych stalowych pełnych	4941	18,550
Modernizacja węzła ciepłego i instalacji c.o.	38 3125	5,158
Działania energooszczędne w inwestycji (ocieplenie ścian zewnętrznych, stropodachu i stropów oraz podłóg na gruncie, likwidacja okien, wymiana drzwi i okien, modernizacja wentylacji, modernizacja węzła ciepłego i wymiana instalacji c.o.)	Koszt obejmuje tylko działania energooszczędne: 1 979 460 zł (netto)	SPBT: 8,963

Modernizacja węzła ciepłego, instalacji c.o. oraz systemu wentylacji

- Modernizacja węzła ciepłego obejmująca: budowę nowych naczyń wzbiorczych przeponowych, nowych pomp obiegowych, magnetoodmulaczy i sprzęgieł hydraulicznych oraz budowę automatyki pogodowej w węźle.
- Modernizacja instalacji c.o. obejmująca: kompleksową wymianę instalacji starej na nową, hermetyzację instalacji i odpowietrzanie, wymianę starych grzejników na nowe konwekcyjne, budowę zaworów termostatycznych na grzejnikach oraz regulację hydrauliczną. Wprowadzono ośmiogodzinną przerwę w ogrzewaniu w godzinach nocnych w ciągu doby.
- Modernizacja systemu wentylacji obejmująca: wprowadzenie central wentylacyjnych z wentylacją mechaniczną (nawiewno-wywiewną) wraz z urządzeniami odzyskującymi ciepło ze zużytego powietrza wentylacyjnego (rekuperatorami).

14. ANALIZA EKONOMICZNA I ENERGETYCZNA EFEKTÓW TERMOMODERNIZACJI

Analizę ekonomiczną i energetyczną efektów termomodernizacji Hali Widowiskowo-Sportowej przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Analiza ekonomiczna przed i po termomodernizacji

Zestawienie zbiorcze	Stan przed termomodernizacją	Stan po termomodernizacji
Zapotrzebowanie na moc, kW	756,93	234,51
Zapotrzebowanie na energię netto, GJ/a	7163,54	2922,06
Zapotrzebowanie na energię brutto, GJ/a	10 758,49 ^{*)}	3145,27 ^{*)}
Cena jednostkowa energii, zł/GJ	31,49	31,49
Oplata stała za ogrzewanie, zł/MW/m-c	7250,56	7250,56
Roczny całkowity koszt eksploatacji, zł/a	338 784,85	99 044,55
Roczna oszczędność kosztów eksploatacji, zł/a	239 640,30	
Nakłady inwestycyjne, zł	2 857 124,00 ^{**)}	
Prosty czas zwrotu (SPBT), lata	11,92	

^{*)} Z uwzględnieniem przewidywanego rzeczywistego zapotrzebowania na energię ciepłą dla wentylacji mechanicznej przed i po termomodernizacji.

^{**)} Nakłady inwestycyjne dotyczą tylko działań energooszczędnych.

15. FINANSOWANIE KOMPLEKSOWEJ TERMOMODERNIZACJI

W czasie termomodernizacji hali inwestor korzystał z następujących środków finansowania:

- własnych,
- Powiatowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej,
- Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej,
- Funduszu Rozwoju Kultury Fizycznej (Totalizator Sportowy) – dotacja.



Fot. 8. Hala Widowiskowo-Sportowa po całkowitej termomodernizacji – elewacja południowo-wschodnia (fot. L. Malara)

Photo. 8. Show and Sport Hall after thermomodernization improvements realization – South-East elevation (photo. L. Malara)



Fot. 9. Hala Widowiskowo-Sportowa po całkowitej termomodernizacji – elewacja południowa (fot. L. Malara)

Photo. 9. Show and Sport Hall after thermomodernization improvements realization – South elevation (photo. L. Malara)

16. PODSUMOWANIE

Podstawowym celem kompleksowej termomodernizacji Hali Widowiskowo-Sportowej było uzyskanie nowoczesnego, funkcjonalnego i energooszczędnego obiektu, którego końcowym rezultatem będą bardzo niskie koszty eksploatacyjne.

Przy opracowywaniu audytu wykorzystano z wytycznych i wskaźników dotyczących wykonywania inwestycji wysoko energooszczędnych (w tym energooszczędnych hal sportowych) oraz wykonywania pasywnych budynków użyteczności publicznej opracowanych w: Narodowej Agencji Poszanowania Energii SA, Instytucie Techniki Budowlanej oraz Instytucie Budynków Pasywnych w Warszawie. Termomodernizacja hali była zgodna z dokumentami: strategicznymi krajowymi, regionalnymi i lokalnymi, a przede wszystkim z:

- Narodowym Planem Rozwoju 2004–2006,
- Strategią Rozwoju Województwa Śląskiego do 2010 roku,
- Strategią Rozwoju Miasta Siemianowice Śląskie.

