



# Politechnika Wrocławska

## Przemiana resublimacji jako dolne źródło ciepła dla obiegów pomp ciepła

Autor:

dr inż. Stefan Reszewski

Zakład Chłodnictwa i Pomp Ciepła

**Wydział Mechaniczno-Energetyczny**

Wrocław, 10.05.2011r

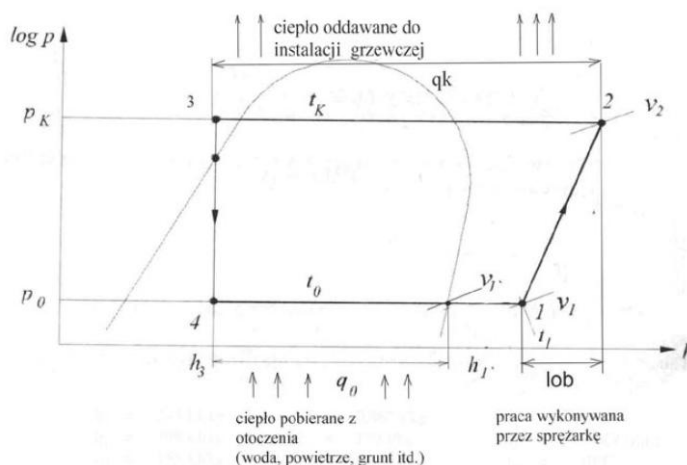
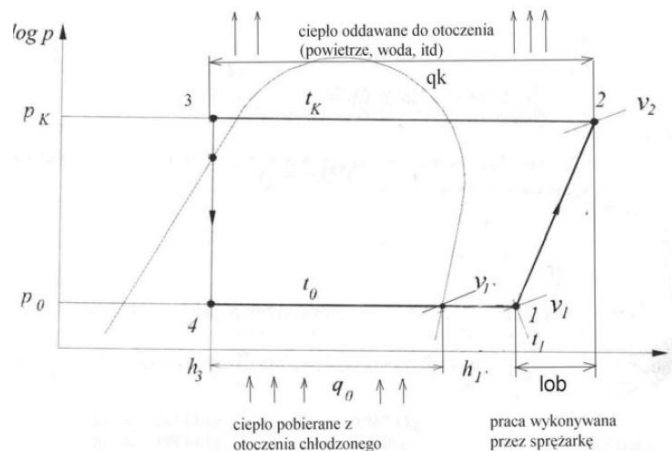
# Pompa ciepła jako urządzenie grzewcze

Pompy ciepła stosowane w technice grzewczej działają analogicznie do urządzeń powszechnie znanych urządzeń chłodniczych takich jak chłodziarka domowa, klimatyzator itd. Różnica polega na ukierunkowaniu efektu pracy instalacji chłodniczej.

Schemat ideowy chłodziarki



Schemat ideowy pompy ciepła





# Dolne źródła ciepła - cechy charakterystyczne

**W obiegu pompy ciepła wyróżnia się dwa źródła ciepła:**

**Źródło dolne** – źródło, z którego pobierana jest energia w postaci ciepła,

**Źródło górne** – źródło, do którego transportowana jest energia w postaci ciepła.

Aby realizować obieg pompy ciepła, konieczne jest zapewnienie **dolnego źródła ciepła**, które powinno posiadać **cechy** charakteryzujące je w sposób **jakościowy i ilościowy**.

**Podstawowe cechy jakościowe** dolnego źródła ciepła:

- a) dostępność źródła,
- b) niska korozyjność źródła.

Parametry opisujące **ilościowo** źródło ciepła to:

- a) temperatura dolnego źródła ciepła i jej zmiany w czasie,
- b) koszty inwestycyjne i eksploatacyjne związane z pozyskiwaniem ciepła z dolnego źródła,
- c) **koherentność** źródła ciepła – dopasowanie zapotrzebowania na pobór ciepła do możliwości eksploatacji dolnego źródła.

# Rodzaje dolnych źródeł ciepła

Podstawowy podział dolnych źródeł ciepła:

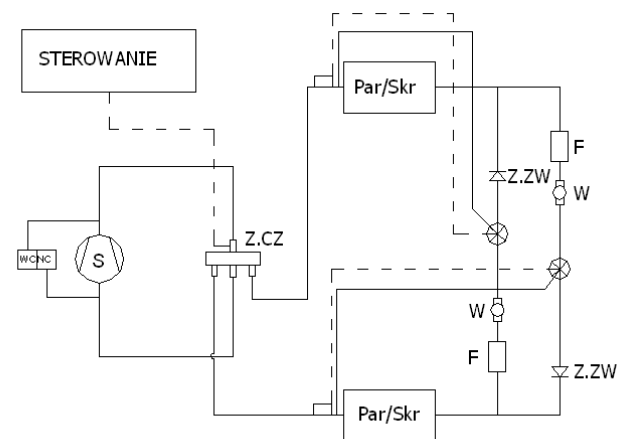
- naturalne,
- sztuczne.

Sztuczne źródła ciepła:

- powietrze wentylacyjne za pomocą instalacji wentylacji mechanicznych wywiewnych,



Centrala wentylacyjno - klimatyzacyjna z pompą ciepła obsługująca halę basenową. System klasy powietrze/ powietrze, bezpośredni po stronie górnego i dolnego źródła ciepła.





# Rodzaje dolnych źródeł ciepła

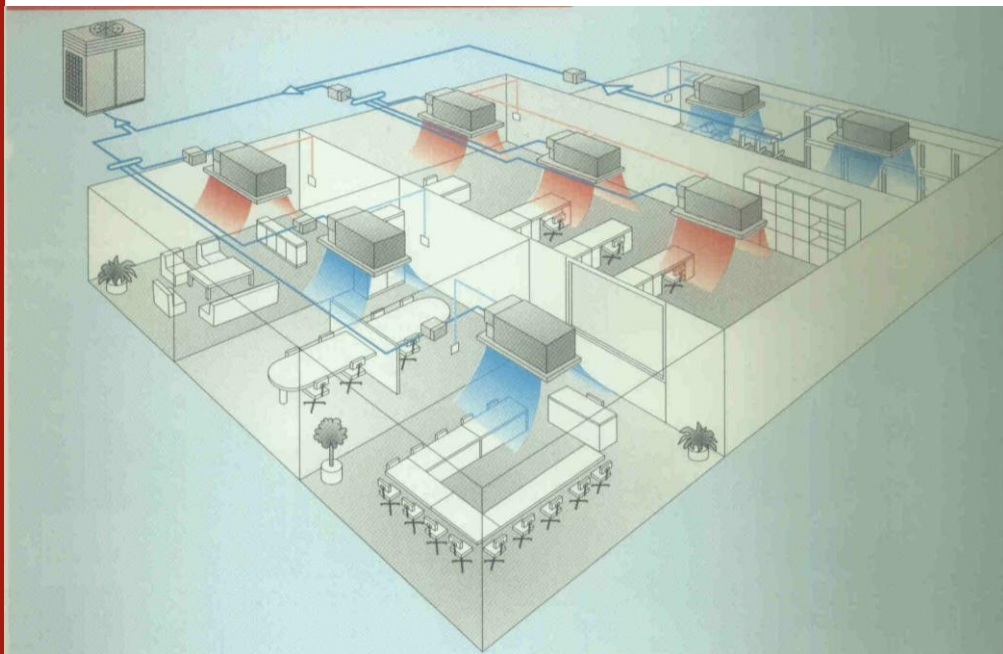
Przykład sztucznego źródła ciepła - proces technologiczny chłodzenia maszyn - wykorzystanego do celów grzewczych. System klasy solanka/powietrze, pośredni po stronie dolnego źródła ciepła bezpośredni po stronie górnego źródła ciepła.



# Naturalne dolne źródła ciepła

Powszechnie stosowane naturalne dolne źródła ciepła:

- powietrze atmosferyczne,
- wody powierzchniowe, gruntowe i podskórne,
- grunt.



Obieg ziębno – grzejny wykonany w systemie bezpośrednim



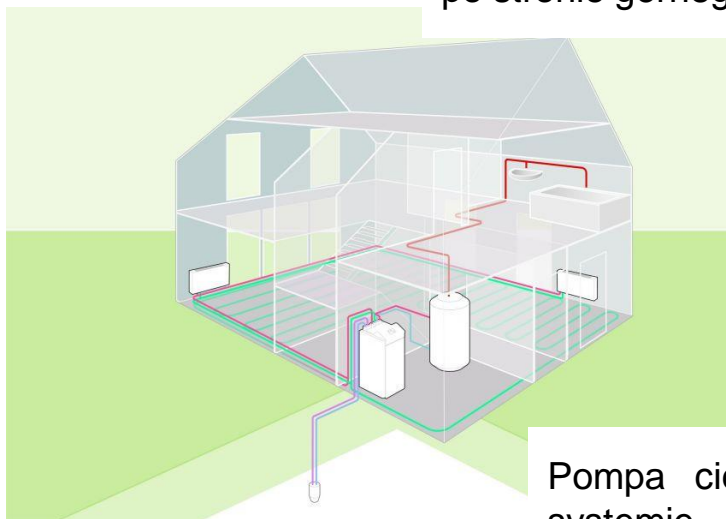
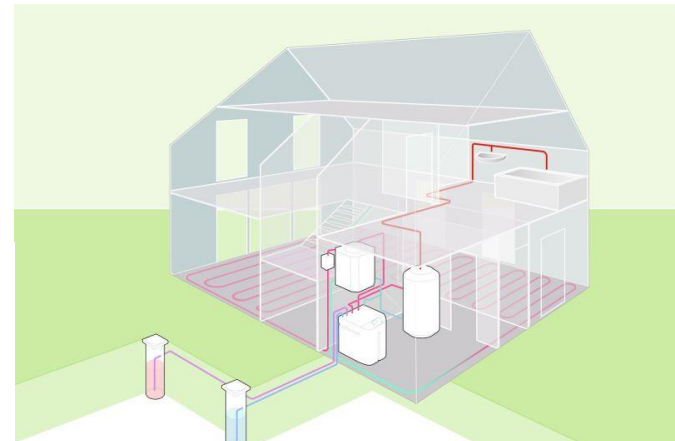
Klimatyzator z funkcją pracy pompy ciepła w systemie bezpośrednim

