

# FORUM TERMOMODERNIZACJI

12.04.2016, Warszawa



## Odnawialne Źródła Energii w budynkach

Dr inż. Ryszard Wnuk  
Inż. Bartłomiej Asztemborski

Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A.  
[rwnuk@kape.gov.pl](mailto:rwnuk@kape.gov.pl)  
[basztemborski@kape.gov.pl](mailto:basztemborski@kape.gov.pl)



"OSIĄGNIESZ WIĘCEJ  
ZUŻYWAJĄC MNIJ"

DZIAŁAMY OD 1994 ROKU STAŁE POSZERZAJĄC  
OFERTĘ SWOICH USŁUG W OBSZARZE  
EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ I ODNAWIALNYCH  
ŹRÓDEŁ ENERGII.

[www.kape.gov.pl](http://www.kape.gov.pl)



## 2015 – było zainstalowanych

- ok. 120 000 kotłów na biomasę.
- ok. 50 000 pomp ciepła różnego typu.
- ok. 1,55 mln m<sup>2</sup> kolektorów słonecznych różnego typu.

(SPIUG, 2015)



1

Wprowadzenie

2

Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego

3

Wykorzystanie innych źródeł, w tym niekonwencjonalnych

4

Magazynowanie energii, przede wszystkim na sposób ciepła





# Możliwość zastosowania odnawialnych źródeł energii w budynkach:

## • energii promieniowania słonecznego:

- w pasywnych i aktywnych systemach grzewczych,
- w instalacjach elektrycznych z ogniwami fotowoltaicznymi (PV),
- w rozwiązaniach związanych z oświetleniem światłem dziennym



- energii odpadowej: poprzez odzysk ciepła z układów wentylacyjnych, ścieków i innych;
- energii otoczenia budynku (np. wód gruntowych lub powierzchniowych, gruntu, powietrza): poprzez zastosowanie pomp ciepła;
- energii biomasy: w instalacjach z nowoczesnymi kotłami spalającymi zrębki drewniane lub pelety;
- energii wiatru: za pomocą turbin wiatrowych;
- ogniw paliwowych.



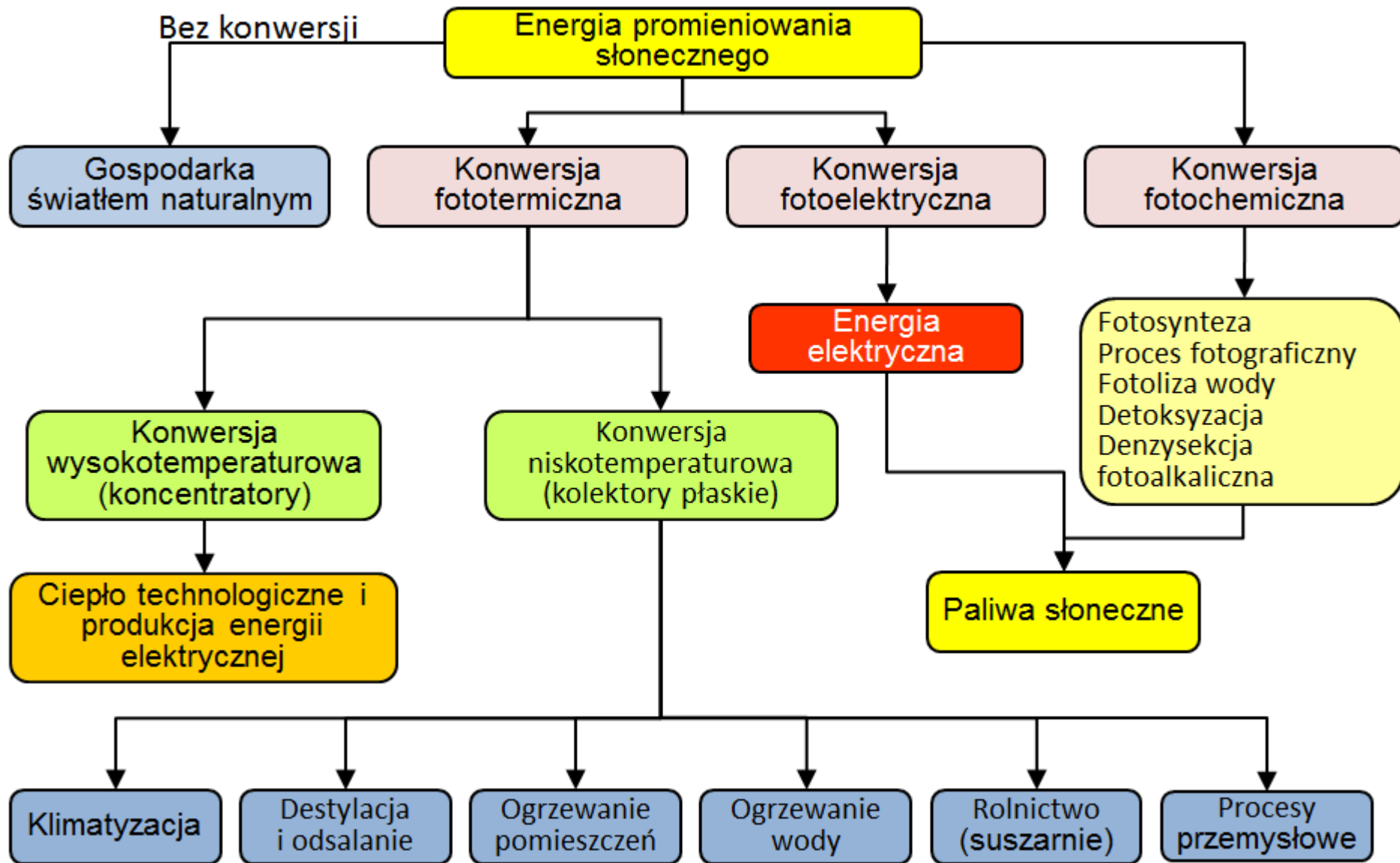
## Konieczność akumulacji energii:

