
Prof. dr hab. inż. Jacek Zimny
Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Akademia Górniczo – Hutnicza, Kraków
Mgr inż. Tomasz Fiszer
Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej
Akademia Górniczo – Hutnicza, Kraków

NOWOCZESNE SYSTEMY GRZEWCZE Z WYKORZYSTANIEM ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII – NA PRZYKŁADZIE GIMNAZJUM CENTRALNEGO W GRÓDKU NAD DUNAJCEM

Wprowadzenie

Zaopatrzenie w energię jest podstawowym czynnikiem niezbędnym dla egzystencji ludności, jednak użytkowanie energii wywiera największy szkodliwy wpływ na środowisko spośród wszystkich obszarów aktywności człowieka na ziemi. Jest to wynikiem zarówno ogromnych ilości użytkowanej energii, jak i istoty przemian energetycznych, którym energia musi być poddawana w celu dostosowania do potrzeb odbiorców. Ważna jest również różnorodność stosowanych nośników energii: paliwa kopalne z jednej strony charakteryzujące się największą szkodliwością dla środowiska i odnawialne z drugiej – mające niewielkie szkodliwe oddziaływanie.

Pompa ciepła i kolektor słoneczny są urządzeniami umożliwiającym wykorzystanie odnawialnych zasobów energii o niskich temperaturach. Rezerwy takiej energii pochodzą zarówno od źródeł naturalnych, jak i pochodzenia przemysłowego. Jest to energia bardzo tania, a niekiedy wręcz darmowa.

Budowę Gimnazjum rozpoczęto na początku lat 90. W pierwotnym zamierzeniu miała się tam mieścić szkoła podstawowa. Wobec ograniczenia inwestycji i wobec zamiaru zorganizowania w tym obiekcie centralnego gimnazjum, koniecznym było dokonanie zmian projektowych umożliwiających zakończenie budowy pawilonu (oznaczonego symbolem „B”) z jednoczesnym uwzględnieniem zmiany przeznaczenia – funkcji.

Na Rys.1 przedstawiono widok elewacji zachodniej, wraz z zaznaczeniem miejsca ułożenia kolektorów słonecznych.



Rys.1 Gimnazjum Centralne w Gródku nad Dunajcem – widok elewacji zachodniej

Zmiany w pierwotnym projekcie dotyczyły samej konstrukcji budynku (rozbiórki, przebicia otworów, dobudowa wejścia głównego), wykończenia wewnętrznego i zewnętrznego (ściany działowe, podłóża i posadzki w tym ich docieplenia, dostosowanie parametrów okien zewnętrznych i drzwi do obowiązujących norm, docieplenie ścian zewnętrznych) oraz instalacji wewnętrznych, ze szczególnym uwzględnieniem instalacji grzewczo – klimatyzacyjno – wentylacyjnej. Stan obiektu przedstawiono w tabeli 1.

Pierwotnie do ogrzewania budynku zaproponowano kotłownię węglową. Inwestor (Urząd Gminy w Gródku nad Dunajcem) po przeprowadzeniu konsultacji w AGH w Krakowie oraz po zapoznaniu się z wynikami audytu energetycznego budynku (będącego podstawą tego opracowania - Załącznik 1), zdecydował się na zastosowanie odnawialnych źródeł energii w systemie grzewczym Centralnego Gimnazjum w Gródku nad Dunajcem.

Zaproponowano zastosowanie sprężarkowej pompy ciepła typu woda - woda o mocy grzewczej 106,8 kW. Jako dolne źródło ciepła wykorzystano wodę z Jeziora Rożnowskiego doprowadzaną przez układ pompowy zaprojektowany specjalnie do tego przedsięwzięcia. W wyjątkowych przypadkach (niska temperatura wody w jeziorze) pompa wykorzystuje ciepło z gruntu (poziomy kolektor ziemny). Do celów ciepłej wody użytkowej, jako źródło wspomagające, użyto 4 zestawy kolektorów słonecznych o łącznej powierzchni 10 m².

Tabela 1. Stan obiektu i możliwości jego poprawy.

Lp.	Charakterystyka stanu istniejącego	Możliwości i sposób poprawy
1	<p>Przegrody mają niezadowalające współczynniki U (nie spełniają obowiązujących norm)</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Ściany zewnętrzne:</u> <ul style="list-style-type: none"> - ściany zewnętrzne 0,49-0,66 [W/m²K] - dach 0,71 [W/m²K] - strop nad poddaszem 1,87 [W/m²K] - Strop nad piwnicą 0,51-0,80 [W/m²K] - Podłoga na gruncie 0,82 [W/m²K] <p>co powoduje nadmierne straty ciepła.</p>	<p>Należy docieplić przegrody zewnętrzne i wybrane wewnętrzne. Pożądane wartości U nie wyższe niż (z uwagi na niskotemperaturowe źródło ciepła – bez spalania):</p> <ul style="list-style-type: none"> - dla ścian zewnętrznych 0,25 [W/m²K] - dla dachu 0,23 [W/m²K] - dla stropu nad poddaszem 0,50 [W/m²K] - dla stropu nad piwnicą 0,50 [W/m²K] - dla podłogi na gruncie 0,40 [W/m²K]
2	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Okna</u> Okna w stanie dobrym, nowe o współczynniku przewodzenia ciepła U = 1,3W/m²K • <u>Drzwi</u> Drzwi drewniane o współczynniku przewodzenia ciepła U = 2 W/m²K 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Okna</u> Bez zmiany • <u>Drzwi</u> Bez zmiany, zastosować automatyczne zamykanie drzwi
3	<p><u>Wentylacja</u> Według projektu – wentylacja grawitacyjna, krotność wymiany normowa. W zimie nadmierny napływ zimnego powietrza.</p>	<p><u>Wentylacja</u> Wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła – układ nawiewno – wywiewny przy pomocy jednej centrali wentylacyjnej z odzyskiem ciepła</p>

4	<p>Możliwe wysokie zużycie ciepła na ogrzewanie powietrza wentylacyjnego.</p> <p><u>Instalacja ciepłej wody użytkowej</u> Według projektu – zasilanie z lokalnej kotłowni własnej- węglowej</p> <p><u>Instalacja grzewcza</u> Według projektu - instalacja c.o – tradycyjna o niskiej sprawności regulacji, wodna, z rozdziałem dolnym, zasilana energią z lokalnej kotłowni węglowej (lub gazowej)</p>	<p><u>Instalacja ciepłej wody użytkowej</u> Zmiana źródła ciepła – z zasobów odnawialnych sprężarkowa pompa ciepła (SPC) typu woda – woda o mocy grzewczej 106.8 kW i kolektorów słonecznych (10m2) <u>Instalacja grzewcza</u> Nastąpi uzyskanie znacznych oszczędności zużycia ciepła przez zamianę źródeł ciepła (węgiel) na ekologicznie czyste z wykorzystaniem klimakonwektorów, automatycznych zaworów termostatycznych., automatyki pogodowej i zwiększenia sprawności regulacji.</p>
---	---	--

W tabeli 2 zestawiono najważniejsze dane analizowanego obiektu przed termomodernizacją.

