

EFEKTY ENERGETYCZNE, EKONOMICZNE I EKOLOGICZNE TERMOMODERNIZACJI BUDYNKU HOTELOWEGO W BIAŁYMSTOKU

Joanna PIOTROWSKA-WORONIAK*, Grzegorz WORONIAK

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-531 Białystok

Streszczenie: W hotelu wybudowanym w latach 1973-1975, charakteryzującym się wysokim wskaźnikiem rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania wynoszącym 342,84 kWh/m²rok, przeprowadzono kompleksową termomodernizację bryły budynku, modernizację instalacji c.o. i c.w.u. oraz źródła ciepła. Określono roczne efekty energetyczne, ekonomiczne i ekologiczne, jakie można uzyskać w wyniku tych usprawnień. Przedstawiono zakres przeprowadzenia prac termomodernizacyjnych budynku i zaproponowane rozwiązanie technologiczne modernizacji starej kotłowni olejowej wykorzystującej energię odnawialną do wspomagania podgrzewu ciepłej wody użytkowej.

Słowa kluczowe: kolektory słoneczne, termomodernizacja, energia cieplna, emisja zanieczyszczeń.

1. Wprowadzenie

Budynki wznoszone w latach 1967-1976 charakteryzowały się wysokim wskaźnikiem rocznego zapotrzebowania na energię cieplną. Przeciętne sezonowe zużycie energii na ogrzanie 1m² powierzchni wynosiło 240-280 kWh/m²rok. W tamtym okresie wymagany współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych wynosił 1,16 W/m²K.

Bez przeprowadzenia termomodernizacji, takie budynki są bardzo energochłonne i drogie w eksploatacji. Dlatego, jak najszybciej powinniśmy podjąć działania zmierzające do racjonalizacji i oszczędności energii, gdyż tania energia w postaci surowców naturalnych należy już do przeszłości.

Można zauważyć natomiast, że rosnące koszty pozyskiwania energii zaczynają coraz silniej oddziaływać na wybór technologii i opłacalności inwestycji. Wymogi ochrony środowiska oraz wzrost cen energii konwencjonalnej skłaniają potencjalnych inwestorów do stosowania odnawialnych źródeł energii. Coraz bardziej oczywiste staje się korzystanie ze źródeł czystej energii, jaką jest energia promieniowania słonecznego, wiatru, wód, czy energia geotermiczna (Zawadzki, 2003; Dąbrowski, 2009).

W budynkach poddawanych termomodernizacji, aby ograniczyć koszty ogrzewania i podgrzewu ciepłej wody użytkowej należy zmniejszyć ilość zużywanej energii cieplnej. Wiąże się to jednak z wprowadzeniem zmian

w systemie ogrzewania i instalacji c.w.u., jak również poprawą izolacyjności termicznej przegród.

W artykule przedstawiono sposób przeprowadzenia kompleksowej termomodernizacji budynku hotelowego i wynikające z tego efekty energetyczne, ekologiczne i ekonomiczne.

2. Efekty ekologiczne przedsięwzięć termomodernizacyjnych

Aby wyznaczyć efekty ekologiczne w budynku należy określić wielkość emisji zanieczyszczeń przed i po modernizacji.

Wielkości rocznych emisji zanieczyszczeń można obliczyć korzystając ze wskaźników emisji zanieczyszczeń zamieszczonych w Materiałach Informacyjno-Instruktażowych Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa (1996), w których to dla różnych rodzajów paliw kopalnych zdefiniowano standardowe rodzaje palenisk, a następnie paleniskom przyporządkowano wskaźniki emisji zanieczyszczeń. Wyniki obliczeń są podstawą do naliczania opłat i kar za korzystanie ze środowiska.

Efekty ekologiczne, jakie można uzyskać w wyniku przeprowadzonej termomodernizacji budynku wyznaczono jako różnicę wielkości emisji substancji zanieczyszczających wprowadzanych do powietrza przy energetycznym spalaniu oleju opałowego przed i po termomodernizacji. Określono je z zależności:

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: j.piotrowska@pb.edu.pl

$$\Delta E = E_0 - E_1 \text{ [Mg/rok]} \quad (1)$$

gdzie: E_0 są to roczne emisje substancji zanieczyszczających powstające w wyniku spalania oleju opałowego przed termomodernizacją w Mg/rok, a E_1 roczną emisją substancji zanieczyszczających powstające w wyniku spalania oleju opałowego po termomodernizacji w Mg/rok.

3. Efekty energetyczne przedsięwzięć termomodernizacyjnych

Efekty energetyczne, jakie można uzyskać w wyniku przeprowadzonej termomodernizacji budynku w artykule wyznaczono jako różnicę zapotrzebowania na moc cieplną na cele c.o. i c.w.u. oraz zapotrzebowania na energię cieplną na cele c.o. i c.w.u., przed i po termomodernizacji. Określono je z następujących dwóch zależności:

– zmniejszenie obliczeniowego zapotrzebowania na moc cieplną:

$$\Delta q = q_0 - q_1 \text{ [kW/rok]} \quad (2)$$

gdzie: q_0 jest zapotrzebowaniem na moc cieplną (c.o., c.w.u.) przed wykonaniem usprawnienia termomodernizacyjnego w kW/rok, a q_1 zapotrzebowaniem na moc cieplną (c.o., c.w.u.) po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego w kW/rok,

– zmniejszenie obliczeniowego zapotrzebowania na energię cieplną:

$$\Delta Q = Q_0 - Q_1 \text{ [GJ/rok]} \quad (3)$$

gdzie: Q_0 jest zapotrzebowaniem na energię cieplną na cele grzewcze i cele ciepłej wody użytkowej przed wykonaniem usprawnienia termomodernizacyjnego w GJ/rok, a Q_1 zapotrzebowaniem na energię cieplną na cele grzewcze i uzyskanie ciepłej wody użytkowej po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego w GJ/rok.

Zmniejszenie obliczeniowego zapotrzebowania na energię cieplną przez poszczególne przegrody budowlane: ściany zewnętrzne, stropodachy, okna i drzwi zewnętrzne obliczono zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. (Dz. U. nr 223 z 2009 r., poz. 1459).