- zmienność w czasie zapotrzebowania,
- okresowość dostarczania z OZE,

Korzyści: zmniejszanie obciążeń szczytowych

Rodzaje magazynów energii:  
krótko- i długoterminowe

## Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego



2

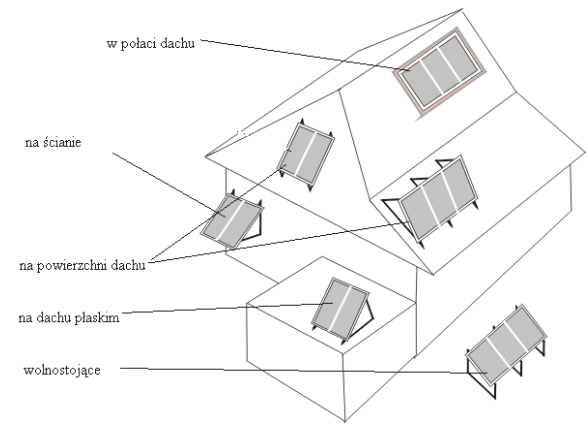
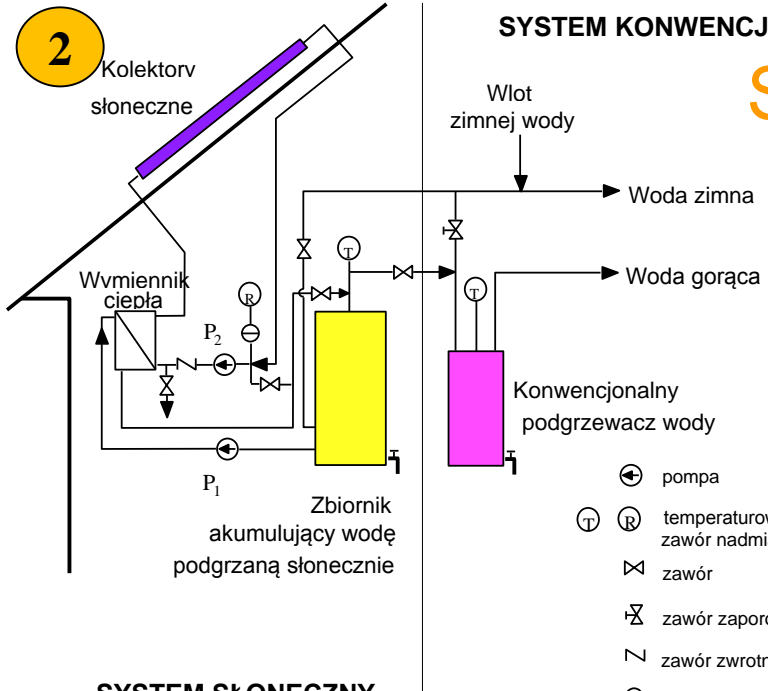
## Oświetlenie światłem dziennym (daylighting) – Bydgoszcz. Przykład realizacji