# Naturalne dolne źródła ciepła

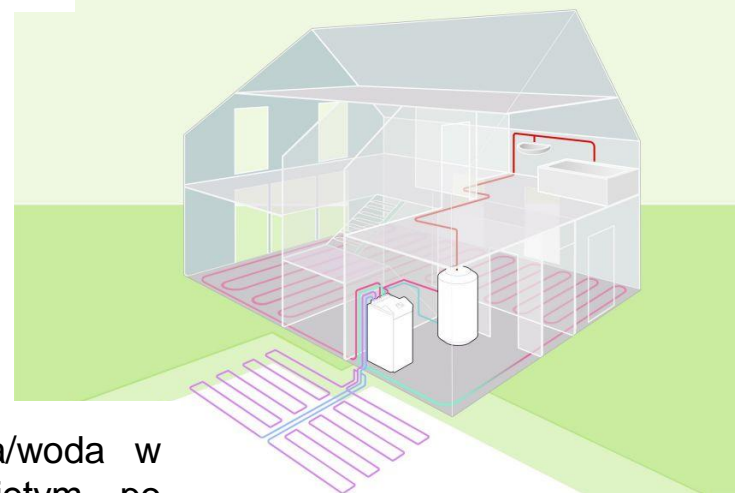
Powszechnie stosowane naturalne dolne źródła ciepła:

- wody powierzchniowe, gruntowe i podskórne,
- grunt.

Pompa ciepła klasy woda/woda w systemie bezpośrednim po stronie dolnego źródła i pośrednim zamkniętym po stronie górnego źródła ciepła



Pompa ciepła klasy solanka/woda w systemie pośrednim zamkniętym po stronie dolnego i górnego źródła ciepła





# Ograniczenia eksploatacyjne powszechnie stosowanych naturalnych dolnych źródeł ciepła

Główne ograniczenia eksploatacji wynikające ze specyfiki źródła:

a) powietrze

- niekoherentność źródła ciepła,
- niska wartość ciepła właściwego,
- ograniczona możliwość pozyskania ciepła w wymiennikach lamelowych przeponowych,
- konieczność angażowania energii do napędu wentylatorów i do procesu odszraniania.

b) Woda

- dostępność źródła,
- ograniczona możliwość pozyskania ciepła w wymiennikach przeponowych na drodze konwekcji,
- konieczność angażowania energii do napędu pomp,
- ograniczone możliwości techniczne wprowadzenia wody, od której zostało odebrane ciepło, do warstwy wodonośnej.

c) Grunt

- konieczność stosowania systemów pośrednich z wykorzystaniem nietoksycznych płynów niezamarzających,
- niska gęstość pozyskiwanego strumienia ciepła,
- konieczność angażowania energii do napędu pomp,
- wysokie ryzyko wyeksploatowania źródła ciepła przy nieumiejętnym zaprojektowaniu wymiennika gruntowego,
- zmienna różnica temperatur pomiędzy temperaturą gruntu i płynu.





# Ograniczenia prawne w eksploatacji naturalnych powszechnie stosowanych dolnych źródeł ciepła

Główne ograniczenia prawne związane z eksploatacją naturalnych źródeł ciepła:

a) powietrze

- hałas [3],

b) Woda

- konieczność uzyskania pozwolenia wodno – prawnego [2,3]

c) Grunt

- w przypadku stosowania wymienników gruntowych pionowych o głębokości do 30m konieczne jest uzyskanie pozwolenia wodnoprawnego, [2,3]

-w przypadku stosowania wymienników gruntowych pionowych o głębokości powyżej 30m konieczne jest uzyskanie pozwolenia wodnoprawnego oraz uzyskać zgodę właściwego Urzędu Górniczego [1,2,3]

[1] „Prawo geologiczne i górnicze” Dz.U. nr 228 z 2005 r. poz.1947,

[2] „Prawo wodne” Dz. U. z 2005 r. Nr 239, poz. 2019

[3] „Prawo ochrony środowiska” Dz.U.08.25.150 z późniejszymi zmianami



# Wymagania dotyczące efektywności stawiane pompom ciepła

Akty prawne:

- DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE

-PN-EN 14511-1 2009 Klimatyzatory, ziębiarki cieczy i pompy ciepła, ze sprężarkami o napędzie elektrycznym, do grzania i ziębienia

Typ pompy ciepła	Graniczny współczynnik efektywności przed rokiem 2011	Graniczny współczynnik efektywności od roku 2011	Wymagany wzrost współczynnika efektywności
Powietrze –woda Dolne źródło ciepła –powietrze Górne źródło ciepła – woda instalacji CO	3,0	3,10	+3,33%
Solanka – woda Dolne źródło ciepła solanka odbierająca ciepło za pomocą wymiennika gruntowego Górne źródło ciepła – woda instalacji CO	4,0	4,30	+7,50%
Woda – woda Dolne źródło ciepła woda Górne źródło ciepła – woda instalacji CO	4,50	5,10	+13,33%



# Wymagania dotyczące efektywności stawiane pompom ciepła- warunki porównawcze

Tabela 1. Standardowe warunki eksploatacji, dla których sformułowano wymagania dotyczące współczynników efektywności zostały zamieszczone w tabeli 3 [4]  
Uwaga: Tabela dotyczy pomp ciepła woda/woda i solanka/woda.

		Parownik		Skrapłacz	
		Temperatura wody na wlocie do parownika [°C]	Temperatura wody na wylocie z parownika [°C]	Temperatura wody na wlocie do skraplacza [°C]	Temperatura wody na wylocie ze skraplacza [°C]
Standardowe warunki porównawcze Wg norm: PN - EN 14511-2	Dolne źródło ciepła – woda Górne źródło ciepła - woda lub solanka w instalacji ogrzewania podłogowego	10	7	30	35
	Dolne źródło ciepła – solanka w instalacji wymiennika gruntowego Górne źródło ciepła - woda lub solanka w instalacji ogrzewania podłogowego	0	-3	30	35

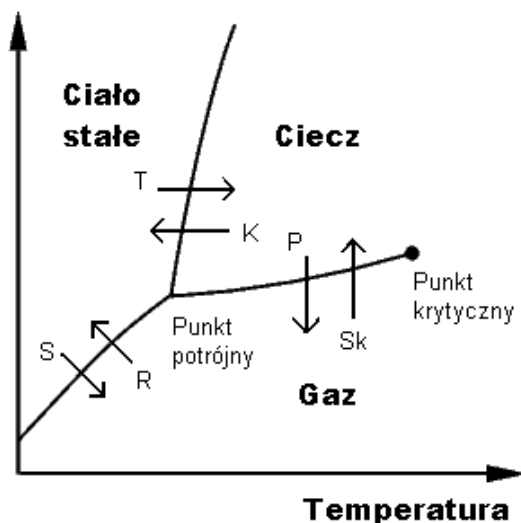
Tabela 2. Standardowe warunki eksploatacji, dla których sformułowano wymagania dotyczące współczynników efektywności zostały zamieszczone w tabeli 3 [4]  
Uwaga: Tabela dotyczy pomp ciepła powietrze zewnętrzne/woda.

		Parownik		Skrapłacz	
		Temperatura powietrza napływającego na parownik mierzona termometrem suchym [°C]	Temperatura powietrza napływającego na parownik mierzona termometrem mokrym [°C]	Temperatura wody wlocie do skraplacza [°C]	Temperatura wody na wylocie ze skraplacza [°C]
Standardowe warunki porównawcze Wg norm: PN - EN 14511-2 Warunki obowiązujące przed 2011	Dolne źródło ciepła – powietrze zewnętrzne Górne źródło ciepła - woda lub solanka w instalacji ogrzewania podłogowego	7	6	30	35
	Dolne źródło ciepła – powietrze zewnętrzne Górne źródło ciepła - woda lub solanka w instalacji ogrzewania podłogowego	2	1	30	35

# Przemiana resublimacji wilgoci z powietrza

Procesy resublimacji i sublimacji są zjawiskami, podczas których występuje najbardziej intensywna wymiana ciepła jaką można zaobserwować w przyrodzie. Resublimacja polega na bezpośrednim przejściu substancji z gazowego stanu skupienia w stały. Zjawisko to występuje gdy temperatura punktu rosy dla wody zawartej w powietrzu przypada poniżej punktu zamarzania czyli poniżej  $0^{\circ}\text{C}$ . Jeśli przy temperaturze poniżej  $0^{\circ}\text{C}$  nasycone parą wodną powietrze styka się z przedmiotami ochłodzonymi para wodna przechodzi bezpośrednio ze stanu gazowego w drobne kryształki lodu.