4. Efekty ekonomiczne przedsięwzięć termomodernizacyjnych

Oceny efektywności ekonomicznej rozpatrywanych wariantów dokonano w oparciu o prosty okres zwrotu nakładów inwestycyjnych, które określono z zależności:

$$SPBT = \frac{N}{\Delta K} \text{ [lata]} \quad (4)$$

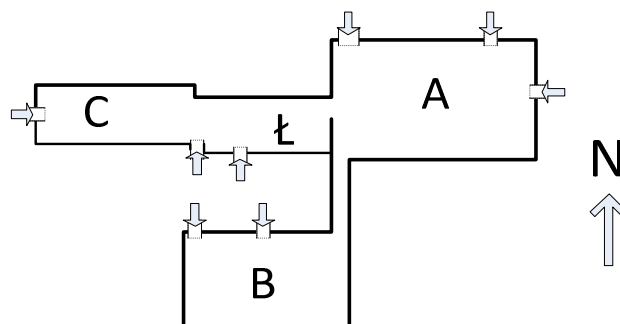
gdzie: N są to wymagane nakłady inwestycyjne w zł, a ΔK są oszacowanymi oszczędnościami eksploatacyjnymi w zł/rok.

5. Ogólna charakterystyka budynku

5.1. Opis techniczny budynku

Hotel został wybudowany w latach 1973-1975. Zlokalizowany jest w Białymstoku. Znajduje się w nim 50 pokoi, z których każdy wyposażony jest w łazienkę z natryskiem i umywalką. Łączna ilość osób mogących wypoczywać w hotelu wynosi 80. Ponadto do dyspozycji odwiedzających jest restauracja, kawiarnia, bar nocny z dyskoteką oraz sala konferencyjna na 90 osób.

Hotel składa się z trzech połączonych budynków oznaczonych, na rysunku 1 jako „A”, „B” i „C” połączonych łącznikiem „Ł”. Część „A” wykonana jest w technologii tradycyjnej. Jest to część podpiwniczona, parterowa. Części „B” i „C” wykonane są z elementów wielkopłytowych systemu OWT/67. Część „B” posiada trzy kondygnacje nadziemne, część „C” dwie, obie części są podpiwniczone i połączone parterowym łącznikiem.



Rys. 1. Widok budynków hotelowych części A, B i C

W tabeli 1 zestawione zostały wyliczone wartości współczynników przenikania ciepła U [W/m^2K] przegród budowlanych w hotelu zgodnie z normą PN-EN ISO 6946:2008 *Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczeń przed modernizacją*.

Tab. 1. Zestawienie wartości obliczonych współczynników przenikania ciepła U_0 [W/m^2K] przegród budowlanych stan przed termomodernizacją

Rodzaj przegrody zewnętrznej	U_0 [W/m^2K]
ściany piwnic	0,45-3,18
ściany kondygnacji nadziemnych	0,69-1,13
stropodachy wentylowane „A”, „B”	0,64
stropodach pełny „C”	0,51
strop nad piwnicą	1,18
okna	3,00
drzwi	5,10

Współczynniki przenikania ciepła większości przegród w znacznym stopniu przekraczają aktualnie wymagane wartości. W celu zmniejszenia energochłonności budynku na cele grzewcze i wentylacyjne należy zdecydowanie poprawić stan izolacyjności termicznej poszczególnych przegród budowlanych. Wskazana jest wymiana starych okien w budynku na okna o niskim współczynniku U (nie większym niż 1,7) oraz wskazana jest wymiana starych drzwi zewnętrznych na nowe drzwi szczelne, o niskim współczynniku U .

5.2. Dane budynku i jego charakterystyka energetyczna

W tabeli 2 przedstawiono ogólną charakterystykę techniczną budynku.

Koszt produkcji 1 GJ energii cieplnej wytwarzanej w kotłowni olejowej wynosi 86,72 zł/GJ. Roczne koszty eksploatacji budynku wynoszą 321 593 zł brutto.

6. Ocena stanu technicznego instalacji c.o. i c.w.u. oraz źródła ciepła

Instalacja centralnego ogrzewania w budynku hotelu jest instalacją wodną, dwururową, pompową z rozdzielaczem dolnym. Rurociągi, grzejniki oraz izolacja cieplna przewodów są w złym stanie technicznym. Ze względu

na bardzo zły stan techniczny instalacji c.o. zaleca się jej wymianę.

Zanieczyszczenie grzejników spowodowało spadek ich wydajności cieplnej. Istniejące zawory grzejnikowe nie dają możliwości jakiegokolwiek regulacji. Przewody i zawory przygrzejnikowe często przeciekają. Instalacja c.o. charakteryzuje się dużą bezwładnością cieplną. Odpowietrzanie instalacji c.o. odbywa się poprzez centralną sieć odpowietrzającą.

Instalacja c.w.u. jest również w złym stanie technicznym, brak jest izolacji cieplnej przewodów cyrkulacyjnych.

W kotłowni zamontowane są trzy niskotemperaturowe, olejowe kotły Ferroli (rok produkcji 1986) o łącznej mocy cieplnej około 300kW, które są w złym stanie technicznym. Pozostałe urządzenia technologiczne w kotłowni są wyeksploatowane. Zabezpieczenie instalacji c.o. przed przyrostem objętości czynnika grzewczego stanowi naczynie przeponowe zamknięte. Istniejącą instalację centralnego ogrzewania można scharakteryzować współczynnikami sprawności przedstawionymi w tabeli 3.

Ciepła woda użytkowa przygotowywana jest w kotłowni olejowej w dwóch podgrzewaczach pojemnościowych o pojemności 4 000dm³. Sprawność istniejącego systemu c.w.u. można scharakteryzować współczynnikami sprawności przedstawionymi w tabeli 4.