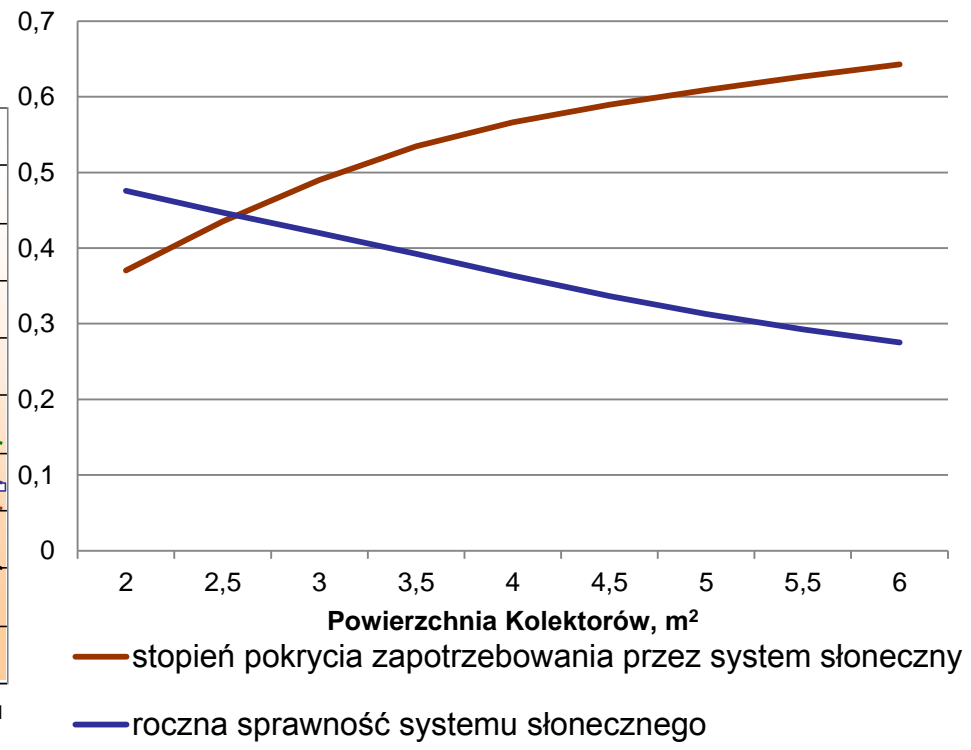
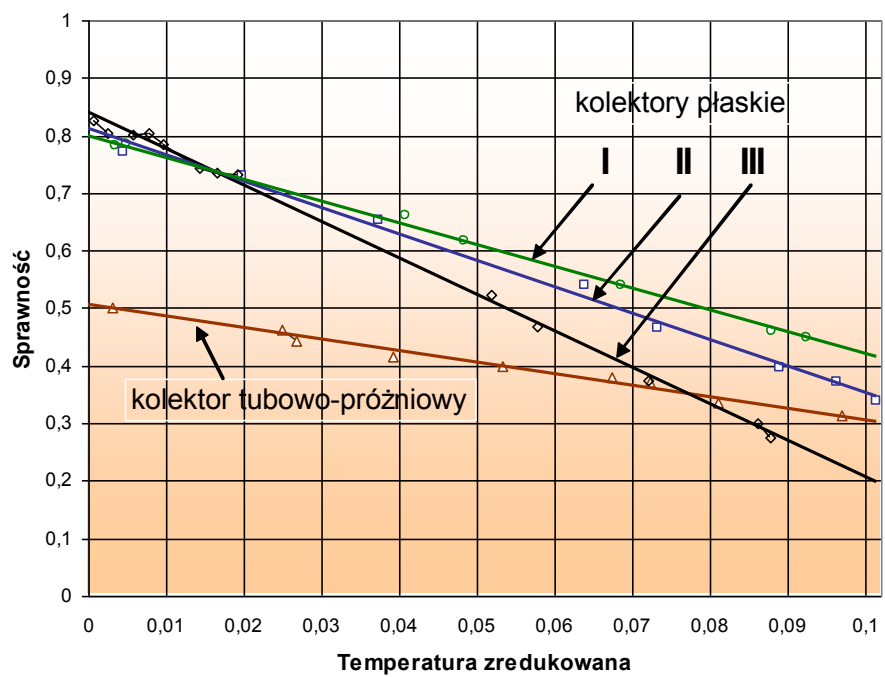
SYSTEM KONWENCJONALNY