Ciśnienie



Ciepło utajone przemiany fazowej resublimacji oraz sublimacji dla wody wynosi **2833 kJ/kg**.

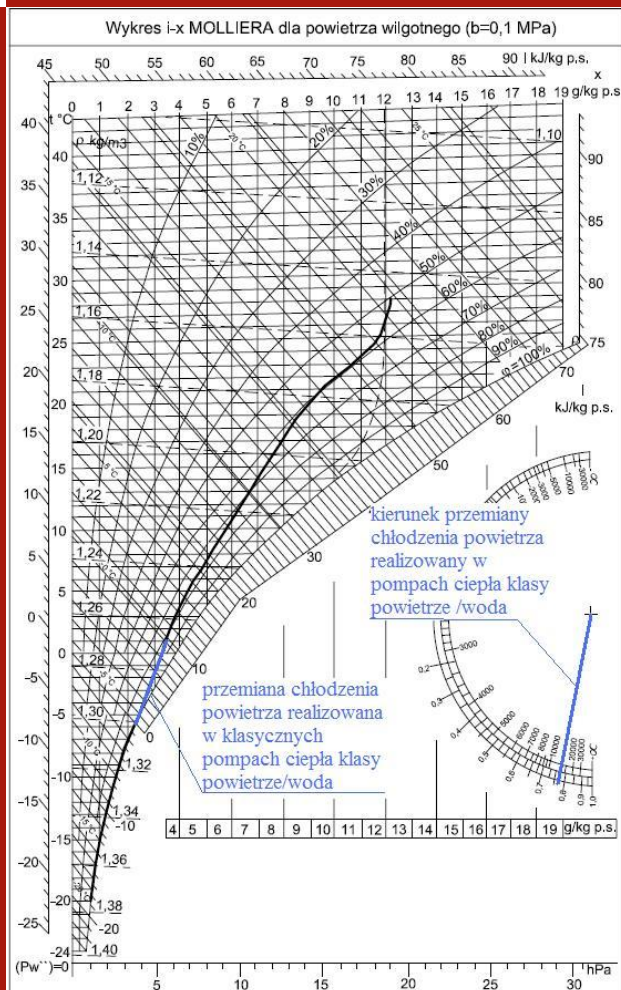
Ciepło przemiany parowania i skraplania 2500 kJ/kg.

Ciepło zamarzania wody 333 kJ/kg

Ciepło właściwe wody około 4,19 kJ/kgK

Ciepło właściwe powietrza 1,05 kJ/kgK

# Możliwości eksploatacji źródła ciepła w postaci powietrza atmosferycznego



Założenia: Eksploatacja powietrza atmosferycznego podczas przemiany chłodzenia w klasycznych rozwiązaniach w warunkach określonych normą PN EN 14511, Schłodzenie powietrza o 7K, strumień masowy powietrza 1kg/s,

$$\dot{Q} = \dot{m}_p \cdot \Delta t = 1 \text{ kg/s} \cdot 9,5 \text{ kJ/kg} = 9,5 \text{ kW}$$

Założenia: Eksploatacja powietrza atmosferycznego podczas przemiany resublimacji wilgoci z powietrza w warunkach określonych normą PN EN 14511, strumień masowy 1kg/s, zawartość wilgoci w powietrzu 3,7 g/kg.

$$\dot{Q} = \dot{m}_w \cdot (r + c_t) = 0,0037 \text{ kg/s} \cdot 2883 \text{ kJ/kg} = 10,66 \text{ kW}$$

Wnioski wstępne:

1. Strumień ciepła przemiany resublimacji wilgoci z powietrza jest o około 12% większy.
2. Aby uzyskać efekt resublimacji wystarczająca jest temperatura ścianki wymiennika  $-1^\circ\text{C}$ .
3. Aby uzyskać podobny efekt w przypadku przemiany chłodzenia powietrza konieczna jest temperatura ścianki wymiennika  $-8^\circ\text{C}$ .
4. Aby pozyskać strumień ciepła porównywalny z procesem resublimacji konieczne jest zaangażowanie wentylatora o wydatku około  $2850 \text{ m}^3/\text{h}$ .
5. Spodziewany współczynnik efektywności pompy ciepła pozyskującej ciepło resublimacji będzie wyższy.



# Konstrukcja parownika

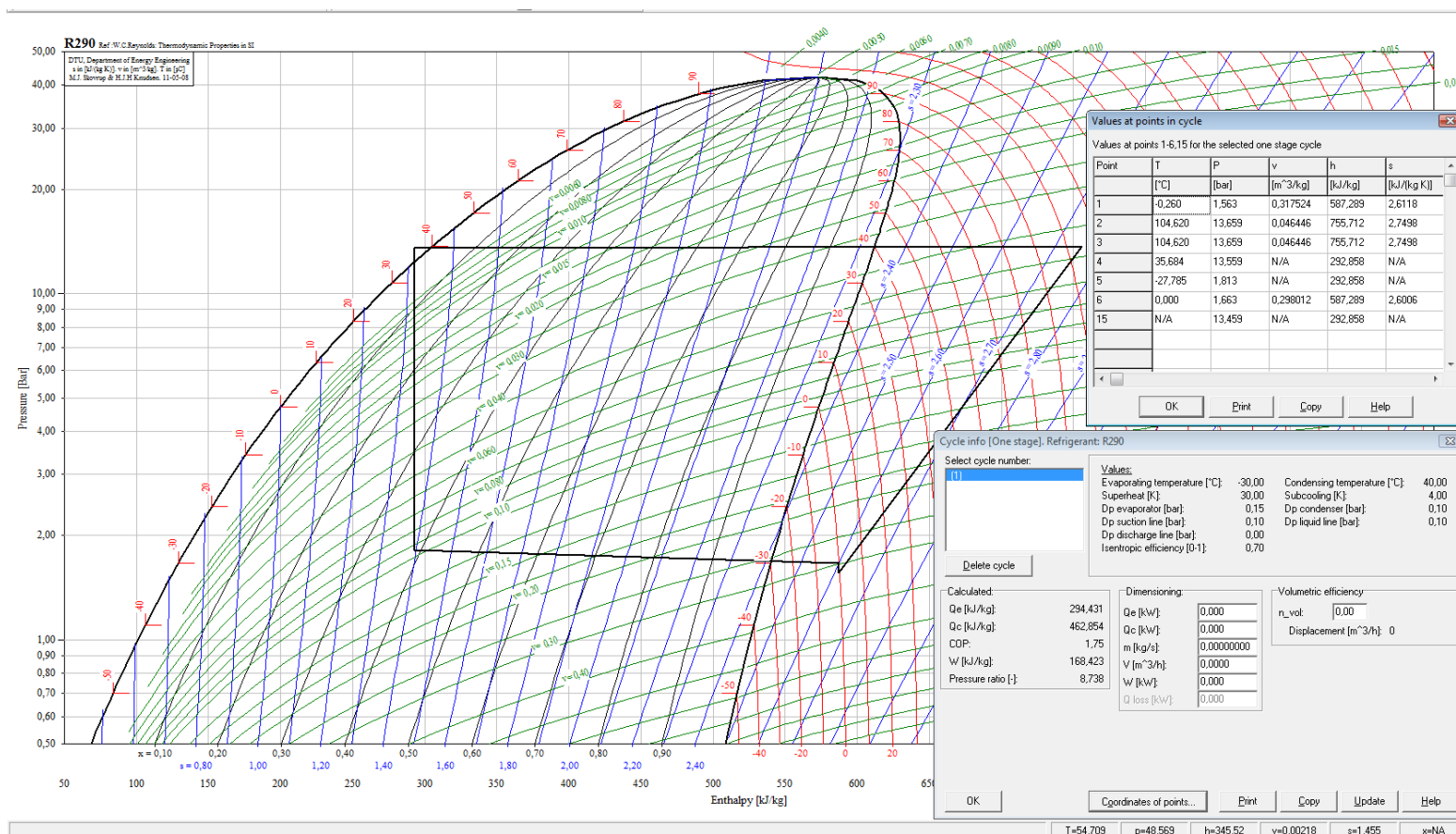
Założenia:

- Parownik o rozwiniętej powierzchni zewnętrznej,
- Przepływ powietrza naturalny,
- Materiał odporny na korozję, posiadający wysoki współczynnik przewodzenia ciepła i tani,
- Konstrukcja ułatwiająca proces odszraniania,
- Konstrukcja umożliwiająca poprawny transport oleju i ziębnika.