Tabela 2. Dane ogólne.

1.	Konstrukcja/technologia budynku	Tradycyjna, pustak MAX
2.	Liczba kondygnacji	4
3.	Kubatura [m ³]	8500,7
4.	Powierzchnia użytkowa budynku [m ²]	2425,8
5.	Liczba pomieszczeń	90
6.	Liczba osób użytkujących budynek uczniowie+ administracja + obsługa	270 + 30 + 5
7.	Sposób przygotowania ciepłej wody (wg projektu)	Lokalna kotłownia węglowa
8.	Rodzaj systemu ogrzewania budynku (wg projektu)	Lokalna kotłownia węglowa

Wybór optymalnego wariantu usprawnień termomodernizacyjnych

W tabeli 3 są podane pierwotne współczynniki sprawności kotłowni węglowej według dokumentacji technicznej.

Tabela 3. Współczynniki sprawności dla kotłowni węglowej [1,2].

wytwarzanie ciepła:	$\eta_w = 0,6$
przesyłanie ciepła:	$\eta_p = 0,95$
regulacja systemu grzewczego (bez zaw. termostatycznych):	$\eta_r = 0,87$
wykorzystanie:	$\eta_e = 0,95$
przerwy na ogrzewanie w ciągu tygodnia:	$w_t = 1$
przerwy na ogrzewanie w ciągu doby:	$w_d = 1$
Sprawność systemu grzewczego:	$\eta_0 = \eta_w \cdot \eta_p \cdot \eta_r \cdot \eta_e = 0,394$

Po modernizacji systemu grzewczego nastąpi znaczna poprawa współczynników sprawności:

wytwarzanie ciepła: $\eta_w = 4,5$ (Pompa ciepła);
przesyłanie ciepła: $\eta_p = 1$ (izolacja pionów i poziomów);

regulacja:	$\eta_r = 0,95$ (montaż elektronicznych zaworów termostatycznych, automatyka pogodowa);
wykorzystanie ciepła:	$\eta_e = 0,95$ (optymalne wykorzystanie ciepła);
przerwy na ogrzewanie w ciągu tygodnia:	$w_t = 0,95$ (obniżenie temperatury w dni wolne, automatyczne sterowanie);
przerwy na ogrzewanie w ciągu doby:	$w_d = 0,95$ (obniżenie temperatury w nocy, automatyczne sterowanie);
Sprawność systemu grzewczego:	$\eta_1 = \eta_w \cdot \eta_p \cdot \eta_r \cdot \eta_e = 4,00$.

Efektywność energetyczna systemu grzewczego: $CEE = \eta_1 / \eta_o = 4,00 / 0,394 = 10,15$ co oznacza, że jest przeszło 10 razy większa niż systemu tradycyjnego – opartego na węglu.

Koszt zainstalowania ekologicznego węzła cieplnego opartego na pompie ciepła o mocy grzewczej 106,8 kW pobierającej ciepło z Jeziora Rożnowskiego (układ pompowy) oraz z gruntu (kolektor poziomy ziemny) wyniósł 270 000 zł (Wybór dostawcy i koszty z danych przetargu publicznego).

Opis wszystkich usprawnień termomodernizacyjnych, koszt robót oraz prosty czas zwrotu danego usprawnienia SPBT – (z definicji będącego stosunkiem planowanych nakładów do oszczędności generowanych przez dane usprawnienie [3]) – przedstawiono w tabeli 4. Zestawienie kosztów termomodernizacji przedstawia Tabela 5.

Tabela 4. Rodzaj i zakres usprawnienia termomodernizacyjnego [1,2].

Usprawnienie	Planowane koszty robót	SPBT lat
Ocieplenie stropu nad poddaszem Styropian, 5 cm, $U=0,54$ W/m ² K	14921,6 zł	3,4
Ocieplenie podłogi na gruncie Styropian, 5 cm, $U=0,40$ W/m ² K	20179,2 zł	10,6
Ocieplenie stropu nad piwnicą Styropian, 5 cm, $U=0,39$ W/m ² K	16636,8 zł	11,1
Ocieplenie dachu Wełna mineralna, 15 cm, $U=0,23$ W/m ² K	21951,6 zł	12,7
Ocieplenie ścian zewn. piwnic Styropian, 10 cm, $U=0,24$ W/m ² K	4453,6 zł	12,7
Ocieplenie ścian zewnętrznych	40838,6 zł	16,7
przyziemia, piętra i poddasza. Styropian, 10 cm, $U=0,23$ W/m ² K	13752,2 zł	18,4
Ocieplenie ściany przy gruncie Styropian, 10 cm, $U=0,24$ W/m ² K		
RAZEM:	132733,6 zł	12,2

Tabela 5. Zestawienie kosztów termomodernizacji.

Lp.	Rodzaj usprawnienia	Koszt
1.	Docieplenie przegród zewnętrznych i wewnętrznych	132 734 zł
2.	Nowy węzeł cieplny	270 000 zł
2.	Instalacja c.o.	60 000 zł
	RAZEM:	462 734 zł

Zasadniczym celem usprawnień i przedsięwzięć termomodernizacyjnych jest maksymalna oszczędność energii przez budynek i zastosowanie odnawialnych źródeł energii do celów grzewczych (c.o i c.w.u). W projekcie zastosowano surowsze niż polskie, normy Unii Europejskiej i DIN dla budownictwa energooszczędnego z zastosowaniem urządzeń energetyki odnawialnej (OZE). Efektem będzie zredukowanie do minimum strat ciepła na ogrzewanie oraz minimalizacja kosztów ogrzewania budynku. Proponowane rozwiązanie jest nowatorskie, znajdzie zastosowanie w III i IV strefie klimatycznej (najzimniejszej). Przedsięwzięcie jest ekologiczne, jak również ma charakter demonstracyjny dla władz Gminy, mieszkańców, młodzieży szkolnej (edukacja ekologiczna).