# Słoneczne instalacje grzewcze



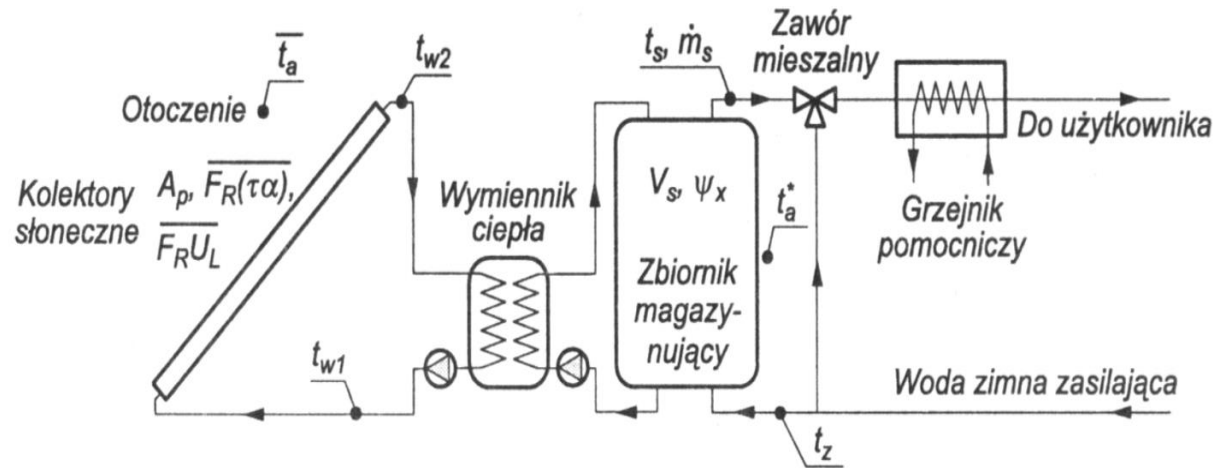
- pompa
- temperatury, ciśnieniom
- zawór nadmiarowy
- zawór
- zawór zaporowy
- zawór zwrotny
- okienko kontrolne

SYSTEM SŁONECZNY



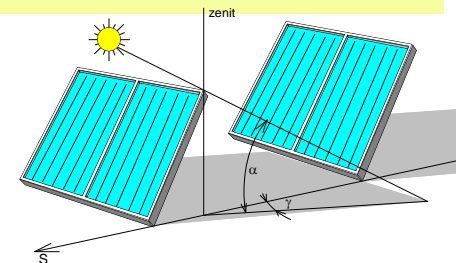
— stopień pokrycia zapotrzebowania przez system słoneczny  
 — roczna sprawność systemu słonecznego

## Wymiarowanie instalacji – np. metodą f-chart



$$X = \psi_x \frac{86400 \cdot A_p \cdot \overline{F_R} \cdot \overline{U}_L \cdot (11.6 + 1.18t_s + 3.86t_z - 2.23\bar{t}_a)}{m \cdot c_w \cdot (t_s - t_z)} \quad Y = \frac{A_p \cdot \overline{F_R}(\tau\alpha) \cdot \overline{H}_\beta}{m \cdot c_w \cdot (t_s - t_z) \cdot N}$$