# Wybór ziębnika



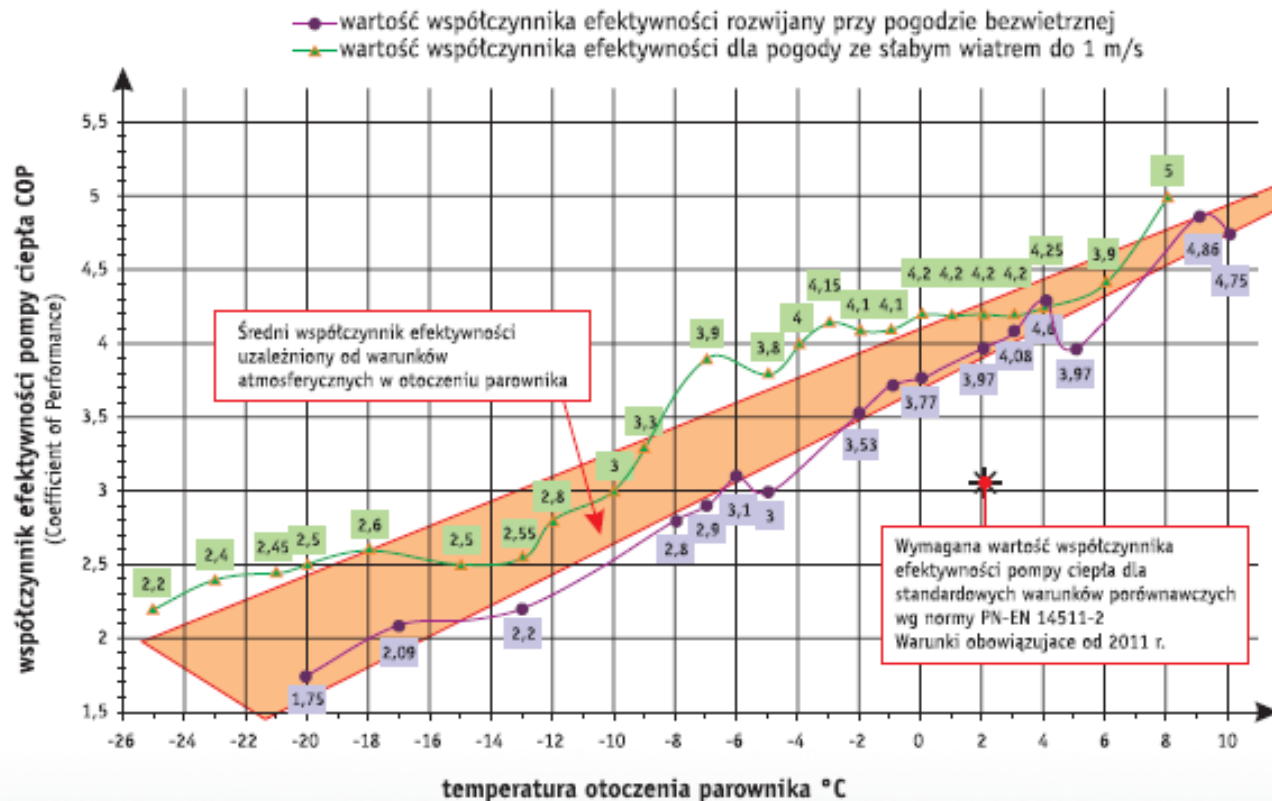
Eksperymenty przeprowadzone z ziębnikami: R 507, R404a, R134a, R 290 potwierdziły, że zastosowanie propanu daje największy współczynnik efektywności i największą wydajność objętościową.



# Optymalizacja konstrukcji pompy ciepła



# Rezultaty badań prototypu pompy ciepła eksploatującej ciepło resublimacji

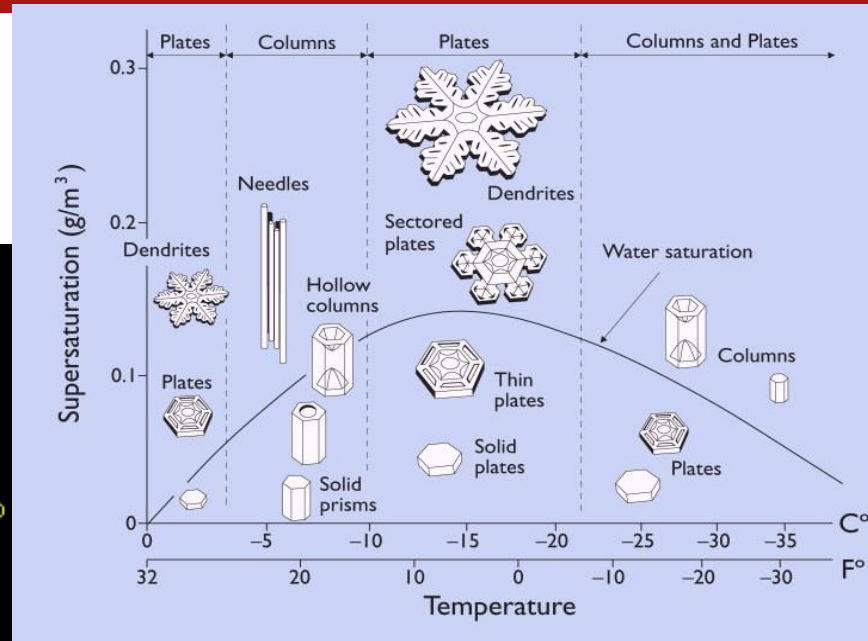
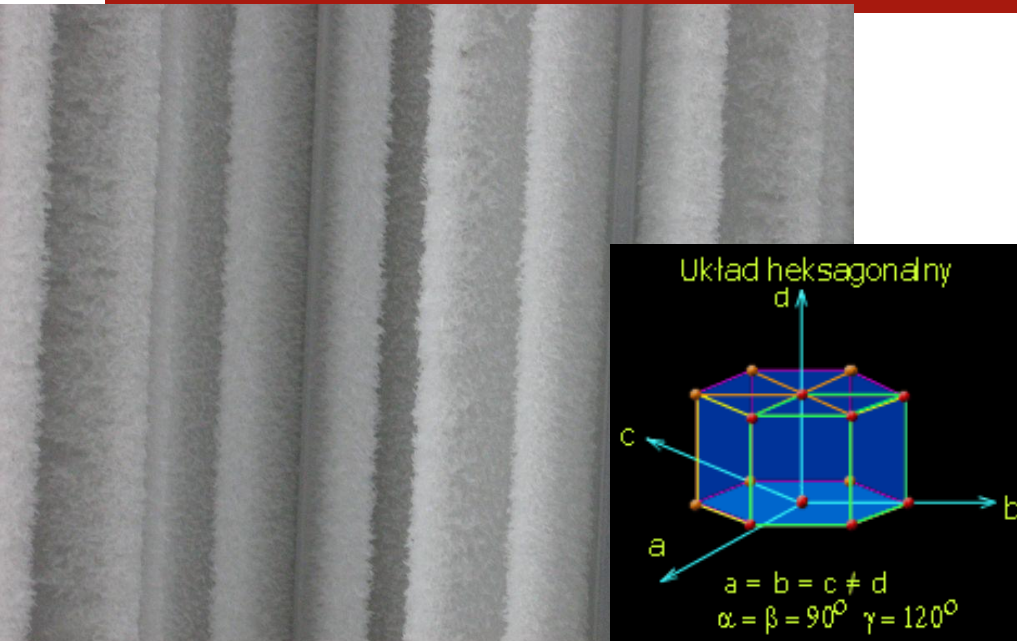


Rezultaty uzyskane na drodze czteroletnich badań prototypu pompy ciepła EKO-HEAT w warunkach eksploatacyjnych. Temperatura wody w instalacji ogrzewania podłogowego zgodnie z normą PN-EN 14511

$$COP_{\text{pompy ciepła}} = \frac{\text{Ciepło wprowadzone do instalacji CO lub CWU}}{\text{Nakład energetyczny na napęd (sprężarki i innych urządzeń służących pozyskaniu ciepła)}}$$



# Analiza procesu przejmowania ciepła na drodze resublimacji i wpływ zjawiska na wielkość parownika



Uzyskanie odpowiedniej struktury kryształów lodu pozwala na odpowiednie rozwinięcie powierzchni wymiany ciepła nawet przy niskich temperaturach.

**Śnieg** to zlepek kryształków lodu powstające w wyniku bezpośredniej zmiany pary wodnej zawartej w powietrzu w lód. Zachodzi tu więc zjawisko resublimacji. Kryształ lodu w wiązaniach wodorowych ma strukturę heksagonalną. Jego komórka elementarna (najmniejszy fragment powtarzający się w sieci krystalicznej) ma kształt graniastosłupa o podstawie sześciokąta. Stąd kryształy lodu mają sześciokrotną oś symetrii co przesądza o kształcie płatków śniegu.

Płatki śniegu powstają w chmurach, gdzie znajduje się duże nasycenie pary wodnej. Przy ujemnej temperaturze i w przypadku zaistnienia centrum krystalizacji (np. drobinka kurzu lub pyłek kwiatowy) rozpoczyna się na nim kondensacja cząsteczek wody i tworzenie kryształu.





# Analiza procesu przejmowania ciepła na drodze resublimacji i wpływ zjawiska na wielkość parownika

W czasie trwających 4 lata eksperymentów, aby doprowadzić proces optymalizacyjny do konstrukcji docelowej:

1. Około 30 razy przeprojektowano konstrukcję zmieniając sprężarki, skraplacze, elementy rozprężne, średnice rurociągów, zbiorniki i td.

Wprowadzono do konstrukcji:

Doziębacz, zbiornik ciekłego ziębnika wyposażony w sito molekularne, wyselekcjonowano sprężarki pod kątem maksymalnego współczynnika dostarczania (konstrukcja Compliant Scroll), wybrano ziębnik pod kątem maksymalnego współczynnika efektywności pompy ciepła oraz wydajności objętościowej, zoptymalizowano napełnienie ziębnikiem, dobrano odpowiednie termostatyczne zawory rozprężne itd.

2. Około 20 razy zmieniano konstrukcję parownika aby spełnić wymagania współpracy z instalacją chłodniczą i umożliwić w sposób skuteczny pozyskiwanie ciepła resublimacji.