Opis systemu grzewczego

Hybrydowy system grzewczy (sprężarkowa pompa ciepła + kolektory słoneczne + kocioł gazowy wodny jako rezerwa szczytowa i awaryjna) składa się z następujących elementów (Rys.2):

- pompa ciepła firmy Viessman Vitocal 300 typ WW 20;
- system solarny Vitosol 100 typ S-2,5;
- kocioł DeDitrich typu DTG 250-9;
- podgrzewacz Vitocell V100;
- zasobnik ciepłej wody 1500 l;
- wymiennik ciepła wydzielający obieg wody z jeziora;
- trzy obiegi grzewcze;
- obieg CWU.

Układ przygotowany jest w sposób zapewniający optymalną pod względem energetycznym pracę systemu. Podstawą układu grzewczego jest pompa ciepła o mocy grzewczej 106,8 kW. Jest ona zasilana z dwóch źródeł ciepła. Pierwszym jest woda z pobliskiego jeziora, drugie to kolektor gruntowy. System sterowania samoczynnie wybiera optymalne źródło ciepła, tak aby zminimalizować zużycie energii elektrycznej pobieranej przez pompę ciepła.

Następnym sterowanym elementem układu jest system kolektorów słonecznych znajdujących się na dachu budynku. Instalacja solarna napełniona jest glikolem, co umożliwia jej pracę przez cały rok. W przypadku gdy kolektory podniosą swoją temperaturę na tyle aby można było odebrać od nich ciepło, samoczynnie uruchamiana zostaje pompa cyrkulacji, zapewniająca podgrzanie ciepłej wody w zasobniku. W zależności od potrzeb jest ona kierowana do instalacji CO lub CWU.

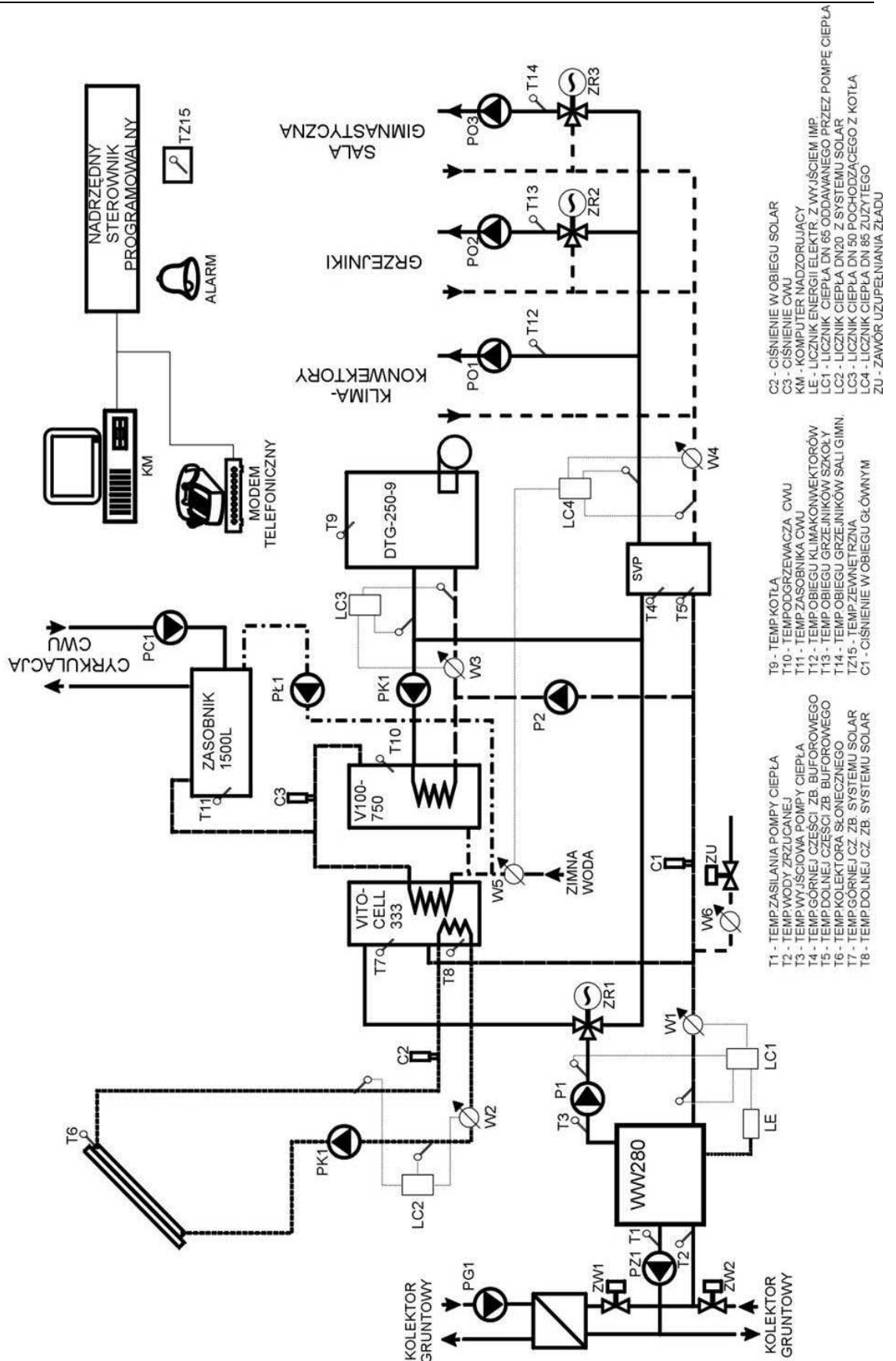
Kolejnym źródłem ciepła jest kocioł gazowy o mocy grzewczej 92 kW. Jest on załączany tylko w przypadku gdy zabraknie ciepła z dwóch poprzednich urządzeń grzewczych. Kocioł cały czas utrzymywany jest w gotowości do pracy. Wyjście kotła również posiada swój indywidualny licznik określający ilość ciepła z niego pobranego. Układ zabezpieczeń kotła jest wpięty do układu sterowania. Każda awaria jest rejestrowana i przekazywana do systemu nadrzędnego.