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3$$



$$D = L(\cos\beta + \sin\beta \cdot \overset{7}{ctg} \alpha)$$





## Bariery:

- Koszty
- Koherentność – magazynowanie?
- Jakość
- Niewłaściwe wymiarowanie

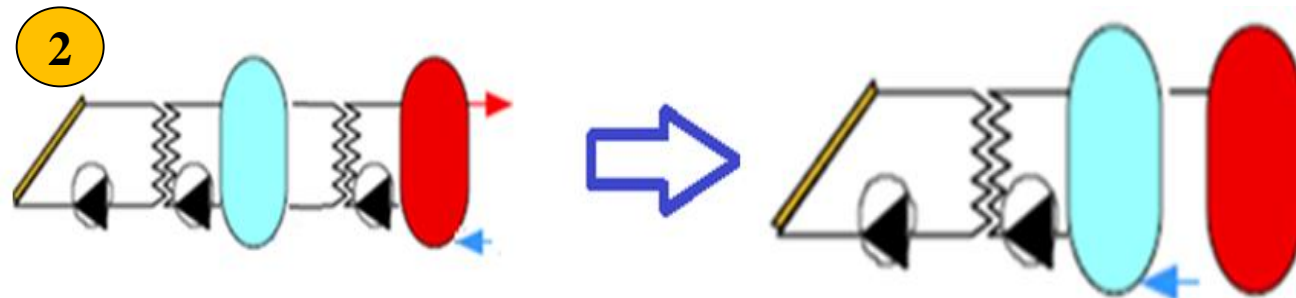


**ale przede wszystkim niedopasowanie instalacji do obiektu....**

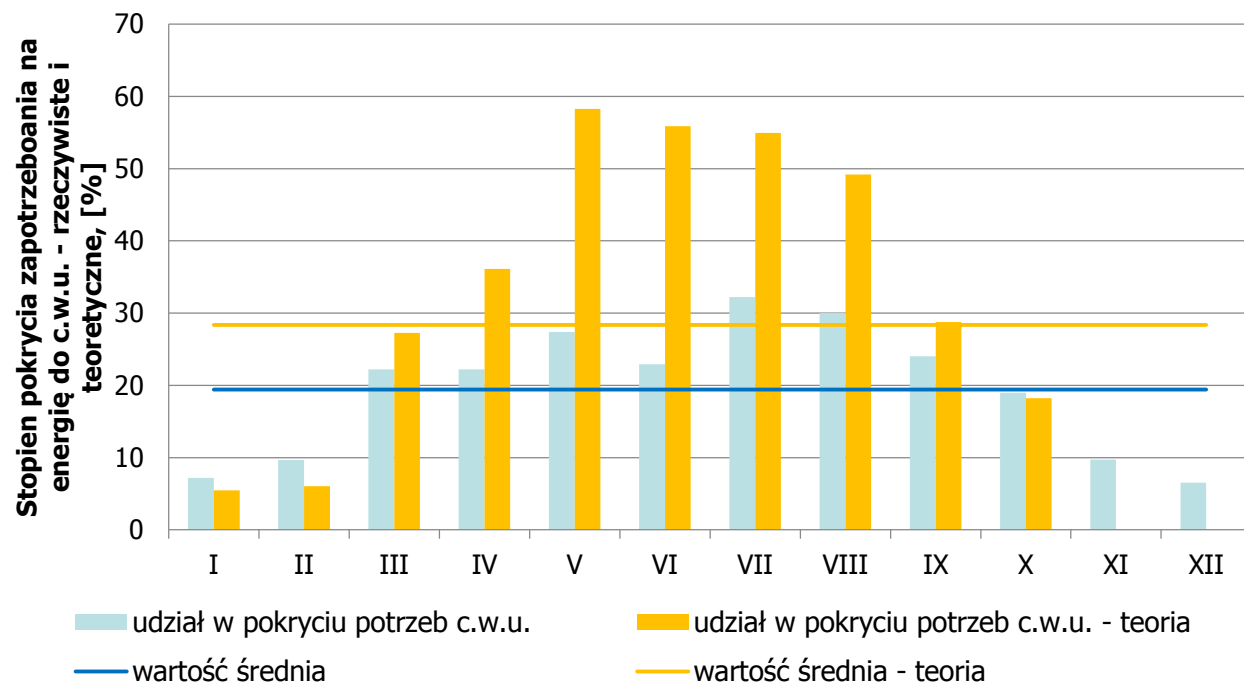




2



# ŁÓDŹ – SZPITAL



Stopień pokrycia zapotrzebowania na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej przez instalację słoneczną, wielkości zmierzone i obliczone (teoretyczne)