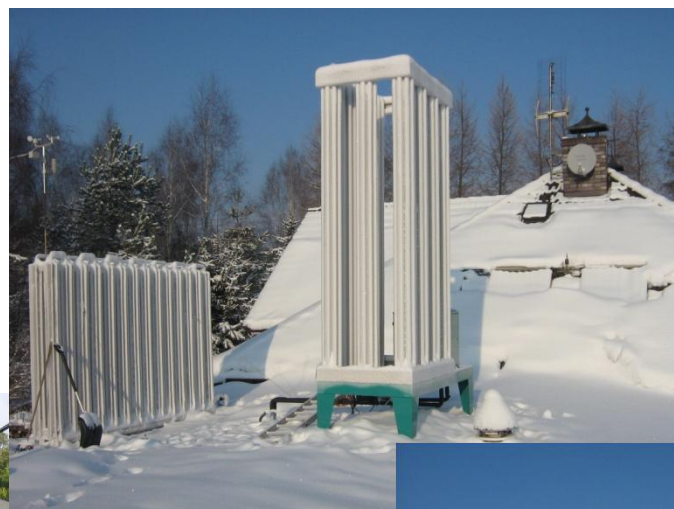
Zoptymalizowano długość żebra oraz jego grubość na drodze eksperymentu ze względu na fakt, że znany z literatury model matematyczny opisujący długość żebra nie spełnił oczekiwań i nie nadaje się do zastosowania dla przypadku resublimacji.

Opracowano odpowiednią konstrukcję parowacza rozwiązując transport oleju w parowniku.

Rozwiązano problem odszraniania parownika poprzez dopuszczenie do swobodnej migracji ziębnika.

## Etap prototypu produkcyjnego

Przy współpracy z PWPO-T PROMONT Sp. z o.o. Świebodzice wyprodukowano egzemplarze testowe.

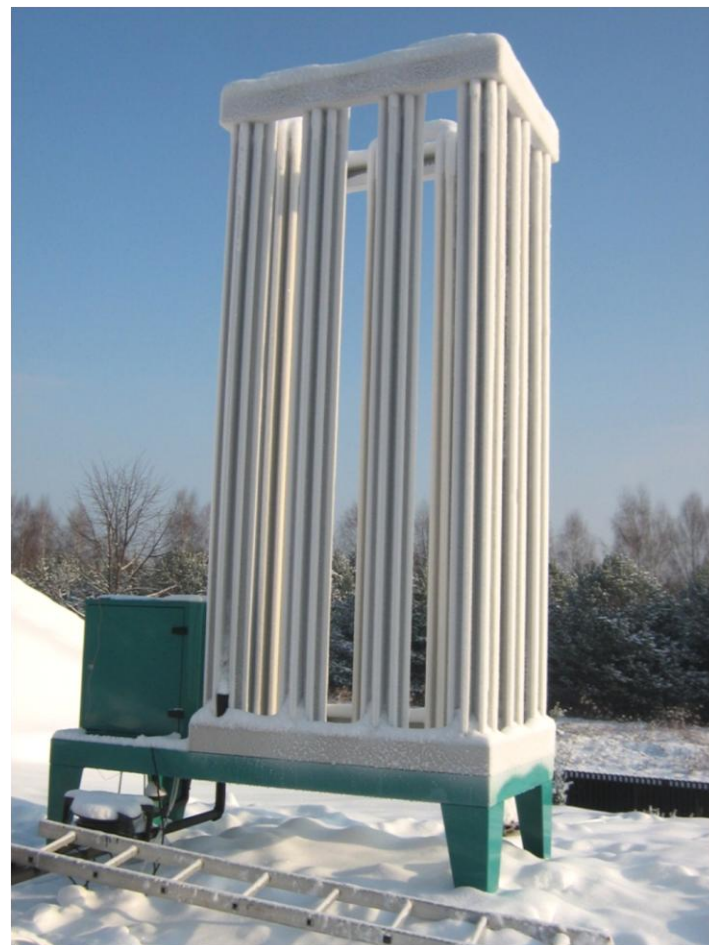


# Testy egzemplarzy produkcyjnych

Testy egzemplarzy produkcyjnych:

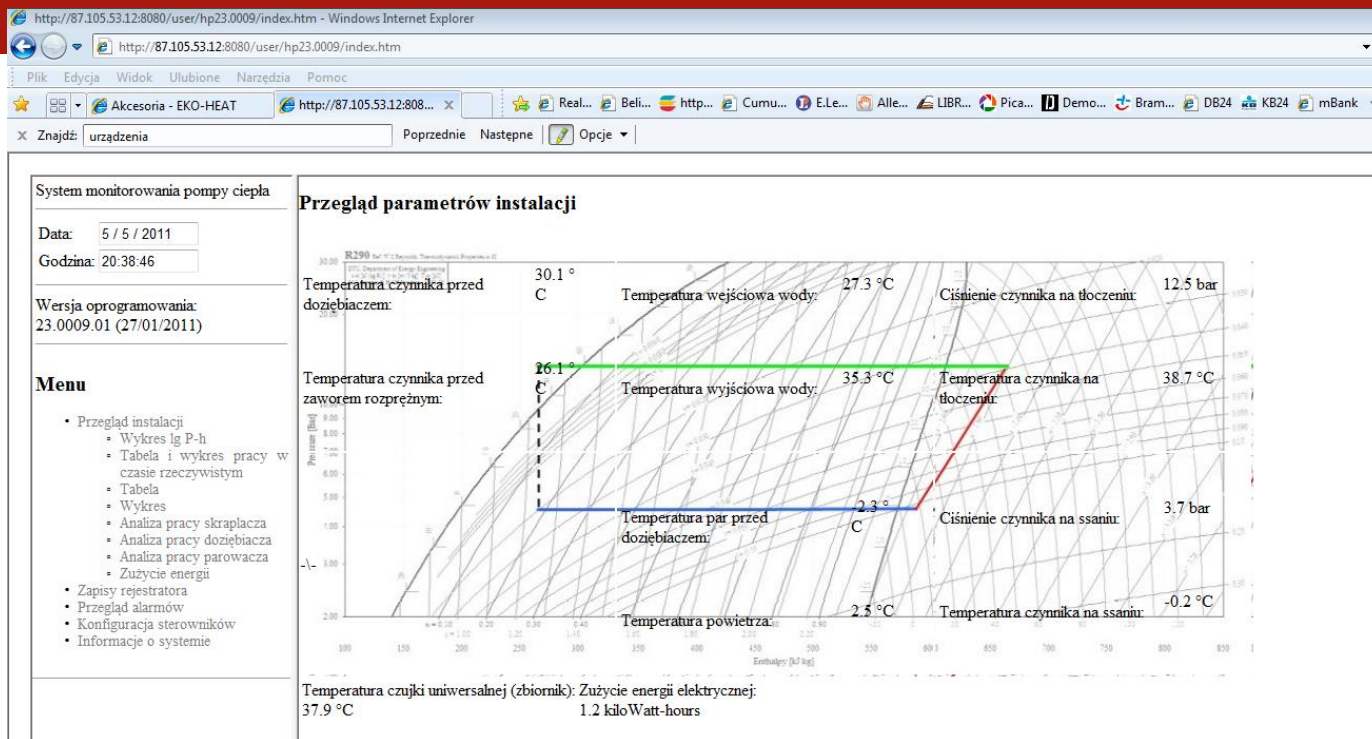
1. Jeden z egzemplarzy produkcyjnych zainstalowano w obiekcie, na którym testowano prototyp i eksperymenty prowadzono metodą porównawczą z prototypem. Uzyskano współczynniki efektywności podobne co w przypadku prototypu.
2. Drugi z egzemplarzy produkcyjnych wyposażono w instalację monitoringu i badania tego egzemplarza prowadzone są od początku.

Badania są kontynuowane i będą trwały przez cały następny sezon grzewczy. Spodziewać się można podobnych wartości współczynnika efektywności do przedstawionych wcześniej.





# System monitoringu



Aktualny współczynnik efektywności egzemplarza produkcyjnego dla przedstawionych warunków pracy – zbliżonych do wymaganych w normie PN EN 14511 –  $COP_{(pc)} = 5,26$

Przepływ przez skraplacz 2,2 m<sup>3</sup>/h. Chłodziwo skraplacza – woda  $c_p=4,19\text{kJ/kgK}$ . Pobór mocy przez pompę EKO HEAT 16/81 bez uwzględniania silnika pompy skraplacza 3,9kW.

$$Q = 2200\text{kg/h} \times 4,19 \times (35,3 - 27,3)/3600\text{s} = 20,48\text{kW}$$

$$COP_{(pc)} = 20,48/3,9 = 5,26$$





# System monitoringu

System monitorowania pompy ciepła

Data: 5 / 5 / 2011  
Godzina: 20:39:09

Wersja oprogramowania:  
23.0009.01 (27/01/2011)

**Menu**

- Przegląd instalacji
  - Wykres lg P-h
  - Tabela i wykres pracy w czasie rzeczywistym
  - Tabela
  - Wykres
  - Analiza pracy skraplacza
  - Analiza pracy dołębniacza
  - Analiza pracy parowacza
  - Zużycie energii
- Zapisy rejestratora
- Przegląd alarmów
- Konfiguracja sterowników
- Informacje o systemie

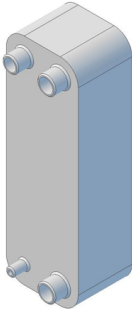
**Przegląd parametrów instalacji - analiza pracy skraplacza**