Tab. 2. Ogólna charakterystyka techniczna budynku hotelu

Technologia budynku	Rok budowy	Kubatura [m ³]	Pow. użytkowa [m ²]	Zużycie ciepła Q_0 [GJ]			Zapotrzebowanie na moc cieplną q_0 [kW] na cele:	
				c.o. *)	c.o.**)	c.w.u.	c.o.	c.w.u.
część „A” tradycyjna; część B i C – OWT 67	1973-75	10 282	3 476	1 949,8	3 542,51	769,55	264,53	39,15

*) Obliczeniowe zużycie ciepła na cele c.o. w standardowym sezonie grzewczym bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego

**) Obliczeniowe zużycie ciepła na cele c.o. w standardowym sezonie grzewczym z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego

Tab. 3. Sprawności systemu grzewczego przed termomodernizacją

Wyszczególnienie współczynnika	Wartość
Wytwarzania ciepła (kotły olejowe z automatyką ulegającą awariom)	$\eta_{g0} = 0,86$
Przesyłania ciepła (instalacja c.o. z przewodami w złym stanie technicznym, z zanieczyszczeniami technologicznymi)	$\eta_{d0} = 0,80$
Regulacji i wykorzystania systemu grzewczego (instalacja c.o. z przewodami w złym stanie technicznym, z zanieczyszczeniami technologicznymi)	$\eta_{e0} = 0,80$
Akumulacji ciepła (brak zbiornika buforowego)	$\eta_{s0} = 1,00$
Uwzględnienie przerw w ogrzewaniu w okresie tygodnia	$w_{t0} = 1,00$
Uwzględnienie przerw w ogrzewaniu w okresie doby	$w_{d0} = 1,00$
Sprawność całkowita systemu grzewczego	$\eta_0 = \eta_g \cdot \eta_d \cdot \eta_e \cdot \eta_s = 0,5504$

Tab. 4. Sprawności instalacji ciepłej wody użytkowej przed termomodernizacją

Wyszczególnienie współczynnika	Wartość
Sprawność wytworzenia nośnika ciepła (kocioł olejowy z automatyką ulegającą awariom)	$\eta_{w,g0} = 0,86$
Sprawność transportu (dystrybucji) ciepłej wody – (instalacja średnia c.w.u. od 30-100 punktów poboru wody)	$\eta_{w,d0} = 0,65$
Sprawność akumulacji ciepłej wody (zasobnik w systemie według standardu z lat 1995-2000)	$\eta_{w,s0} = 0,72$
Sprawność wykorzystania	$\eta_{w,e0} = 1,00$
Sprawność całkowita	$\eta_{w,tot0} = \eta_{w,g0} \cdot \eta_{w,d0} \cdot \eta_{w,s0} \cdot \eta_{w,e0} = 0,4025$

7. Zakres modernizacji instalacji centralnego ogrzewania, źródła ciepła, sposobu przygotowywania ciepłej wody użytkowej i bryły budynku

7.1. Modernizacja instalacji centralnego ogrzewania

W hotelu w ramach modernizacji systemu grzewczego wymieniono starą instalację c.o. na nową dwururową, pompową (materiał: stal węglowa niestopowa ocynkowana zewnętrznie), wyposażono ją w nowe grzejniki stalowe płytowe z zaworami termostatycznymi z ustaloną nastawą wstępną. Usunięto centralną sieć odpowietrzającą i zamontowano automatyczne odpowietrzniki na końcach pionów instalacyjnych. Pod pionami c.o. zamontowano ręczne zawory równoważące, gdyż istniejące zawory odcinające nie dawały żadnej możliwości odcięcia pionu c.o. oraz były w bardzo złym stanie technicznym. Zastosowanie takich zaworów umożliwi utrzymanie wartości wybranych parametrów czynnika grzewczego w zadanych granicach w całym okresie eksploatacji systemu grzewczego i umożliwi wyeliminowanie ewentualnych zakłóceń spowodowanych działaniem termoregulatorów. Na głównych odgałęzieniach systemu instalacji c.o. zalecono montaż automatycznych zaworów równoważących. Instalacja c.o. została zaizolowana cieplnie pianką poliuretanową o grubości zgodnej z Warunkami Technicznymi.

Koszt modernizacji instalacji c.o. wyniósł około 370 621 zł brutto.

7.2. Modernizacja źródła ciepła

W hotelu modernizacja źródła ciepła obejmowała wymianę wyeksploatowanej i awaryjnej kotłowni olejowej. Przewymiarowane kotły zastąpiono nowymi, dostosowanymi do projektowego obciążenia cieplnego budynku kotłami olejowymi o wyższej sprawności eksploatacyjnej. Kotły współpracują z kolektorami słonecznymi w układzie biwalentnym i realizują priorytetowy podgrzew c.w.u..

Koszt modernizacji kotłowni olejowej wyniesie około 250 120 zł brutto.

Łączny koszt modernizacji instalacji c.o. i kotłowni olejowej z wykonaniem niezbędnych prac demontażowo – budowlanymi oraz wykonaniem niezbędnej dokumentacji technicznej wyniesie około 620 740 zł brutto.

Całkowita sprawność systemu grzewczego zmieni się z $\eta_0 = 0,5504$ na $\eta_1 = 0,8037$.

7.3. Modernizacja instalacji ciepłej wody użytkowej w hotelu

Proponowane jest usprawnienie dotyczące zmniejszenia kosztów przygotowania ciepłej wody użytkowej poprzez zmianę sposobu jej podgrzewu. Zakłada się wykorzystanie kolektorów słonecznych produkujących energię cieplną na potrzeby c.w.u. w okresie letnim. W pozostałym okresie podgrzew c.w.u. będzie wspomagany kotłem olejowym, który będzie również zabezpieczał potrzeby centralnego ogrzewania.

Ze względu na zły stan techniczny instalacji c.w.u. przewidziano wykonanie nowej instalacji.

Proponowany system grzewczy c.w.u. jest układem solarnym współpracującym z biwalentnym pojemnościowym podgrzewaczem c.w.u.. W okresie letnim całkowite zapotrzebowanie na c.w.u. pokrywane będzie przez układ dwudziestu jeden kolektorów płaskich o powierzchni absorbera $p = 2,53 \text{ m}^2$. W okresie zimowym oraz w przypadku, gdy kolektory nie będą w stanie pokryć zapotrzebowania na c.w.u., wspomagającym źródłem ciepła będzie kocioł olejowy, podgrzewający priorytetowo c.w.u., jak również zabezpieczający potrzeby cieplne centralnego ogrzewania.