<b>Ilość kolektorów</b>	<b>162 sztuk</b>
<b>Powierzchnia absorbera kolektora</b>	<b>2,32 m<sup>2</sup></b>
<b>Uzysk rzeczywisty</b>	<b>354 kWh/m<sup>2</sup> powierzchni absorbera</b>
<b>Uzysk teoretyczny</b>	<b>463 kWh/m<sup>2</sup> powierzchni absorbera</b>

# UŚREDNIONE KOSZTY - SZPITAL W OTWOCKU



Ilość kolektorów	79
Powierzchnia absorbera kolektora	2,65 m <sup>2</sup>
Uzysk rzeczywisty	~45% sztuk
Uzysk teoretyczny	404 kWh/m <sup>2</sup> absorbera

## Uśredniony koszt

### Teoretyczny

Teoretyczny z dofinansowaniem

### Rzeczywisty

Rzeczywisty z dofinansowaniem



## LCoHC

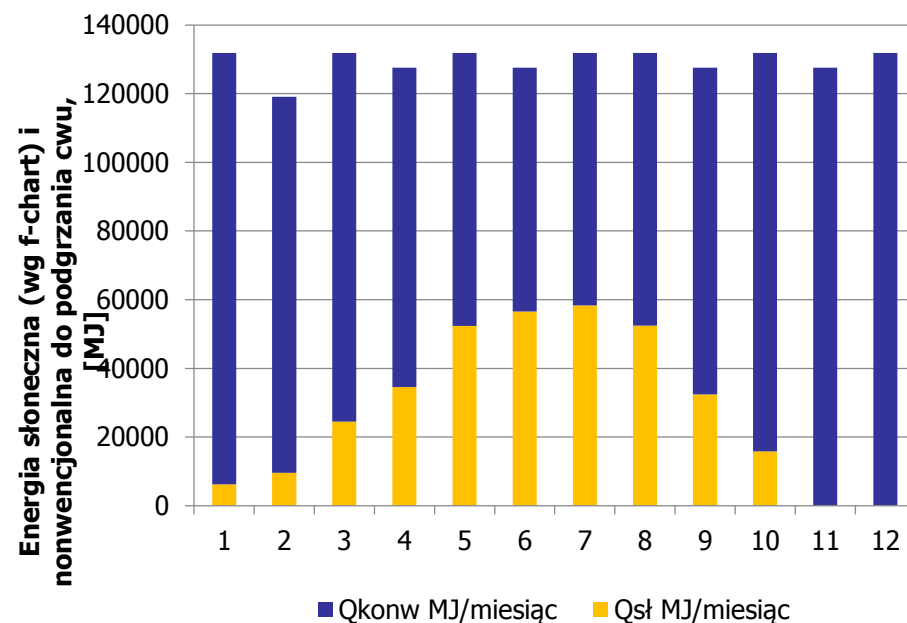
90 zł/GJ

37 zł/GJ

201 zł/GJ

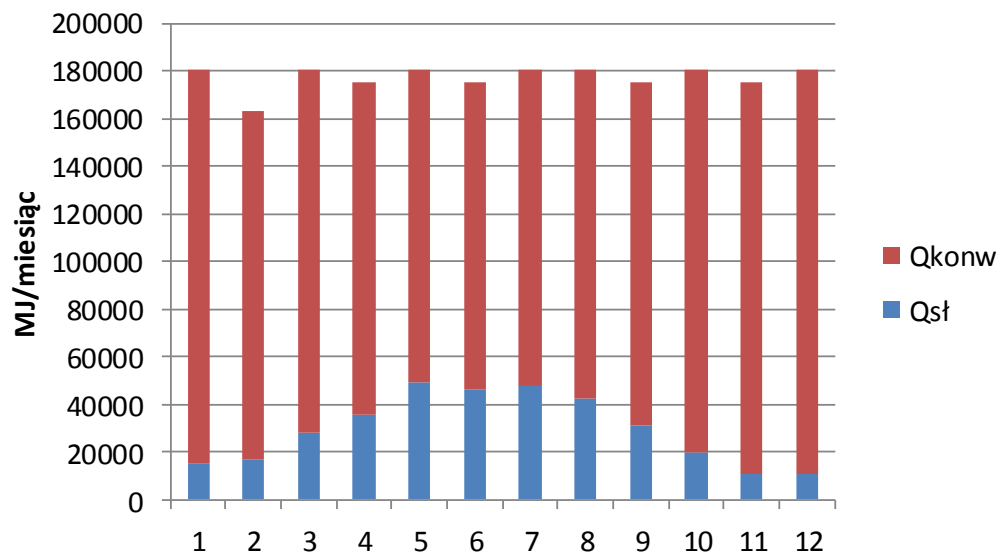
82 zł/GJ

## Straty na cyrkulacji (50%)





# UŚREDNIONE KOSZTY – SZPITAL W KŁODZKU



**Ilość kolektorów**

**150 sztuk**

**Powierzchnia absorbera kolektora**

**1,014m<sup>2</sup>**

**Uzysk rzeczywisty**

**706kWh/m<sup>2</sup> powierzchni absorbera**

Teoretyczny

**647kWh/m<sup>2</sup> powierzchni absorbera**

projektowy

**776kWh/m<sup>2</sup> powierzchni absorbera**



**Uśredniony koszt LCoHC**

**Rzeczywisty 145 zł/GJ**

## Słoneczne instalacje przygotowania ciepłej wody użytkowej – czy są opłacalne?

### Przede wszystkim konieczne jest wyeliminowanie nieprawidłowości:

- Brak danych do opracowania założeń.
- Brak koncepcji ujmujących istotne uwarunkowania i specyfikę instalacji.