Pierwszym odbiornikiem ciepła jest układ ciepłej wody użytkowej składający się z podgrzewacza oraz zasobnika buforowego o objętości 1500l. Elementy układu związane są ze sobą poprzez pompę ładującą, która automatycznie doprowadza zasobnik buforowy do zadanej temperatury. W przypadku przegrzania lub zbyt długiego niedogrzenia wody, wysłana jest informacja o zaistniałej sytuacji. Zbiornik buforowy w sezonie letnim jest zaopatrywany w ciepło z układu solarnego. Przełączenie pomiędzy źródłami dostarczającymi ciepła dla CWU odbywa się samoczynnie.

Drugim odbiornikiem ciepła są trzy obiegi grzewcze:

- instalacja klimakonwektorów o mocy grzewczej 51 kW;
- instalacja grzejników CO szkoły o mocy grzewczej 53 kW;
- instalacja grzejników CO sali gimnastycznej o mocy 60 kW

**SCHEMAT ROZMIESZCZENIA ELEMENTÓW POMIAROWO-STERUJĄCYCH
DLA WĘZŁA CIEPLNEGO W GIMNAZJUM W GRÓDKU NAD DUNAJCEM**



Rys.2. Schemat hybrydowy instalacji centralnego ogrzewania w Gimnazjum Centralnym w Gródku nad Dunajcem, z wykorzystaniem urządzeń energetyki odnawialnej (prawa autorskie zastrzeżone – Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych).

Instalacja klimakonwektorów zasila układy grzewczo-wentylacyjne, ogrzewające część pomieszczeń, głównie dydaktycznych. Instalacja ta korzysta z czujników temperatury które w przyszłości zostaną umieszczone w każdym ogrzewanym pomieszczeniu, gwarantując w ten sposób najniższe zużycie energii przy zachowaniu najwyższego komfortu cieplnego.

Układ ten podwyższa swoją temperaturę w czasie gdy w pomieszczeniach odbywają się zajęcia, a w pozostałym czasie nieużywane pomieszczenia ogrzewane są do niezbędnego minimum. W sezonie letnim system pozwala na utrzymanie komfortowej temperatury wewnątrz pomieszczeń dzięki wykorzystaniu pompy ciepła jako źródła chłodu dla klimakonwektorów. W ten sposób w upalne dni w pomieszczeniach utrzymywana jest temperatura niższa od zewnętrznej. Załączenie dowolnego z urządzeń powoduje samoczynną zmianę parametrów grzewczych wewnątrz węzła cieplnego i automatyczny start pompy obiegowej.

Instalacja grzejników funkcjonuje analogicznie jak system klimakonwektorów, lecz sposób regulacji jest przystosowany do charakteru ogrzewania grzejnikowego. Czasy obniżen i podwyższeń są odpowiednio zmodyfikowane. System grzejników również pobiera dane z czujników pomieszczeń. W sezonie letnim grzejniki zostają wyłączane.

Instalacja grzewcza podlega ciągłej kontroli ciśnienia medium grzewczego i w przypadku obniżenia się jego ciśnienia do wartości minimalnej wysyłana jest informacja o awarii i wyłączane są pompy obiegowe.

Zapotrzebowanie na paliwo – Budynek Szkoły Gimnazjum w Gródku nad Dunajcem – stan przed dociepleniem przegród

- **ogrzewanie węglowe**

Wartość opałowa paliwa (węgiel): $H_u = 24 \text{ MJ/kg}$.

Sprawność całkowita systemu: $\eta_0 = 0,394$.

Przerwa na ogrzewanie w ciągu doby: $w_d = 1$.

Przerwa na ogrzewanie w ciągu tygodnia: $w_t = 1$.

Roczne zapotrzebowanie na energię dla potrzeb c.o. i c.w.u: $Q_{co\ cwu} \text{ (wg audytu)} = 1892,1 \text{ GJ}$.

$$m_1 = \frac{Q_{cocwu} w_d w_t}{H_u \eta_0} = \frac{1892,1 \cdot 10^9 \cdot 1 \cdot 1}{24 \cdot 10^6 \cdot 0,394} = 200 \text{ 095 kg.}$$

Roczne zapotrzebowanie paliwa:

Koszt paliwa (węgiel): $K = 450,00 \text{ zł/t}$.

Koszt paliwa do centralnego ogrzewania budynku i ciepłej wody użytkowej:

$$K_{e1} = m_1 \cdot K = 200095 \cdot 0,45 = 90 \text{ 043 zł/rok}$$

Koszt energii elektrycznej do napędu pompy obiegowej:

Moc silnika pompy: $P = 1,00 \text{ kW}$

$$K_{e2} = P \cdot 5328 \text{ h/rok} \cdot 0,3874 \text{ zł/kWh} = 2 \text{ 064 zł/rok}$$

Koszty stałe:

2 etaty $\cdot 800 \text{ zł/m-c} \cdot 8 \text{ miesięcy} = 12 \text{ 800 zł/rok}$

Koszty remontów, środków czystości: 3000 zł/rok

$$K_{e3} = 12 \text{ 800} + 3000 = 15 \text{ 800 zł/rok}$$

Łączny koszt ogrzewania budynku (węgiel):

$$K_e = K_{e1} + K_{e2} + K_{e3} = 107 \text{ 907 zł/rok}$$

Zapotrzebowanie na paliwo – Budynek Szkoły Gimnazjum w Gródku nad Dunajcem – stan po dociepleniu przegód.**• ogrzewanie gazowe**Wartość opałowa paliwa (gaz ziemny): $H_u = 38,147 \text{ MJ/m}^3$.Sprawność całkowita systemu: $\eta_1 = 0,737$.Przerwa na ogrzewanie w ciągu doby: $w_d = 0,95$.Przerwa na ogrzewanie w ciągu tygodnia: $w_t = 0,95$.Roczne zapotrzebowanie na energię dla potrzeb c.o. i c.w.u: $Q_{co\ cwu}$ (wg audytu) = 1307,2 GJ.

$$m_1 = \frac{Q_{cocwu} w_d w_t}{H_u \eta_1} = \frac{1307,2 \cdot 10^9 \cdot 0,95 \cdot 0,95}{38,147 \cdot 10^6 \cdot 0,737} = 41\,963 \text{ m}^3.$$

Roczne zapotrzebowanie paliwa:

Koszt paliwa (gaz ziemny – taryfa W-4) : $K = 1,00 \text{ zł/m}^3$.