W układzie przygotowania c.w.u. założono podgrzew wody w trzech zasobnikach o pojemności 1000 dm^3 każdy, pełniących jednocześnie funkcję bufora. Zasobniki ogrzewane są z baterii 21 kolektorów słonecznych połączonych ze sobą równolegle w cztery pakiety. Sposób montażu kolektorów i połączeń hydraulicznych pokazano na rysunku 2. Zasobniki te stanowią wstępny podgrzew c.w.u.. Jeśli temperatura c.w.u. nie osiągnie wymaganej temperatury to zostanie ona „dogrzana” w kolejnym czwartym szeregowo połączonym zasobniku o pojemności 1000 dm^3 „obsługiwanym” przez kocioł olejowy podgrzewający priorytetowo c.w.u. i zabezpieczający potrzeby cieplne instalacji centralnego ogrzewania. Aby nie dochodziło do nadmiernego wychłodzenia wody w zasobniku z kotłem olejowym, a zatem niepotrzebnego włączania się kotła, zainstalowano w układzie pompę przeładowującą wraz z automatycznym sterownikiem procesu przeładowania. Sterownik sprawdza różnicę temperatury pomiędzy zasobnikiem podgrzewanym za pomocą kolektorów słonecznych i zasobnikiem

dogrzewającym. Jeśli różnica temperatur jest zbyt duża (przekracza wartość ustawioną na regulatorze) to włącza się pompa, która przepompowuje wodę z zasobnika dogrzewającego do zasobników wstępnych. Taki układ gwarantuje minimalizację uruchomień kotła olejowego i oszczędność paliwa.

Schemat technologiczny zaproponowanego rozwiązania kotłowni olejowej współpracującej z kolektorami słonecznymi przedstawiono na rysunku 2.

Średnioroczna ilość energii uzyskana z kolektorów słonecznych, ustawionych pod kątem 45° , skierowanych na południe o łącznej powierzchni absorbera $53,13 \text{ m}^2$ ($21 \text{ sztuk} \times 2,53 \text{ m}^2$ absorbera każdy) wyniesie około $202,32 \text{ GJ/rok}$ (www.mi.gov.pl).

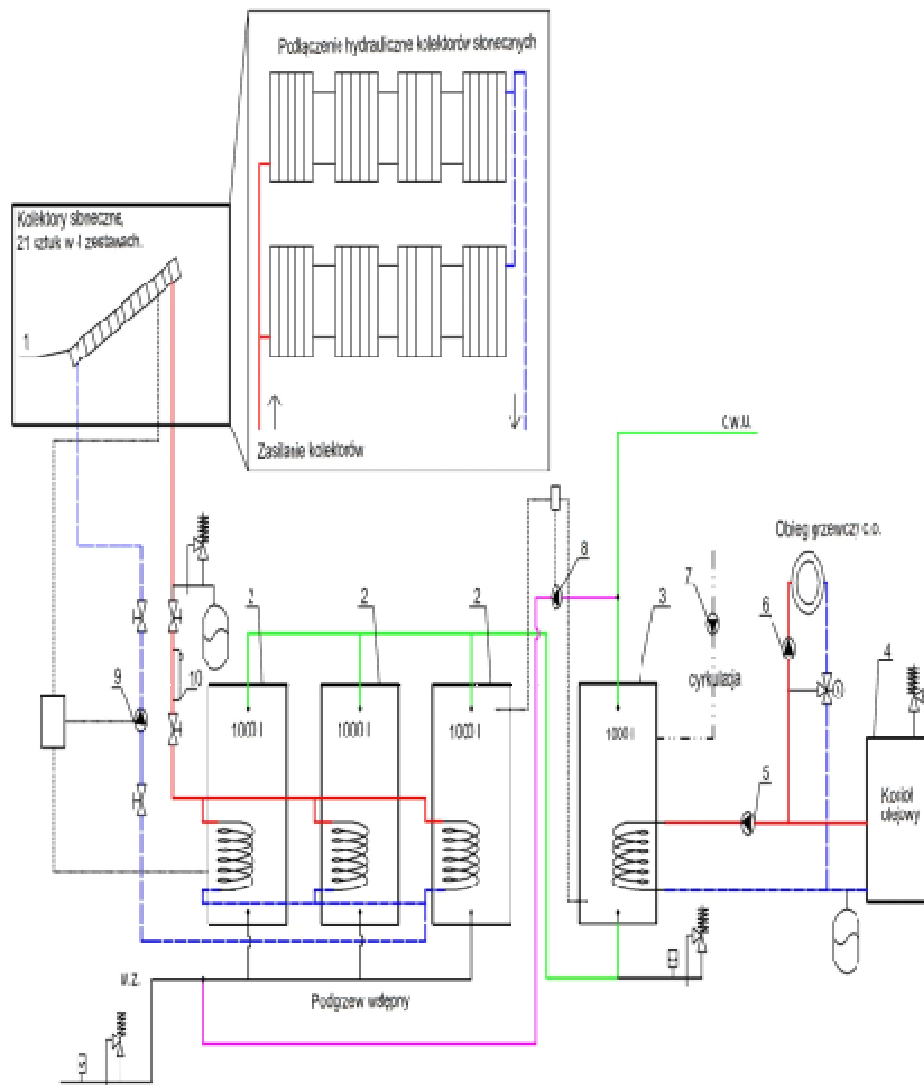
Całkowita sprawność systemu ciepłej wody użytkowej zmieniła się z $\eta_0 = 0,4025$ na $\eta_1 = 0,5741$. Na zmianę wpłynęła wymiana kotła olejowego, zaprojektowanie nowej instalacji c.w.u., zaizolowanej cieplnie i wymiana podgrzewacza c.w.u. na nowy.

Całkowite nakłady inwestycyjne zaprojektowanej instalacji c.w.u. wykorzystującej kolektory słoneczne do podgrzewu c.w.u. wynoszą około $217\,445 \text{ zł}$ brutto.

7.4. Usprawnienia termomodernizacyjne bryły budynku

Oceniając stan techniczny budynku (tab. 1) zaproponowano usprawnienia dotyczące zmniejszenia strat ciepła przez przegrody budowlane.