Temperatura tłoczenia: 38.5 °C

Temperatura wyjściowa wody: 34.9 °C

Temperatura końcowa skraplania (temperatura wejściowa cieczy na dołębniacz): 29.2 °C

Ciepłota skraplania: 9.6 bar



System monitorowania pompy ciepła

Data: 5 / 5 / 2011  
Godzina: 8:13:09

Wersja oprogramowania:  
23.0009.01 (27/01/2011)

**Menu**

- Przegląd instalacji
  - Wykres lg P-h
  - Tabela i wykres pracy w czasie rzeczywistym
  - Tabela
  - Wykres
  - Analiza pracy skraplacza
  - Analiza pracy dołębniacza
  - Analiza pracy parowacza
  - Zużycie energii
- Zapisy rejestratora
- Przegląd alarmów
- Konfiguracja sterowników
- Informacje o systemie

**Przegląd parametrów instalacji - analiza pracy dołębniacza**

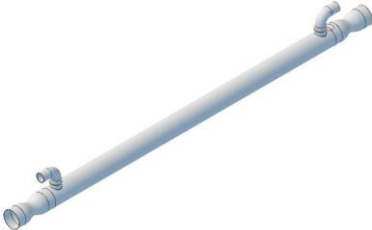
Ciepłota tłoczenia: 15.2 bar

Temperatura wyjściowa cieczy: 22 °C

Temperatura czynnika (par) na wejściu do dołębniacza: 2.5 °C

Temperatura czynnika (par) na wyjściu z dołębniacza: 6.3 °C

Temperatura wejściowa cieczy: 24.1 °C



System monitorowania pompy ciepła

Data: 5 / 5 / 2011  
Godzina: 8:13:28

Wersja oprogramowania:  
23.0009.01 (27/01/2011)

**Menu**

- Przegląd instalacji
  - Wykres lg P-h
  - Tabela i wykres pracy w czasie rzeczywistym
  - Tabela
  - Wykres
  - Analiza pracy skraplacza
  - Analiza pracy dołębniacza
  - Analiza pracy parowacza
  - Zużycie energii
- Zapisy rejestratora
- Przegląd alarmów
- Konfiguracja sterowników
- Informacje o systemie

**Przegląd parametrów instalacji - analiza pracy parowacza**

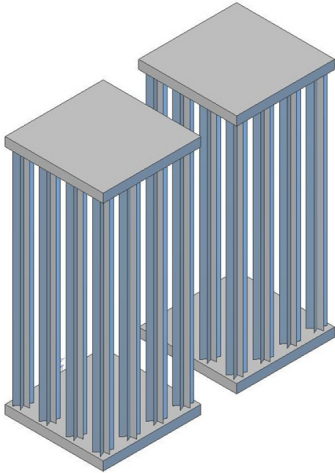

Ciepłota tłoczenia: 15.2 bar

Temperatura cieczy na wejściu zaworu rozprężnego: 22.8 °C

Ciepłota ssania: 3.5 bar

Temperatura wyjściowa na parowacz: 2.3 °C

Temperatura otoczenia: 3.5 °C



System monitorowania pompy ciepła

Data: 5 / 5 / 2011  
Godzina: 8:14:07



Wersja oprogramowania:  
23.0009.01 (27/01/2011)


**Menu**

- Przegląd instalacji
  - Wykres lg P-h
  - Tabela i wykres pracy w czasie rzeczywistym
  - Tabela
  - Wykres
  - Analiza pracy skraplacza
  - Analiza pracy dołębniacza
  - Analiza pracy parowacza
  - Zużycie energii
- Zapisy rejestratora
- Przegląd alarmów
- Konfiguracja sterowników
- Informacje o systemie

**Przegląd instalacji - analiza zużycia energii**

Zużycie energii: 0.3 kiloWatt-hours

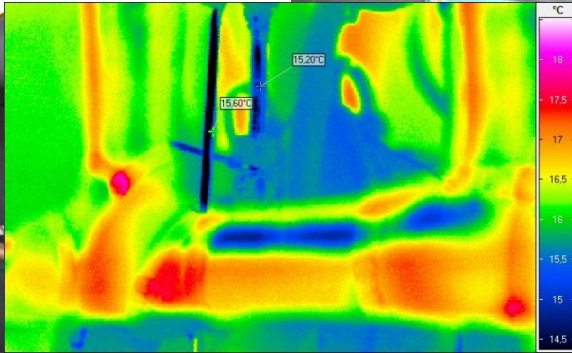
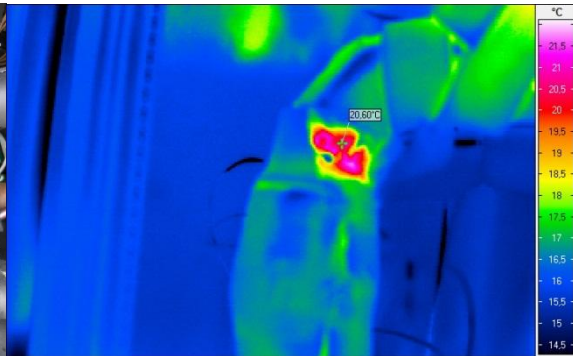
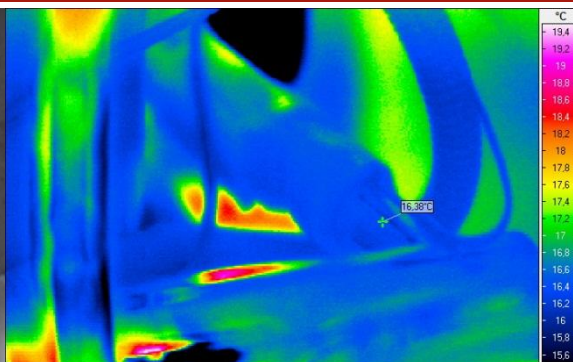
Zeruj licznik:  







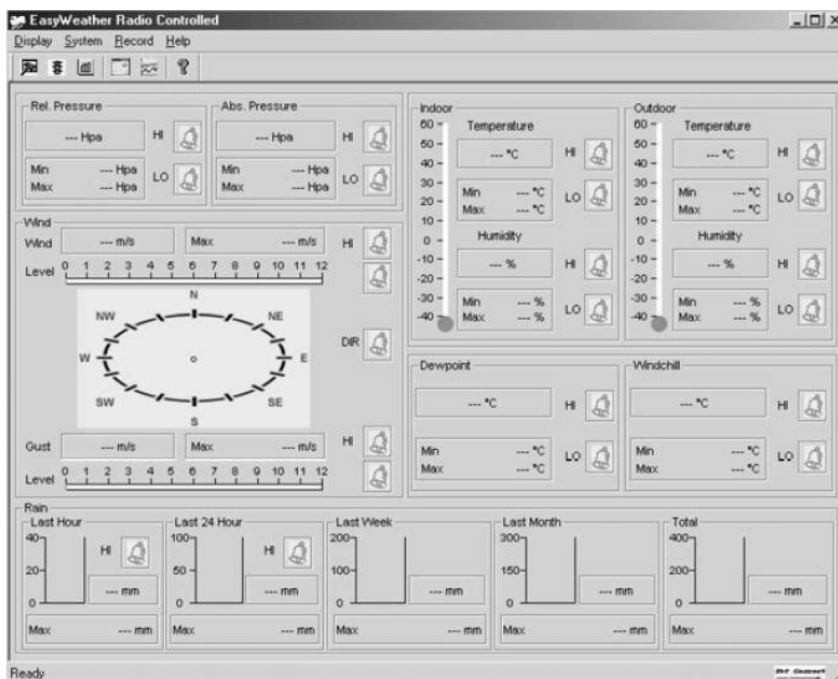
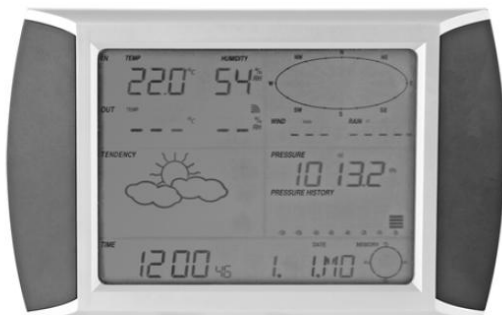
# Kalibracja czujników z zastosowaniem techniki termowizji





# System monitoringu-parametry atmosferyczne

CENTRUM POGODOWE Z EKRANEM DOTYKOWYM I POŁĄCZENIEM Z KOMPUTEREM



The screenshot shows the 'Setup' window in the EasyWeather software. It contains several sections for configuring the system:

- Time Zone**: A dropdown menu.
- Interval**: A text input field followed by 'Minute'.
- Unit**: A section with dropdown menus for 'Indoor Temperature', 'Outdoor Temperature', 'Pressure', 'Wind Speed', and 'Rainfall'.
- Display**: A section with dropdown menus for 'Format', 'Day', 'Time', 'Axis', 'Outdoor Temperature', 'Pressure', 'Velocity', and 'Rainfall'.
- Alarm Enable**: A section with checkboxes for various alarms, including 'Time', 'Wind Direct', 'Indoor Humidity Low/High', 'Outdoor Humidity Low/High', 'Indoor Temperature Low/High', 'Outdoor Temperature Low/High', 'Windchill Low/High', 'Dewpoint Low/High', 'Absolute Pressure Low/High', 'Relative Pressure Low/High', 'Wind Speed High', 'Gust Speed High', 'Hour Rainfall High', and 'Day Rainfall High'.
- Pressure**: A section with 'Relative' and 'Absolute' pressure settings, each with a text input field followed by 'Hpa'.
- Buttons**: 'Save' and 'Cancel' buttons at the bottom.