Koszt paliwa do centralnego ogrzewania budynku i ciepłej wody użytkowej:

$$K_{e1} = m_1 \cdot K = 41963 \cdot 1 = 41\,963 \text{ zł/rok}$$

Koszt energii elektrycznej do napędu pompy obiegowej:

Moc silnika pompy: $P = 1,00 \text{ kW}$

$$K_{e2} = P \cdot 5328 \text{ h/rok} \cdot 0,3874 \text{ zł/kWh} = 2\,064 \text{ zł/rok}$$

Koszty stałe:

Opłata za przesył stała 67,10 · 12 m-cy = 805 zł/rok

Opłata abonamentowa 13,18 · 12 m-cy = 158 zł/rok

Obsługa kotłowni: 550 · 12 m-cy = 6 600 zł/rok

Koszty przeglądów, środków czystości: = 1500 zł/rok

$$K_{e3} = 805 + 158 + 6600 + 1500 = 9\,063 \text{ zł/rok}$$

Łączny koszt ogrzewania budynku (gaz ziemny):

$$K_e = K_{e1} + K_{e2} + K_{e3} = 53\,090 \text{ zł/rok}$$

• ogrzewanie olejoweWartość opałowa paliwa (olej opałowy): $H_u = 42,6 \text{ MJ/kg}$.Sprawność całkowita systemu: $\eta_1 = 0,800$.Przerwa na ogrzewanie w ciągu doby: $w_d = 0,95$.Przerwa na ogrzewanie w ciągu tygodnia: $w_t = 0,95$.Roczne zapotrzebowanie na energię dla potrzeb c.o. i c.w.u: $Q_{co\ cwu}$ (wg audytu) = 1307,2 GJ.

$$m_1 = \frac{Q_{cocwu} w_d w_t}{H_u \eta_1} = \frac{1307,2 \cdot 10^9 \cdot 0,95 \cdot 0,95}{42,6 \cdot 10^6 \cdot 0,800} = 34\,617 \text{ kg}.$$

Roczne zapotrzebowanie paliwa:

Koszt paliwa (olej opałowy EKOTERM PLUS) : $K = 1,65 \text{ zł/kg}$ (cena paliwa + dostawa).

Koszt paliwa do centralnego ogrzewania budynku i ciepłej wody użytkowej:

$$K_{e1} = m_1 \cdot K = 34\,617 \cdot 1,65 = 57\,118 \text{ zł/rok}$$

Koszt energii elektrycznej do napędu pompy obiegowej:

$$\begin{aligned} \text{Moc silnika pompy: } P &= 1,00 \text{ kW} \\ \text{Ke2} &= P \cdot 5328 \text{ h/rok} \cdot 0,3874 \text{ zł/kWh} = 2\,064 \text{ zł/rok} \end{aligned}$$

Koszty stałe:

$$\begin{aligned} \text{Obsługa kotłowni: } 550 \cdot 12 \text{ m-cy} &= 6\,600 \text{ zł/rok} \\ \text{Koszty przeglądów, środków czystości:} &= 1\,500 \text{ zł/rok} \\ \text{Ke3} &= 6600 + 1500 = 8\,100 \text{ zł/rok} \end{aligned}$$

Łączny koszt ogrzewania budynku (olej opałowy):

$$\text{Ke} = \text{Ke1} + \text{Ke2} + \text{Ke3} = 67\,282 \text{ zł/rok}$$

• **Pompa ciepła**

Sprawność całkowita systemu: $\eta_1 = 5$.

Przerwa na ogrzewanie w ciągu doby: $w_d = 0,95$.

Przerwa na ogrzewanie w ciągu tygodnia: $w_t = 0,95$.

Roczne zapotrzebowanie na energię dla potrzeb c.o. i c.w.u: $Q_{co\ cwu}$ (wg audytu) = 1307,2 GJ = 363 111 kWh.

$$m_1 = \frac{Q_{coccwu} w_d w_t}{H_u \eta_1} = \frac{363111 \cdot 0,95 \cdot 0,95}{5} = 65\,542 \text{ kWh.}$$

Roczne zapotrzebowanie paliwa: $m_1 = 65\,542 \text{ kWh.}$

Koszt paliwa (energia elektryczna): 0,3821 zł/kWh – taryfa dzienna
0,2699 zł/kWh – taryfa nocna

Przyjmuje się pracę pompy ciepła przy udziale taryfy dziennej i nocnej w stosunku 40/60%

$$K = 0,3821 \cdot 0,4 + 0,2699 \cdot 0,6 = 0,3148 \text{ zł/kWh.}$$

Koszt paliwa (energii elektrycznej) do centralnego ogrzewania budynku i ciepłej wody użytkowej:

$$\text{Ke1} = m_1 \cdot K = 65\,542 \cdot 0,3148 = 20\,631 \text{ zł/rok}$$

Koszt energii elektrycznej do napędu pomp obiegowych dolnego i górnego źródła ciepła:

$$\begin{aligned} \text{Moc silnika pompy: } P &= 2,50 \text{ kW} \\ \text{Ke2} &= P \cdot 5328 \text{ h/rok} \cdot 0,3874 \text{ zł/kWh} = 5\,160 \text{ zł/rok} \end{aligned}$$

Koszty stałe:

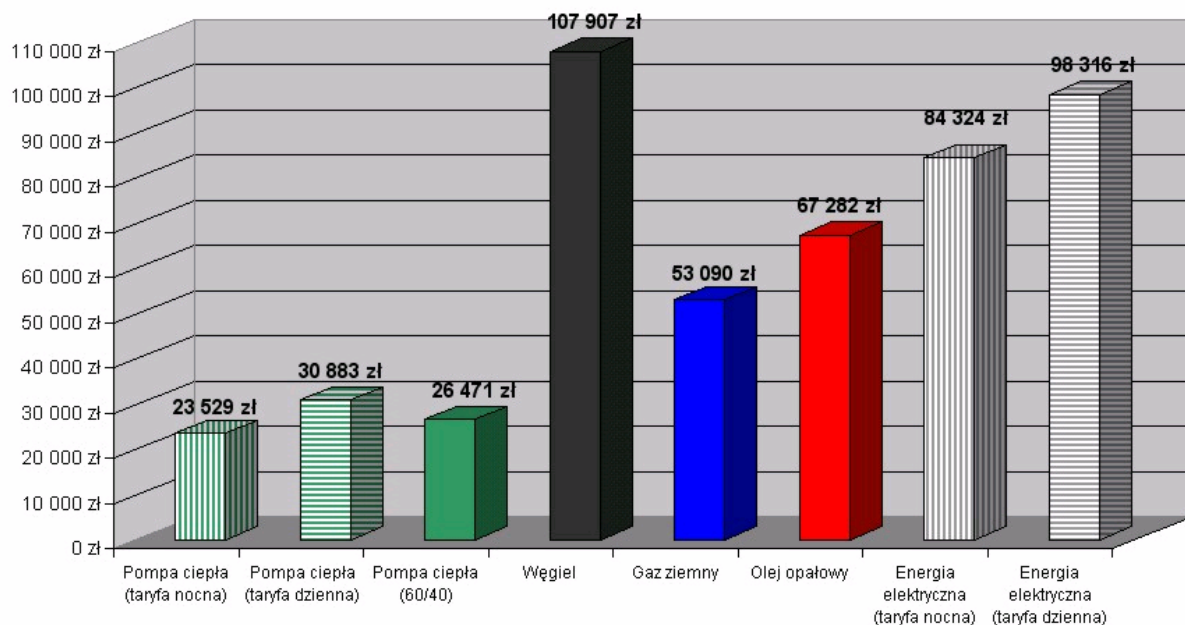
$$\begin{aligned} \text{Opłata stała } 2,78 \text{ zł} \cdot 12 \text{ m-cy} &= 33 \text{ zł/rok} \\ \text{Opłata abonamentowa } 12,18 \cdot 12 \text{ m-cy} &= 146 \text{ zł/rok} \\ \text{Koszty przeglądów:} &= 500 \text{ zł/rok} \\ \text{Ke3} &= 33 + 146 + 500 = 679 \text{ zł/rok} \end{aligned}$$

Łączny koszt ogrzewania budynku (pompa ciepła):

$$\text{Ke} = \text{Ke1} + \text{Ke2} + \text{Ke3} = 26\,471 \text{ zł/rok}$$

Zestawienie porównawcze kosztów ogrzewania budynku różnymi nośnikami energii (bez skojarzenia tych źródeł) przedstawia Rys.3. Koszt wytworzenia 1GJ energii cieplnej obrazuje Rys.4.

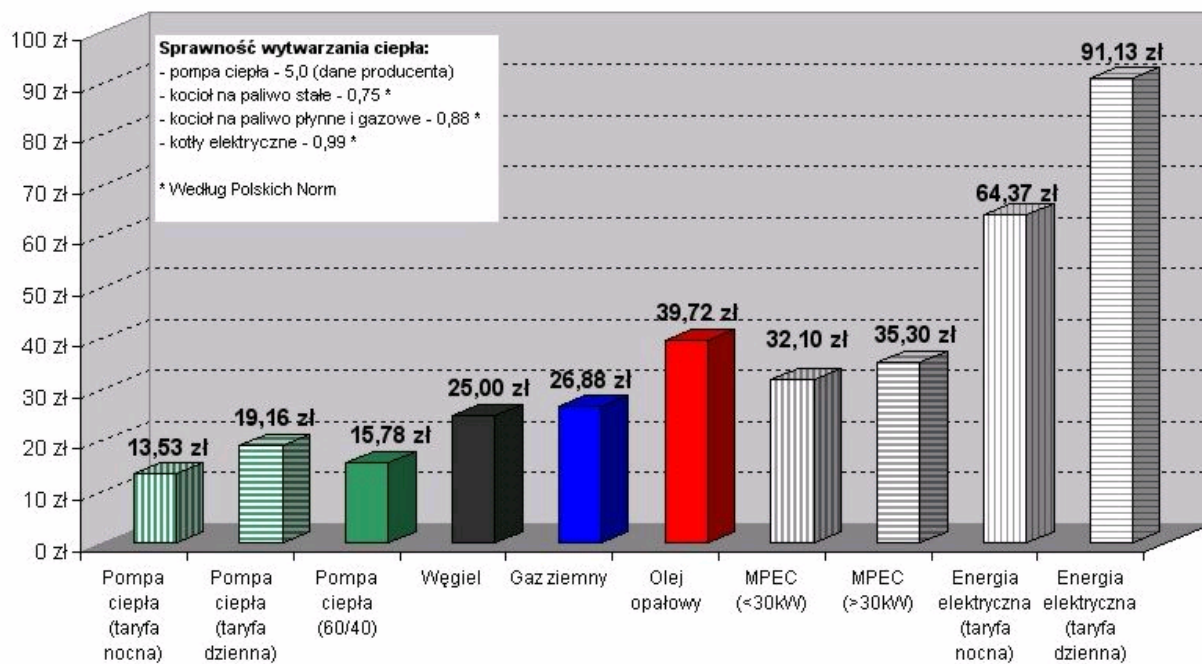
Roczny koszt ogrzewania - Gimnazjum Centralne w Gródku nad Dunajcem



Źródło ciepła (ogrzewanie i ciepła woda użytkowa)

Rys.3 Roczne koszty ogrzewania dla Centralnego Gimnazjum w Gródku nad Dunajcem (ceny I kwartał 2003).

Koszt 1GJ wytworzenia 1GJ energii cieplnej z różnych źródeł, z uwzględnieniem sprawności źródła - Gimnazjum Centralne w Gródku nad Dunajcem



Źródło ciepła (ogrzewanie i ciepła woda użytkowa)

Rys.4. Koszt 1GJ wytworzenia 1GJ energii cieplnej z różnych źródeł, z uwzględnieniem sprawności źródła.