- Brak wiarygodnych obliczeń zysków energetycznych instalacji.
- Projektowanie – błędy w sztuce, niezajomość specyfiki tematu, brak doświadczenia i nieuwzględnianie nowoczesnych technologii i rozwiązań.
- Niezgodne z projektem wykonanie.
- Brak monitoringu.



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union

<http://www.front-rhc.eu/>

$$LCoHC = \frac{I + \sum_{t=1}^T \frac{C_t(1 - TR) - DEP_t \times TR - S_t - RV}{(1 + r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_t}{(1 + r)^t}}$$

### Koszt – bardzo silnie zmienny (70-254 zł/GJ), zależy od

- Prawidłowości koncepcji, projektu, przyjętych rozwiązań, parametrów i jakości urządzeń.
- Warunków użytkowania.
- Duże dofinansowanie nie skłania do troski o prawidłowe funkcjonowanie i efekty.



2



sc-Si  
mc-Si  
„ribbon”

# PV

a-Si/  
mc-Si  
CdTe  
CIS



## Konwersja fotowoltaiczna



**Scenariusz BLUE IEA**

**Budynki: Pełna integracja ze strukturą (BIPV)**

**Zaawansowane systemy magazynujące**

**Technologia:**

**c-Si – sprawność 25%**

**Ogniwa cienkowarstwowe: 20-25%,  
żywołtność 30-35 lat**

**Ogniwa 2, 3 generacji:**

**Sprawność > 40%**

**Ekstremalnie niski koszt: sprawność 10-15%**





**Podawaną jednostką mocy modułu jest Wat pik [ $W_p$ ]**  
**Jest to moc modułu w standardowych warunkach testowych (STC – Standard Test Condition).**