## Dalsze prace badawcze i analityczne

Ze względu na fakt, że w literaturze nie napotkano na zależności opisujące proces wnikania ciepła od strony resublimującej wody dalsze prace analityczne zakładają przygotowanie zależności opisujących w sposób matematyczny to zjawisko.

Z obserwacji prowadzonych w horyzoncie czasowym 5 lat zauważono, że na ten proces mają wpływ następujące parametry:

- Prędkość powietrza opływającego powierzchnie wymiennika,
- Zawartość wilgoci w powietrzu,
- Różnica temperatur pomiędzy temperaturą ścianki wymiennika i powietrza atmosferycznego,
- Ciśnienie atmosferyczne
- Temperatura powietrza atmosferycznego.

Dysponując narzędziami do monitorowania parametrów atmosferycznych oraz instalacji pompy ciepła spodziewany efekt to stworzenia modelu matematycznego do projektowania wymienników z przeznaczeniem dla pomp ciepła pozyskujących ciepło resublimacji.



**Dziękuję za uwagę**



# Politechnika Wroclawska

## Przemiana resublimacji jako dolne źródło ciepła dla obiegów pomp ciepła

Autor:

dr inż. Stefan Reszewski

Zakład Chłodnictwa i Pomp Ciepła

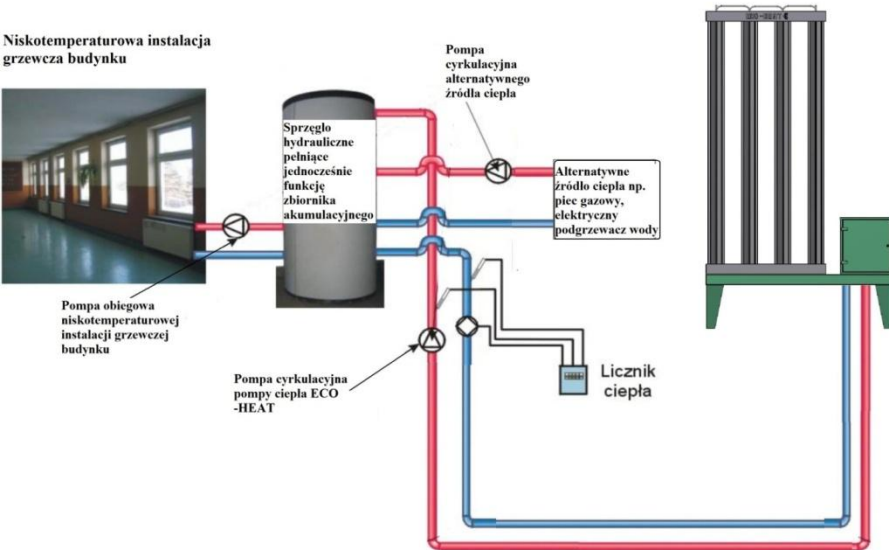
**Wydział Mechaniczno-Energetyczny**

Wrocław, 10.05.2011r

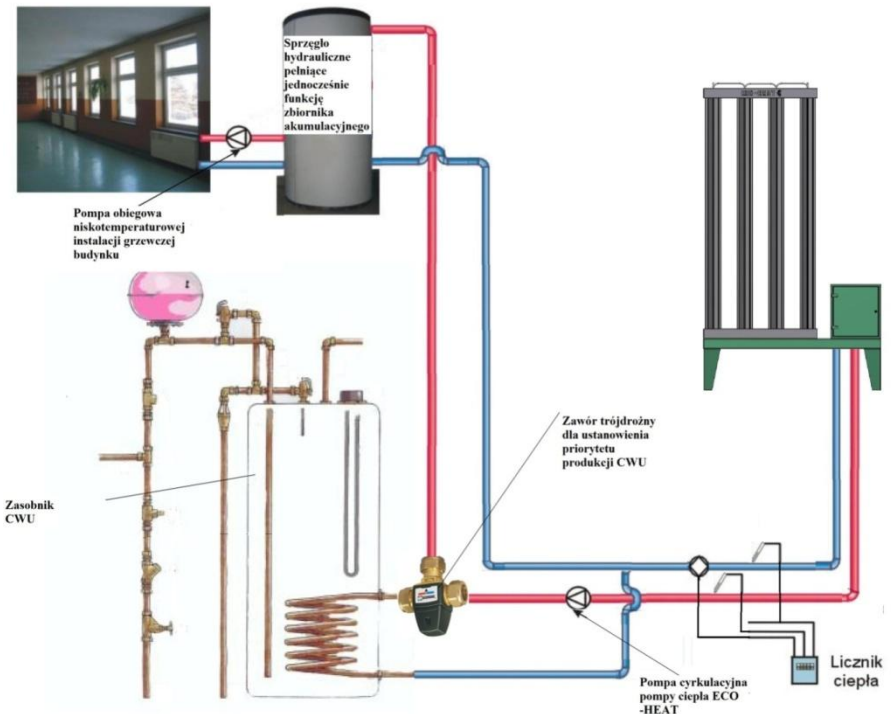


# Przykładowe schematy realizacji instalacji grzewczej wyposażonej w pompę ciepła

Niskotemperaturowa instalacja grzewcza budynku



Niskotemperaturowa instalacja grzewcza budynku



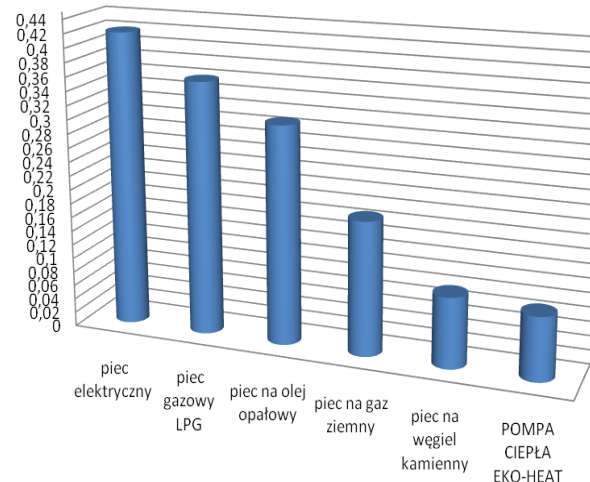
# Rezultaty badań eksploatacyjnych z sezonu 2010/2011

Porównanie uzyskania 1 kW ciepła przy użyciu następujących źródeł ciepła:

- pompy ciepła EKO-HEAT,
- piec kondensacyjny opalany olejem opałowym o sprawności 94%,
- piec gazowy kondensacyjny o sprawności 96% opalany gazem LPG ze zbiornika wolnostojącego,
- piec gazowy kondensacyjny o sprawności 96% na gaz GZ50,
- piec węglowy nowoczesny o sprawności 80% przy założeniu że wartość opałowa spalanego węgla wynosi 29 000 MJ/kg.
- Nagrzewnica elektryczna o sprawności 100%.
- Przyjęto do obliczeń opłatę za energię elektryczną według taryfy G11 dla gospodarstw domowych.

Do obliczeń przyjęto ceny rynkowe paliw oraz taryfy z listopada 2010.

Koszt produkcji 1 kWh ciepła przy pomocy różnych rodzajów źródeł ciepła



W chwili obecnej koszt ogrzewania za pomocą pompy ciepła EKO-HEAT biorąc pod uwagę średnią temperaturę dla okresu zimowego w strefie klimatycznej miasta Wrocławia jest:

- ponad 4 razy niższy niż ogrzewanie nagrzewnicami elektrycznymi,
- 4 razy niższy niż ogrzewania olejem opałowym,
- ponad 3 razy niższy niż ogrzewanie gazem LPG,
- ponad 2 razy niższy niż gazem GZ 50.
- porównywalne z ogrzewaniem piecem na węgiel kamienny.



## Szacowany czas zwrotu inwestycji

Dla wykonania porównania przyjęto następujące założenia:

- średnia temperatura w okresie grzewczym dla rejonu Wrocławia wynosi  $-4^{\circ}\text{C}$
- współczynnik efektywności EKO HEAT dla tej temperatury wynosi 4
- moc urządzenia grzewczego koniecznego do ogrzania budynku - 12kW,
- przyjęta ilość godzin w czasie 6 miesięcy okresu grzewczego – 4320 godzin,
- całkowite zapotrzebowanie na ciepło w ciągu okresu grzewczego dla budynku o stałym zapotrzebowaniu 12kW wynosi 51840 kWh.
- przyjęto, że nie ma możliwości dofinansowania inwestycji w pompę ciepła EKO-HEAT z funduszy na Ochronę Środowiska,
- przyjęto, że czas życia technicznego porównywanych źródeł ciepła tradycyjnych i pompy ciepła EKO-HEAT jest taki sam.