W świetle powyższych obliczeń, idea zastosowania pompy ciepła do ogrzewania budynku szkoły jest całkowicie uzasadniona (Rys.3). System grzewczy wykorzystujący pompę ciepła jest przy obecnych cenach nośników najtańszy. Prosty czas zwrotu dla tej inwestycji wynosi **około 6 lat**. Wskaźnik ten nie uwzględnia jednak takich czynników jak stopy dyskonta czy zmiany cen nośników energii oraz znacznego wykorzystania darmowej energii słonecznej przetwarzanej w kolektorach słonecznych na ciepło.

W rzeczywistości cała inwestycja (sfinansowana przez Urząd Gminy w Gródku nad Dunajcem) zwróci się w krótszym czasie niż 6 lat.

Powód dodatkowy, jaki należy rozważyć to ochrona środowiska. Roczna emisja produktów spalania (kg/rok) dla analizowanego obiektu (zapotrzebowanie: 1307,2 G/rok) wygląda następująco (Tabela 6).

Tabela 6. Roczna emisja zanieczyszczeń [4] (dla Gimnazjum Centralnego w Gródku).

Emisja w kg/rok	SO ₂ (7,8kg/MWh)*	NO _x (3,2/MWh)*	CO ₂ (937 kg/MWh)*	Pył (1,1 kg/MWh)*
Kotłownia węglowa	2 832	1162	340 235	399
Pompa ciepła**	639	262	76 765	90

* - dane NFOŚiGW

** - skutki wytworzenia energii elektrycznej niezbędnej do zasilania pompy ciepła

W porównaniu z kotłownią węglową, zastosowanie pompy ciepła zredukuje emisję:

- SO₂ – o 2193 kg/rok
- NO_x – o 900 kg/rok
- CO₂ – o 263 470 kg/rok
- pyłu – o 309kg/rok

Podsumowanie

Ochrona środowiska lokalnego jest więc wymiernym efektem zastosowania odnawialnych źródeł energii w gminie Gródek nad Dunajcem – miejscowości o dużym znaczeniu turystycznym.

Działania władz gminy zmierzają do znacznego wykorzystania odnawialnych zasobów energii, czego dowodem są kolejne wdrożenia (Szkoła w Rożnowie).

Akademia Górniczo – Hutnicza (Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych), w związku z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii, już od dłuższego czasu zajmuje się opracowywaniem koncepcji i projektów wykorzystania urządzeń OZE. Specjaliści z Katedry pomagają takim gminom jak Gródek nad Dunajcem we wdrażaniu takich rozwiązań. Efekty ekonomiczne i energetyczne są już widoczne i bezsporne.

Literatura.

1. Jacek Zimny, Tomasz Fiszer: „Audyt energetyczny Szkoły Gimnazjum (w budowie) w Gródku n/Dunajcem” – Sprawozdanie Katedry Maszyn i Urządzeń Energetycznych AGH, czerwiec 2001.
2. Projekty budowlano – wykonawcze instalacji grzewczej, wentylacji i klimatyzacji Centralnego Gimnazjum w Gródku nad Dunajcem. Sprawozdania Katedry Maszyn i Urządzeń Energetycznych AGH, 2001-2002.
3. Jan Górzyski: „Audyt energetyczny”, Biblioteka Fundacji Poszanowania Energii, Warszawa, 2000.

Załączniki:

Załącznik 1

KARTA AUDYTU ENERGETYCZNEGO

GIMNAZJUM CENTRALNE W GRÓDKU N/DUNAJCEM

Dane identyfikacyjne:**Zamawiający / Inwestor:**

Urząd Gminy w Gródku n/Dunajcem

Wykonawca:

Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych
 Prof. dr hab. inż. Jacek Zimny, audytor
 KAPE Nr 0086,
 Mgr inż. Tomasz Fiszer

Inwentaryzacja budowlana:

05.04.2001 – Gródek n/Dunajcem

Data opracowania:

Kwiecień 2001

Dane o obiekcie:**Typ budynku:**

Budynek dydaktyczno-administracyjny,
 4 - kondygnacyjny

Lokalizacja:

Gródek n/Dunajcem

Rok budowy:

W trakcie budowy, kontynuacja od 1991

Technologia:

Tradycyjna, pustak ceramiczny MAX, cegła
 ceramiczna, dach kryty blachą

Wielkość:

Kubatura :	8500 m ³
Powierzchnia użytkowa:	2426 m ²
Liczba kondygnacji:	4
Liczba pomieszczeń:	90
Liczba uczniów	270

Stan istniejący budynku:**Współczynniki przenikania ciepła U (W/m²·K)**

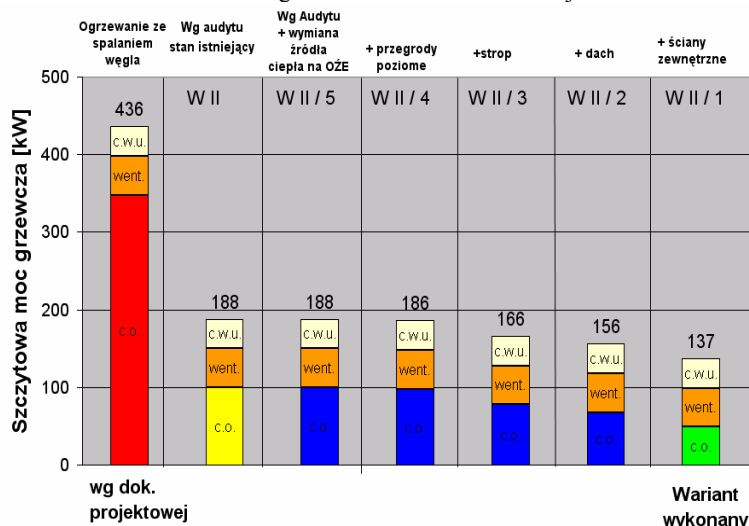
Ściany zewn.:	0,49 – 0,66
Strop :	1,87
Dach:	0,71
Strop piwnicy:	0,51 – 0,80
Okna:	1,3
Drzwi:	2,0

Sprawność systemu grzewczego w budynku

η_e	=	0,95
η_r	=	0,87
η_p	=	0,95
$\eta_w = 0,5$		
$\eta_s = \eta_e \cdot \eta_r \cdot \eta_p \cdot \eta_w$		= 0,394