W tabeli 5 zestawiono rodzaje zaproponowanych usprawnień wraz z wyliczoną optymalną grubością warstwy izolacji termicznej oraz uzyskanym po dociepleniu współczynnikiem przenikania ciepła U_1 [$\text{W/m}^2\text{K}$], planowanym kosztem przeprowadzanych robót oraz prostym czasem zwrotu inwestycji (SPBT). Z usprawnień zestawionych w tabeli 5 wyznaczono warianty termomodernizacyjne.



Rys. 2. Schemat technologiczny zmodernizowanej kotłowni olejowej wspomagającej podgrzew c.w.u. za pomocą kolektorów słonecznych, oznaczenia: 1 – kolektory słoneczne, 2 – zasobnik c.w.u. o funkcji bufora, 3 – zasobnik c.w.u. dogrzewający, 4 – kocioł olejowy, 5 – pompa obiegu c.w.u., 6 – pompa obiegu c.o., 7 – pompa cyrkulacyjna, 8 – pompa przeładowująca, 9 – pompa obiegu solarnego, 10 – separator powietrza

Tab. 5. Usprawnienia termomodernizacyjne wraz z optymalną grubością warstwy izolacji termicznej (Audyt energetyczny budynku, 2012), planowanym kosztem robót i prostym zwrotem inwestycji SPBT

Rodzaj usprawnienia	Rodzaj izolacji termicznej	Optymalna grubość [cm]	$U_{1,2}$ [W/m ² K]	Planowany koszt robót [zł]	SPBT [lat]
Częściowe zamurowanie okien piwnic	–	–	0,18	10 157	6,16
Wymiana drzwi zewnętrznych przeszklonych	wymiana	–	1,70	8 290	6,19
Docieplenie stropodachów wentylowanych	granulat z wełny mineralnej skalnej lub szklanej, lub masa celulozowa np. „ekofiber”	16	0,21	112 174	7,02
Wymiana okien kondygnacji nadziemnych ze zmniejszeniem powierzchni	Wymiana/zamurowanie	–	1,70	266 159	7,18
Docieplenie stropodachu pełnego	twarde płyty dachowe ze styropianu lub wełny mineralnej	12	0,20	10 620	8,66
Docieplenie ścian zewnętrznych kondygnacji nadziemnych części „A”	styropian, metoda BSO	14	0,22	58 804	8,89
Docieplenie ścian zewnętrznych kondygnacji nadziemnych części „B” i „C”		16	0,18	144 788	12,17
Wymiana drzwi zewnętrznych drewnianych	wymiana	–	1,70	7 034	14,53
Wymiana drzwi zewnętrznych piwnic	wymiana	–	1,70	4 768	27,78
Docieplenie ścian zewnętrznych piwnic części „A”	styropian metoda BSO oraz styropian wodoodporny ekstrudowany lub TERMO-W dla ścian zagłębionych w gruncie	10	0,22	59 348	38,18
Docieplenie ścian zewnętrznych piwnic części „B” i „C”		14	0,22	78 590	80,51

8. Wyniki uzyskanych efektów ekologicznych, energetycznych i ekonomicznych po przeprowadzeniu termomodernizacji budynku hotelu i modernizacji źródła ciepła

8.1. Uzyskane efekty ekologiczne

W wyniku przeprowadzonej termomodernizacji budynku i modernizacji źródła ciepła, uzyskano zmniejszenie emisji zanieczyszczeń wprowadzanych do atmosfery podczas spalania oleju opałowego przed i po termomodernizacji. Uzyskane efekty ekologiczne wyliczono w oparciu o zależności oraz dane wskaźnikowe emisji zanieczyszczeń dla oleju opałowego zamieszczone w załączniku 3 Materiałów Informacyjno-Instruktażowych MOŚZNiL (1996).

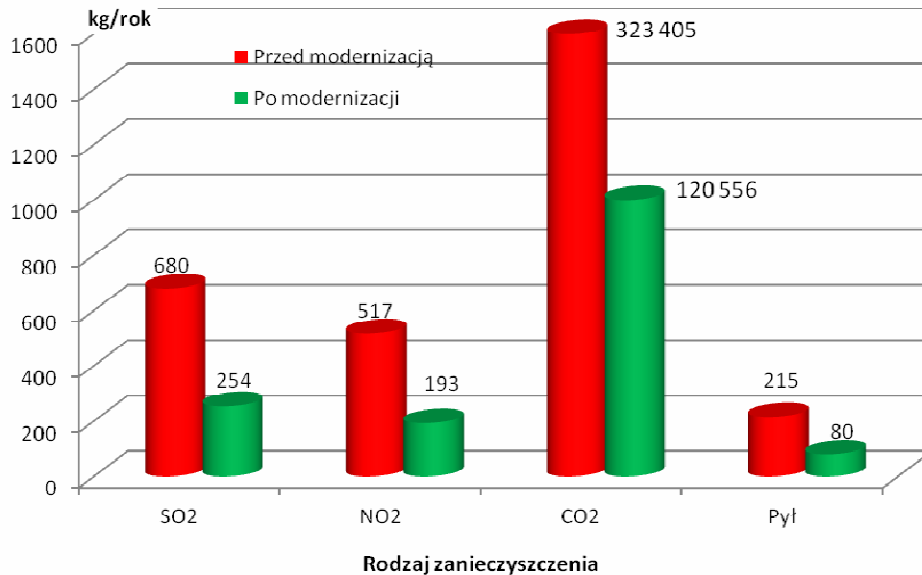
W tabeli 6 przedstawiono wyniki obliczeń emisji zanieczyszczeń przed i po termomodernizacji, przy

wartości opałowej paliwa 40,19 MJ/kg Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami (2012).

Porównanie wartości emisji poszczególnych zanieczyszczeń przed i po termomodernizacji w formie graficznej przedstawiono na rysunku 3.