Koszt ogrzewania różnymi źródłami ciepła dla przyjętych założeń

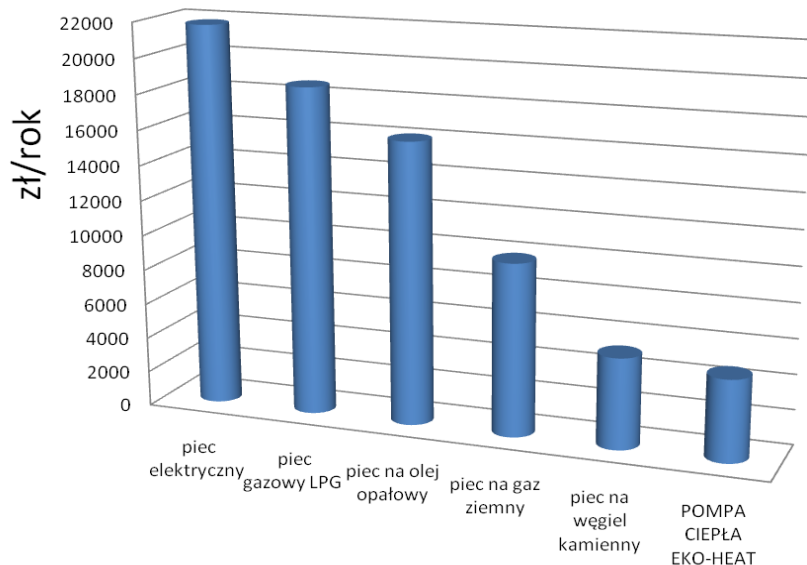


Tabela 6. Szacowany czas zwrotu inwestycji w EKO-HEAT przy przedstawionych założeniach

	Różnica w rocznym koszcie eksploatacji pomiędzy EKO HEAT a tradycyjnym źródłem ciepła [zł/ rok]	Różnica w nakładzie na inwestycję pomiędzy tradycyjnym źródłem ciepła a EKO-HEAT [zł]	Szacowany czas zwrotu inwestycji w EKO-HEAT przy przedstawionych założeniach [sezon grzewczy]
Nagrzewnica elektryczna	17107	Ok. 41000 zł	2,39
Piec kondensacyjny jednofunkcyjny na gaz LPG	13996 zł	Ok. 35 000 zł	2,5
Piec kondensacyjny jednofunkcyjny na olej opałowy	11500 zł	Ok. 35 000 zł	3,04
Piec kondensacyjny jednofunkcyjny na gaz GZ 50	5200 zł	Ok. 35 000 zł	6,7
nowoczesny piec węglowy o sprawności 80%	580 zł	Ok. 40000 zł	Inwestycja w pompę ciepła jest nieuzasadniona na chwilę obecną przy założeniu, że piec opalany jest węglem o wartości opałowej 29MJ/kg

Uwaga: W przypadku możliwości dofinansowania zakupu pompy ciepła EKO-HEAT z funduszy na Ochronę Środowiska czas zwrotu inwestycji ulegnie skróceniu. Trwałość pompy ciepła EKO-HEAT wynosi 15 lat. Porównując do źródeł ciepła o niższej trwałości należy zmniejszyć różnicę w nakładach inwestycyjnych.

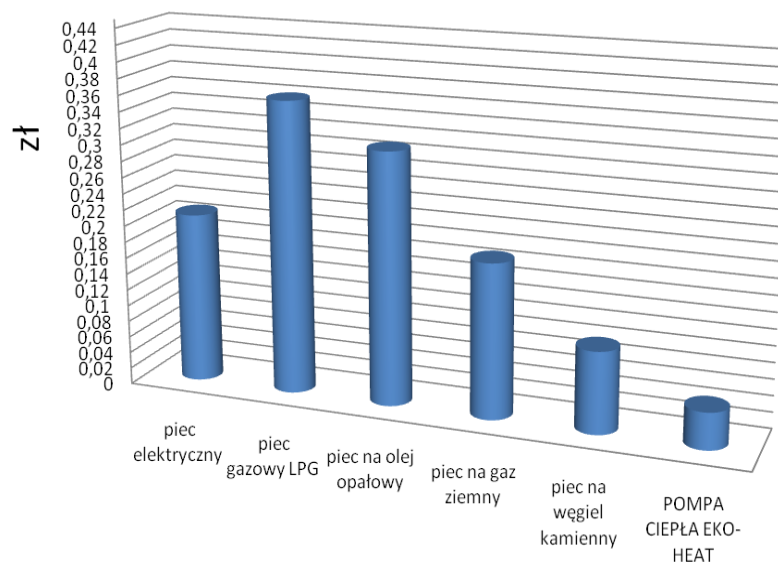
# Rezultaty badań eksploatacyjnych z sezonu 2010/2011

Przy założeniu możliwości korzystania z energii elektrycznej w systemie dwutaryfowym np. według taryfy G12 lub G12g można spodziewać się zdecydowanie niższych kosztów eksploatacji.

Analizując uzyskane rezultaty i biorąc pod uwagę średnią temperaturę dla okresu zimowego w strefie klimatycznej miasta Wrocławia można spodziewać się, że koszt ogrzewania za pomocą pompy ciepła EKO-HEAT będzie przy obowiązujących stawkach za energię:

- ponad 4 razy niższy niż ogrzewanie nagrzewnicami elektrycznymi,
- prawie 7 razy niższy niż ogrzewania olejem opałowym,
- ponad 8 razy niższy niż ogrzewanie gazem LPG,
- ponad 4 razy niższy niż gazem GZ 50.
- ponad 2 razy niższy niż ogrzewanie piecem na węgiel kamienny.

Koszt uzyskania 1 kWh ciepła przy pomocy różnych źródeł ciepła z zastosowaniem taryfy szczytowej i pozaszczytowej



Aby pokazać jak zmienia się koszt eksploatacji pompy ciepła w przypadku wykorzystania II taryfy opłat za energię elektryczną przygotowano zależność przedstawioną na rysunku.

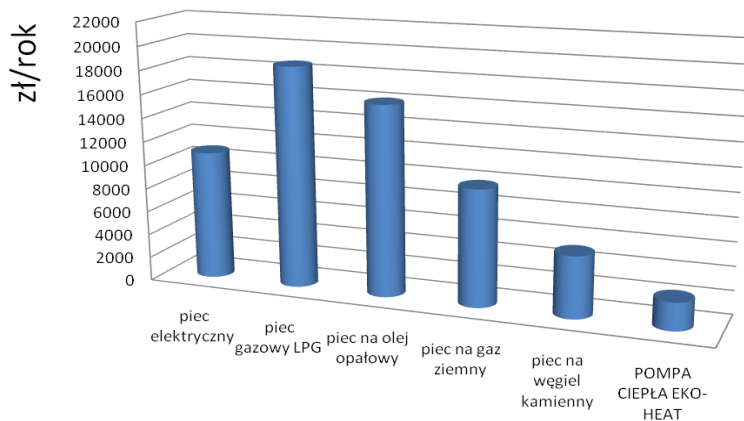
Aby rzetelnie przedstawić koszt eksploatacji pod uwagę wzięto taryfy G12 obowiązującej w roku 2011.

Koszt energii elektrycznej w taryfie dziennej szczytowej 0,3643 zł/kWh w taryfie nocnej pozaszczytowej 0,1637 zł/kWh.

# Szacowany czas zwrotu inwestycji - w przypadku zastosowania taryfy G12

Poniżej zaprezentowano jeszcze analizę dotyczącą warunków eksploatacji przy założeniu, że Użytkownik systemu grzewczego ma możliwość skorzystania z dwutaryfowego systemu rozliczania za energię elektryczną według Taryfy G12 lub G12g.

**Koszt ogrzewania różnymi źródłami ciepła dla przyjętych założeń z uwzględnieniem rozliczenia opłat za energię elektryczną w systemie dwutaryfowym**



**Tabela 7. Szacowany czas zwrotu inwestycji w EKO-HEAT przy przedstawionych założeniach możliwości korzystania z opłat za energię elektryczną w systemie dwutaryfowym**

	Różnica w rocznym koszcie eksploatacji pomiędzy EKO HEAT a tradycyjnym źródłem ciepła [zł/rok]	Różnica w nakładzie na inwestycję pomiędzy tradycyjnym źródłem ciepła a EKO-HEAT [zł]	Szacowany czas zwrotu inwestycji w EKO-HEAT przy przedstawionych założeniach [sezon grzewczy]
Elektryczny kocioł CO współpracujący z instalacją ogrzewania	8553	Ok. 41000 zł	4,78
Piec kondensacyjny jednofunkcyjny na gaz LPG	16329 zł	Ok. 35 000 zł	2,14
Piec kondensacyjny jednofunkcyjny na olej opałowy	13737 zł	Ok. 35 000 zł	2,54
Piec kondensacyjny jednofunkcyjny na gaz GZ 50	7516 zł	Ok. 35 000 zł	4,65
nowoczesny piec węglowy o sprawności 80%	2851 zł	Ok. 40000 zł	14

Z analizy wynika, że przy możliwości rozliczania się z opłat za energię elektryczną w systemie dwutaryfowym system ogrzewania oparty o pompę ciepła EKO- HEAT jeszcze bardziej zyskuje na atrakcyjności. Czas zwrotu inwestycji w porównaniu do systemów opartych o paliwa gazowe, olej opałowy lub węgiel kamienny znacznie się skraca. Na uwagę zasługuje fakt, że nowoczesne kotły elektryczne CO również zyskują w porównaniu do wymienionych źródeł ciepła.





**Dziękuję za uwagę**



# Politechnika Wroclawska

## Przemiana resublimacji jako dolne źródło ciepła dla obiegów pomp ciepła

Autor:

dr inż. Stefan Reszewski

Zakład Chłodnictwa i Pomp Ciepła

**Wydział Mechaniczno-Energetyczny**

Wrocław, 10.05.2011r