Charakterystyka wariantów inwestycji termomodernizacyjnej budynku

Wykres przedstawia zapotrzebowanie mocy (dla c.o., c.w.u i wentylacji) w funkcji określonego wariantu termomodernizacji



Wariant: 0 – ogrzewanie węglowe (c.o.+c.w.u.+went.=436 kW), bez termomodernizacji

W II – stan istniejący (c.o.+c.w.u.+went.=188 kW),

W II / 5 – zamiana źródła ciepła na OZE, audyt (c.o.+c.w.u.+went.=188 kW),

W II / 4 – wariant 5 + docieplenie podłogi na gruncie i stropu nad piwnicą, (148+38 kW),

W II / 3 – wariant 4 + docieplenie stropu nad poddaszem (128kW+38kW)

W II / 2 – wariant 3 + docieplenie dachu (118kW+38kW)

W II / 1 – wariant 2 + docieplenie ścian zewnętrznych (99kW +38kW)

Optymalny wariant termomodernizacyjny budynku – WII/1

Docieplenie stopu poddasza, ocieplenie dachu, ścian zewnętrznych, podłogi w piwnicy oraz stropu nad piwnicami (parkiet) + kompleksowa modernizacja systemu grzewczego z zastosowaniem sprężarkowej pompy ciepła.

- Zamiana ogrzewania tradycyjnego (spalanie węgla) na ogrzewanie indywidualne ekologicznie czyste (bez spalania) – pompa ciepła sprężarkowa (SPC) + kolektory słoneczne + agregat prądowłóczy
- Instalacja grzewcza, 60⁰/45⁰, wymuszona, dwururowa, z rozdzielaczem dolnym

Stan po termorenowacji:**Współczynniki przenikania U (W/m²·K)**

Ściany zewn.	0,21 – 0,24
Strop	0,54
Dach	0,23
Strop piwnicy	0,39-0,51
Okna	1,3
Drzwi	2,0

Sprawność systemu ogrzewania

$\eta_e = 0,95$	–	montaż zaworów termostatycznych elektronicznych, monitoring, wizualizacja
$\eta_r = 0,95$	–	regulatory ciśnienia, zawory podpiłonowe, filtry
$\eta_p = 1$	–	hermetyzacja instalacji.
$\eta_w = 5,5$		
$\eta_s = \eta_e \cdot \eta_r \cdot \eta_p \cdot \eta_w$		= 5,00

Efektywność ogrzewania:

$Koszt_{invest.}$	=	462 734 zł
ΔE_s	=	62,2 kWh/(m ² ·a)
Oszczędność energii:		75 %
Oszczędność mocy:		69 %
Oszczędność kosztów		81 436/a
Oszczędność kosztów		75 %

Wskaźniki ekonomiczne

SPBT: 6 lat

Wskaźniki energetyczne

$q_{\text{Moc co + cwu}} = 436 \text{ kW}$ (wg. dok. proj.)
 $q_{\text{Moc co + cwu}} = 188 \text{ kW}$ (wg. audytu)
 $Q_{\text{co + cwu}} = 525500 \text{ kWh/rok}$ $1892,1 \text{ GJ/a}$

$E = 54,2 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$ $195,1 \text{ MJ}/\text{m}^3 \text{a}$
 $E_s = 160,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ $577,4 \text{ MJ}/\text{m}^2 \text{a}$
 $K = 107\,907 \text{ zł/rok}$ (spalanie węgla)

Wskaźniki energetyczne

$q_{\text{Moc co + cwu}} = 137 \text{ kW}$

$Q_{\text{co+cwu}} = 363\,111 \text{ kWh/rok}$ $1307,2 \text{ GJ/a}$

$E = 33,2 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$ $119,5 [\text{MJ}/\text{m}^3 \text{a}]$

$E_s = 98,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ $353,6 [\text{MJ}/\text{m}^2 \text{a}]$

$K = 26\,471 \text{ zł/a}$ (taryfa dzień/noc)



CZŁONEK POLSKIEGO STOWARZYSZENIA POMP CIEPŁA

DYPLOM

uznania
dla

GMINY GRÓDEK n/ DUNAJCEM

w I edycji konkursu pn.:
SYSTEM GRZEWCZY Z POMPĄ CIEPŁA W UKŁADZIE BIWALENTNYM

za uzyskanie nagrody głównej za projekt inwestycyjny pt.:

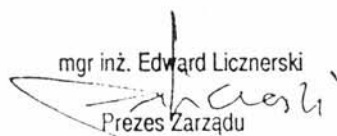
***„Zastosowanie odnawialnych źródeł energii
w systemie grzewczym Gimnazjum w Gródku n/Dunajcem
– ogrzewanie, wentylacja i klimatyzacja z odzyskiem ciepła
i wykorzystaniem pompy ciepła oraz kolektorów słonecznych”***

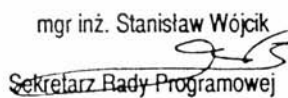
Gratulujemy:

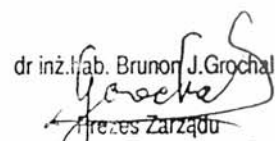
Wójtowi i Radzie Gminy Gródek n/ Dunajcem,
Autorom projektu - Zespołowi pod kierunkiem prof. Jacka Zimnego
- Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Akademii Górniczo – Hutniczej im St. Staszica w Krakowie

Szczególne gratulacje kierujemy do inicjatorów wyróżnionego projektu:

Pana mgr inż. Józefa Tobiasza – Dyrektora Szkoły Podstawowej w Gródku
i Pana mgr Krzysztofa Lenarta - b. Wójta Gminy Gródek n/ Dunajcem

mgr inż. Edward Licznarski

Prezes Zarządu
Firmy Euro-Pompy Ciepła
Sp. z o.o. w Gdańsku

mgr inż. Stanisław Wójcik

Sekretarz Rady Programowej
Polskiego Stowarzyszenia
Pomp Ciepła

dr inż. hab. Brunon J. Grochał

Prezes Zarządu
Polskiego Stowarzyszenia
Pomp Ciepła

Gdańsk, dnia 31 marca 2003 r.