Tab. 6. Efekty ekologiczne uzyskane w wyniku termomodernizacji budynku i modernizacji źródła ciepła

Wyszczególnienie zanieczyszczeń	Emisja zanieczyszczeń [kg/rok]		Redukcja zanieczyszczeń	
	Przed modernizacją	Po modernizacji	[kg/rok]	[%]
SO ₂	680	254	426	62,65
NO ₂	517	193	324	62,67
CO ₂	323 405	120 556	202 849	62,72
Pył	215	80	135	62,79



Rys. 3. Emisje poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń przed i po termomodernizacji budynku

8.2. Uzyskane efekty energetyczne

Po wykonaniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych bryły budynku zaleconych i przedstawionych w tabeli 5 oraz modernizacji instalacji centralnego ogrzewania i źródła ciepła sezonowe zapotrzebowanie na ciepło po termomodernizacji wyniesie około 1 310,67 GJ/rok, zaś obliczeniowe zapotrzebowanie na moc cieplną na cele grzewcze wyniesie około 163,90 kW.

Obliczeniowe zapotrzebowanie na moc cieplną na cele grzewcze po wykonaniu usprawnień termomodernizacyjnych w budynku zmniejszy się rocznie o 100,63 kW, a na zapotrzebowanie energię cieplną na cele grzewcze zmniejszy się rocznie o 2 231,84 GJ.

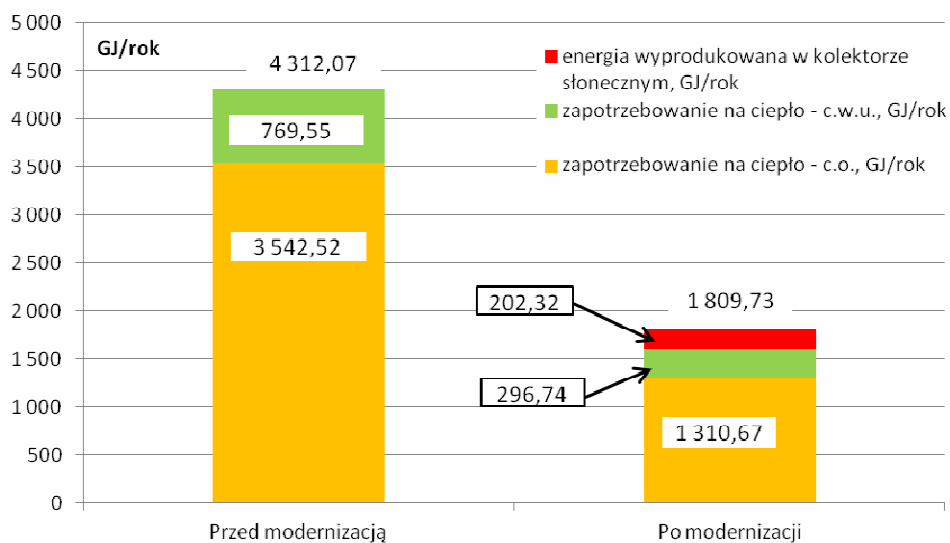
Modernizując instalację c.w.u. i montując kolektory słoneczne do wspomagania podgrzewu c.w.u. zapotrzebowanie na ciepło do podgrzewu c.w.u. i cyrkulacji z uwzględnieniem sprawności, ale jeszcze bez

uwzględnienia „darmowej” energii cieplnej z kolektorów słonecznych wynosi około 499,06 GJ/rok. Średnia roczna ilość energii wyprodukowana w kolektorach słonecznych wynosi 202,32 GJ/rok. Stąd zapotrzebowanie na energię cieplną po uwzględnieniu energii pozyskiwanej z kolektorów słonecznych wynosi około 296,74 GJ/rok.

Zmniejszenie obliczeniowego zapotrzebowania na energię cieplną na cele c.w.u. po wykonaniu modernizacji instalacji c.w.u. z wykorzystaniem kolektorów słonecznych wyniesie około 472,81 GJ.

W tabeli 7 przedstawiono charakterystykę energetyczną budynku przed i po wykonaniu termomodernizacji.

Na rysunku 4 przedstawiono sezonowe zapotrzebowanie na ciepło na cele c.o. z uwzględnieniem sprawności systemu oraz zapotrzebowanie na ciepło na cele c.w.u. przed i po termomodernizacji.



Rys. 4. Sezonowe zapotrzebowanie na ciepło na cele c.o. i c.w.u. przed i po modernizacji

Tab. 7. Efekty energetyczne termomodernizowanego budynku

Lp.	Charakterystyka energetyczna budynku	Stan przed termomodernizacją	Stan po termomodernizacji
1	Obliczeniowa moc cieplna systemu grzewczego [kW]	264,53	163,90
2	Obliczeniowa maksymalna moc cieplna systemu grzewczego na przygotowanie c.w.u. [kW]	39,15	39,15
3	Sezonowe zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu) [GJ/rok]	1 949,80	1 108,83
4	Sezonowe zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu c.o. [GJ/rok]	3 542,51	1 310,67
5	Obliczeniowe zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania c.w.u. [GJ/rok]	769,55	296,74
6	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu [kWh/(m ² ·rok)]	188,70	107,30
7	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu [kWh/(m ² ·rok)]	342,84	126,83
8	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu [kWh/(m ³ ·rok)]	119,55	44,21
9	Zmniejszenie zapotrzebowania na energię do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu c.o. oraz przygotowania c.w.u.	62,80 %	

Realizując pełny wariant termomodernizacji budynku zgodnie z tabeli 5 oraz modernizując instalację centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej i wykonując nową kotłownią olejową wspomagającą podgrzew c.w.u. za pomocą kolektorów słonecznych można uzyskać około 62,8% oszczędności zapotrzebowania energii cieplnej na cele c.o. i c.w.u. w stosunku do stanu wyjściowego.

8.3. Uzyskane efekty ekonomiczne

Na podstawie oceny stanu technicznego i przeprowadzonej analizy ponoszonych kosztów za ogrzewanie (roczny koszt 321 593 zł), zaproponowano usprawnienia dotyczące zmniejszenia strat ciepła przez przegrody budowlane.

Z zaproponowanych usprawnień dotyczących zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło bryły budynku,

przedstawionych w tabeli 8 inwestor do realizacji przyjął wariant obejmujący wszystkie usprawnienia budowlane.