Ponadto, inwestycja jest zgodna z celami krajowej strategii rozwoju sportu i programu wojewódzkiego, a mianowicie z:

- Strategią Rozwoju Sportu w Polsce do 2012 roku,
- Programem Rozwoju Kultury i Sportu Województwa Śląskiego do 2010 roku.

Termomodernizacja doprowadziła do zmniejszenia zapotrzebowania na energię cieplną, a w efekcie do zmniejszenia ilości paliwa stałego dla ciepłowni do jej produkcji, co w konsekwencji spowodowało zmniejszenie emisji zanieczyszczeń w skali miasta.

W wyniku termomodernizacji przewiduje się osiągnięcie oszczędności energii cieplnej 70–75%.

Podstawą do realizacji tych kompleksowych przedsięwzięć termomodernizacyjnych, oprócz własnych środków finansowych, powinny być środki uzyskane w wyniku współpracy z Wojewódzkim Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach (dotacje i pożyczki).

Modernizowana hala spełnia wszystkie europejskie wytyczne prawa budowlanego. Między innymi wymagania dotyczące warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki użytku publicznego i ich usytuowanie (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12.04.2002 r.), w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 16.06.2003 r.), w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych (Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 16.06.2003 r.), wytyczne oceny odporności ogniowej elementów konstrukcji budowlanych Instytutu Techniki Budowlanej w Warszawie nr 221 (1979).

Literatura

1. Malara L. (2005): Prace badawczo-usługowe dotyczące kompleksowej termomodernizacji, modernizacji źródła ciepła oraz usprawnień systemu grzewczego w obiekcie Hali Widowiskowo-Sportowej w Siemianowicach Śląskich. Katowice, GIG (2006 r. – aktualizacja).
2. Malara L. (2006): Prace badawczo-usługowe dotyczące badań termowizyjnych obiektu Hali Widowiskowo-Sportowej w Siemianowicach Śląskich przed i po kompleksowej termomodernizacji obiektu. Katowice, GIG (2009 r. – aktualizacja).
3. PN-B-02025 Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych.
4. PN-91/B-02020 Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia.
5. PN-82/B-02402 Temperatury ogrzewanych pomieszczeń w budynkach.
6. PN-82/B-02403 Temperatury obliczeniowe zewnętrzne.
7. PN-83/B-03406 Obliczenie zapotrzebowania ciepła pomieszczeń o kubaturze do 600 m³.
8. PN-83/B-03430 Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej.
9. PN-78/B-10440 Wentylacja mechaniczna. Urządzenia wentylacyjne.
10. PN-B-76001:1999 Wentylacja. Przewody wentylacyjne. Szczelność.
11. PN-EN ISO 6946 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła.
12. Ustawa z dnia 18 grudnia 1998 r. dotycząca wspierania przedsięwzięć termomodernizacyjnych.
13. Rozporządzenia wykonawcze do Ustawy z dnia 18 grudnia 1998 r.
14. Nowelizacja Ustawy o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych z dnia 21 czerwca 2001 r.
15. Rozporządzenie MSWiA w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu Rozporządzenia Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. nr 15, poz. 140).
16. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. nr 75).

17. Rozporządzenie MSWiA w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego oraz algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, a także wzorów kart audytu energetycznego (DZ. U. nr 46, poz. 459).
18. Rozporządzenie MSWiA z dnia 22.09.1999 r. zmieniające Rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego oraz algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego (Dz. U. 79, poz. 900 z dnia 1.10.1999 r.).
19. Rozporządzenie z dnia 15 stycznia 2002 r. Ministra Infrastruktury w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego (Dz. U. nr 12/02, poz. 114).
20. Ocena cech energetycznych budynków. Biblioteka Fundacji Poszanowania Energii, Warszawa 2005.
21. Podstawy budownictwa pasywnego. Praca zbiorowa. Gdańsk, Polski Instytut Budownictwa Pasywnego 2006.
22. Wytyczne i wskaźniki dotyczące wykonywania inwestycji energooszczędnych (w tym energooszczędnych hal sportowych) oraz wykonywania pasywnych budynków użyteczności publicznej (Narodowa Agencja Poszanowania Energii SA, Instytut Techniki Budowlanej i Instytut Budynków Pasywnych – Warszawa).

Recenzent: dr inż. Bronisław Kajewski