W tabeli 8 przedstawiono planowane całkowite nakłady, roczną oszczędność kosztów energii (w zł/rok), oszczędności procentowe zapotrzebowania na energię cieplną z uwzględnieniem sprawności zmodernizowanego systemu grzewczego i źródła ciepła. W przypadku ubiegania się o kredyt termomodernizacyjny, wyliczono wysokość premii termomodernizacyjnej, o którą może wystąpić inwestor po wykonaniu inwestycji. Przyznawana wartość premii termomodernizacyjnej przez Ustawodawcę jest wartością minimalną trzech pozycji wyliczonych z tabeli 8 na podstawie Rozporządzeń Ministra Infrastruktury (Dz. U. nr 156 z 2006 r., poz. 1118, z późn. zm.; Dz. U. nr 201 z 2008 r., poz. 1238; Dz. U. nr 223 z 2009 r., poz. 1459).

Tab. 8. Ocena pełnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego dla budynku hotelu (Audyt energetyczny budynku, 2012)

Wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego	Planowane koszty całkowite [zł]	Roczna oszczędność kosztów energii [zł/rok]	Procentowa oszczędność zapotrzebowania na energię [%]	Kwota kredytu [zł, %]	Premia termomodernizacyjna [zł]		
					20% kredytu	16% kosztów całkowitych	Dwukrotność rocznej oszczędności kosztów energii
docieplenie bryły budynku*, instalacja c.w.u. z kolektorami słonecznymi, nowa instalacja c.o. i kotłownia olejowa.	1 606 917	201 712	62,8%	1 606 917 (100%)	321 383	257 107	403 424

* Docieplenie bryły budynku obejmuje: docieplenie ścian piwnic części „A”, „B” i „C”, docieplenie ścian zewnętrznych kondygnacji nadziemnych części „A”, „B” i „C”, docieplenie stropodachów wentylowanych, docieplenie stropodachu pełnego nad salą konsumpcyjną (grubościami zgodnie z Tab.5), zamurowanie okien w piwnicach, wymianę okien kondygnacji nadziemnych budynku z jednoczesnym zmniejszeniem ich powierzchni, wymianę starych drzwi zewnętrznych w budynkach.

Na rysunku 5 przedstawiono zestawienie kosztów ponoszonych przez inwestora na cele grzewcze i podgrzew ciepłej wody użytkowej w budynku przed i po wykonaniu pełnej termomodernizacji budynku wraz z modernizacją instalacji grzewczej i instalacji ciepłej wody użytkowej oraz źródła ciepła.

8.3.1. Oszczędności z tytułu zmiany sposobu podgrzewu c.w.u.

Przed modernizacją opłaty, jakie ponosił właściciel hotelu za podgrzew c.w.u. wynosiły około 57 393 zł. Cena podgrzewu 1m³ c.w.u. wynosiła 41,92 zł. Zapotrzebowanie na ciepło do podgrzewu c.w.u. z uwzględnieniem sprawności wynosiło około 769,55 GJ/rok. Koszt produkcji 1 GJ energii cieplnej uzyskiwanej z oleju opałowego lekkiego wynosił 86,72 zł/GJ.

Przy wykorzystaniu energii promieniowania słonecznego oszczędności finansowe związane z mniejszym zużyciem oleju opałowego będą wynosiły około 35 262 zł. Opłaty ponoszone przez hotel na podgrzew c.w.u. po modernizacji wyniosić będą około

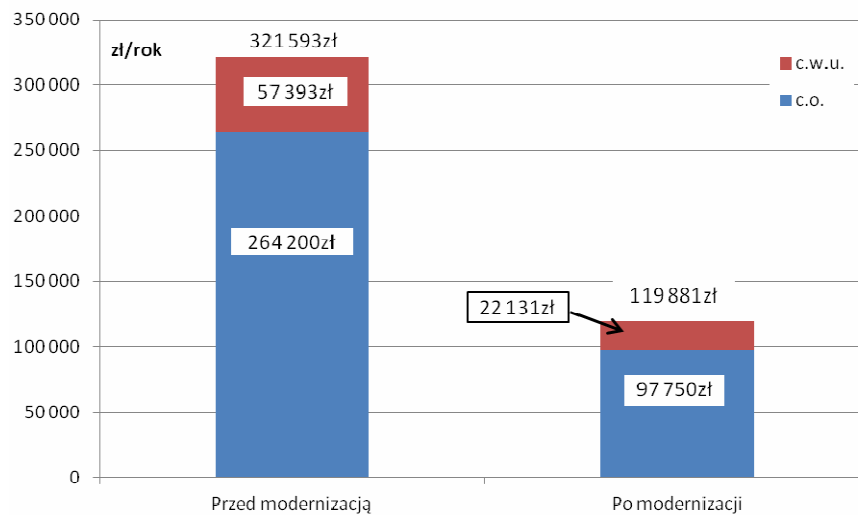
22 131 zł. Inwestycja zwróci się po SPBT = 6,12 lat (Audyt energetyczny budynku, 2012).

8.3.2. Oszczędności z tytułu zamiany źródła ciepła i modernizacji instalacji centralnego ogrzewania

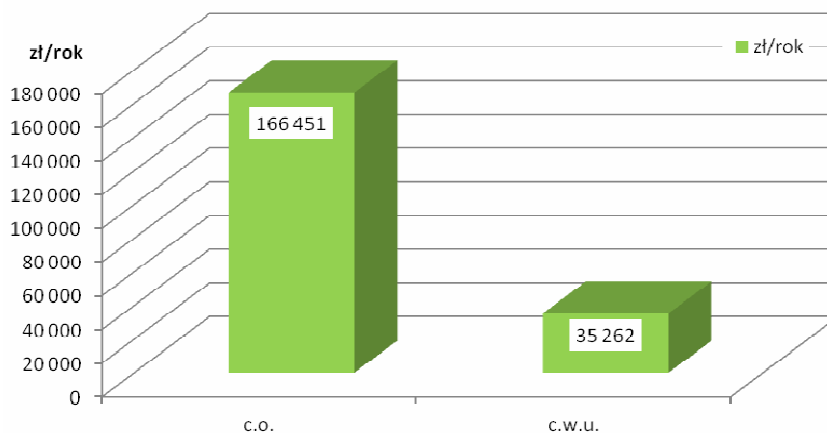
Przed modernizacją źródła ciepła i instalacji centralnego ogrzewania sezonowe zapotrzebowanie na ciepło na cele grzewcze w sezonie standardowym z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego wynosiło 3 542,52 GJ/rok. Opłaty, jakie ponosił właściciel hotelu wynosiły 264 200 zł/rok.

Po modernizacji źródła ciepła i instalacji centralnego ogrzewania sezonowe zapotrzebowanie na ciepło wyniesie 1 310,67 GJ. Opłaty ponoszone przez hotel po modernizacji będą około 97 750 zł. Oszczędności finansowe związane z mniejszym zużyciem oleju opałowego będą wynosiły około 166 450 zł.

Oszczędności z tytułu zmiany sposobu podgrzewu c.w.u. i w wyniku przeprowadzonej termomodernizacji budynku i modernizacji źródła ciepła pokazano na rysunku 6.



Rys. 5. Ponoszone koszty na cele c.o. i podgrzew c.w.u. przed i po modernizacji w budynku hotelu



Rys. 6. Oszczędności finansowe z tytułu zmiany sposobu podgrzewu c.w.u. oraz w wyniku przeprowadzonej pełnej modernizacji budynku

9. Podsumowanie

W artykule przedstawiono sposób przeprowadzenia termomodernizacji budynku hotelowego i modernizacji źródła ciepła wykorzystującego energię odnawialną, poprzez wspomaganie podgrzewu ciepłej wody użytkowej za pomocą kolektorów słonecznych.

W wyniku przeprowadzonej pełnej termomodernizacji budynku można liczyć na zmniejszenie projektowego obciążenia cieplnego budynku na cele grzewcze i wentylacyjne z 264,53 kW na 163,90 kW. Zmniejszeniu ulegnie również sezonowe zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku z 3 542,51 GJ/rok w stanie istniejącym na 1 310,67 GJ/rok po termomodernizacji. Zużycie energii cieplnej do podgrzewu c.w.u. zmniejszy się z 769,55 GJ/rok na 296,74 GJ/rok. Koszt podgrzewu 1 m³ c.w.u. wynoszący przed modernizacją instalacji c.w.u. 41,92 zł/m³ (kotłownia olejowa), zmniejszy się do 16,17 zł/m³.

Zmniejszenie zapotrzebowania na energię cieplną wyniesie 62,8% w stosunku do stanu wyjściowego.

Wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku w standardowym sezonie grzewczym z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu zmieni się z 342,84 kWh/(m²×rok) na 126,83 kWh/(m²×rok).

Wyniki analizy ekologicznej przedstawione w artykule wykazują zasadność przeprowadzenia termomodernizacji budynku i modernizacji źródła ciepła. Możemy uzyskać redukcję wszystkich analizowanych emisji zanieczyszczeń: SO₂, NO₂, CO₂ i pyłów do powietrza atmosferycznego na poziomie około 63%.

Efekty energetyczne i ekologiczne łączą się nieodzownie z efektami ekonomicznymi. Przy całkowitych nakładach inwestycyjnych na modernizację źródła ciepła, instalacji c.o., c.w.u. i termomodernizację budynku wynoszących 1 606 917 zł i planowanym zwrocie inwestycji przewidywanym po 7,97 latach, w hotelu uzyskano zmniejszenie kosztów ponoszonych na ogrzewanie i podgrzew c.w.u. z 321 593 zł/rok obecnie na 119 881 zł/rok. Czyli roczna oszczędność kosztów wynosi 201 712 zł/rok.

Inwestor realizując modernizację budynku hotelu może również liczyć po spłacie kredytu na premię termomodernizacyjną (przy założeniu, że praca w całości podlega finansowaniu zgodnie z Ustawą o wspieraniu termomodernizacji i remontów z dnia 21 listopada 2008 roku (Dz. U. Nr 223 z 2008 roku, poz. 1459, z późn. zm.), wynoszącą, w tym przypadku, 16% kosztów całkowitych, czyli 257 107 zł.

Zastosowanie odnawialnych źródeł energii do zasilania obiektu hotelowego jest rozwiązaniem racjonalnym z punktu widzenia gospodarki energetycznej, wpływu instalacji i obiektu na środowisko. Uzyskane efekty energetyczne, ekologiczne i ekonomiczne w pełni pozwalają sądzić, że termomodernizacja budynku, jak również modernizacja źródła ciepła, instalacji centralnego

ogrzewania i ciepłej wody użytkowej są w pełni uzasadnione.

Literatura

- Audyt energetyczny budynku hotelu w Białymstoku (2012). *Narodowa Agencja Poszanowania Energii S.A.*, Białystok.
- Dąbrowski J. (2009). Kolektory słoneczne do podgrzewu wody użytkowej. Efektywność i opłacalność inwestycji. *Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego*, Wrocław.
- Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (2012). Wskaźniki opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2009 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2012. *IOŚ-BIP*, Warszawa.
- Materiały Informacyjno-Instruktażowe Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa (1996). Wskaźniki emisji substancji zanieczyszczających wprowadzanych do powietrza z procesów energetycznego spalania paliw. *MOŚZNiL*, seria 1/96, kwiecień, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 roku w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej. Dz. U. nr 156 z 2006 r., poz. 1118, z późn. zm.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 roku zmieniające Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz. U. nr 201 z 2008 r., poz. 1238.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 roku w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmów oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego. Dz. U. nr 223 z 2009 r., poz. 1459.
- Ustawą o wspieraniu termomodernizacji i remontów z dnia 21 listopada 2008 roku. Dz. U. Nr 223 z 2008 roku, poz. 1459, z późn. zm.
- Zawadzki M. (2003). Kolektory słoneczne, pompy ciepła na tak. *Wydawnictwo Polska Ekologia*, Warszawa.

THE ENERGETICAL, ECONOMICAL AND ECOLOGICAL EFFECTS OF THE HOTEL BUILDING THERMOMODERNIZATION IN BIALYSTOK

Abstract: In the hotel, built in the years 1973-1975, characterized by a high rate of annual heat demand for heating (342.84 kWh/m²year), a complex thermal modernization of the body building, the heating system and warm water one and a heat source were performed. The annual energy performance, as well as economical and ecological effects were determined, that can be obtained as a result of these improvements. The range of thermomodernization works carried out of the body building and modernization of the proposed technological solution using the old oil boiler to support renewable energy hot water heating were presented.