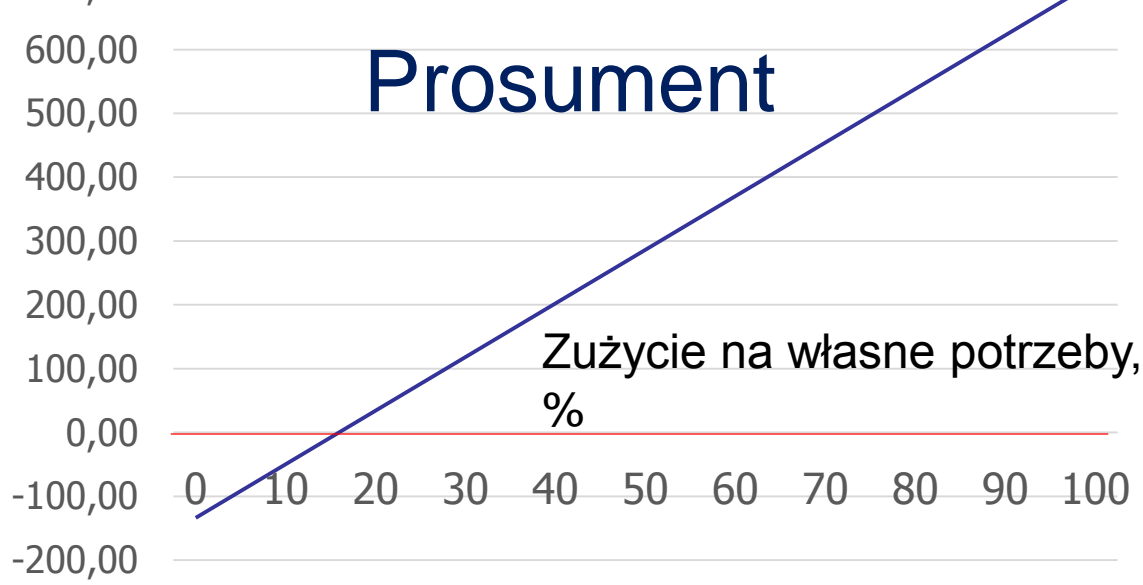
	<b>Standardowe warunki testu (STC - Standard Test Conditions)</b>
<b>Natężenie promieniowania słonecznego</b>	<b>1000 [<math>W/m^2</math>]</b>
<b>Temperatura ogniów napromieniowanego modułu</b>	<b>25°C</b>
<b>Spektrum promieniowania słonecznego</b>	<b>AM 1,5</b>

### **Sprawność komercyjnych modułów fotowoltaicznych**

<b>Moduły z ogniów krzemowych</b>			<b>Moduły CdTe (Tellurek Kadmu)</b>	<b>Moduły CIS/CIGS (CIS – Selenek Indowo-Miedziowy)</b>
<b>mono-krystaliczne</b>	poli-krystaliczne	amorficzne		
<b>sc-Si</b>	mc-Si	a-Si/ $\mu$ c-Si		
<b>14-20%</b>	<b>13-15%</b>	<b>6-9%</b>	<b>9-11%</b>	<b>10-12%</b>



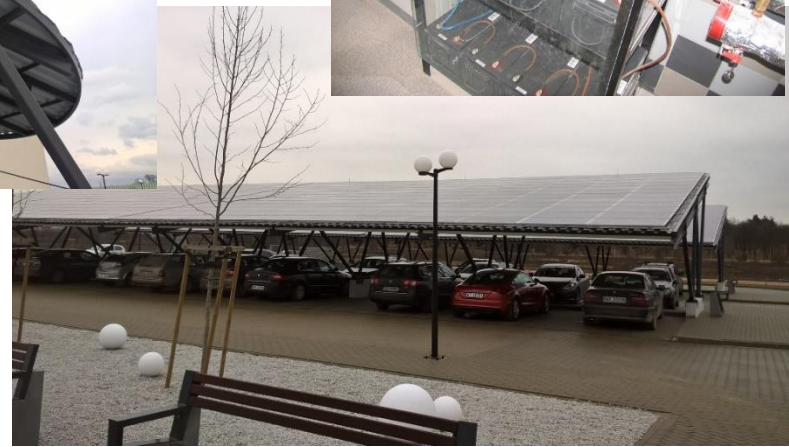
2 Przychody = korzyści (uniknięte koszty energii elektrycznej – spłata kredytu, zł



# Prosument



ale i w architekturze...



Moduły przeźierne

Zadaszenie wiaty parkingowej



# Słoneczna instalacja przygotowania ciepłej wody użytkowej zasilana PV (Biszczka)

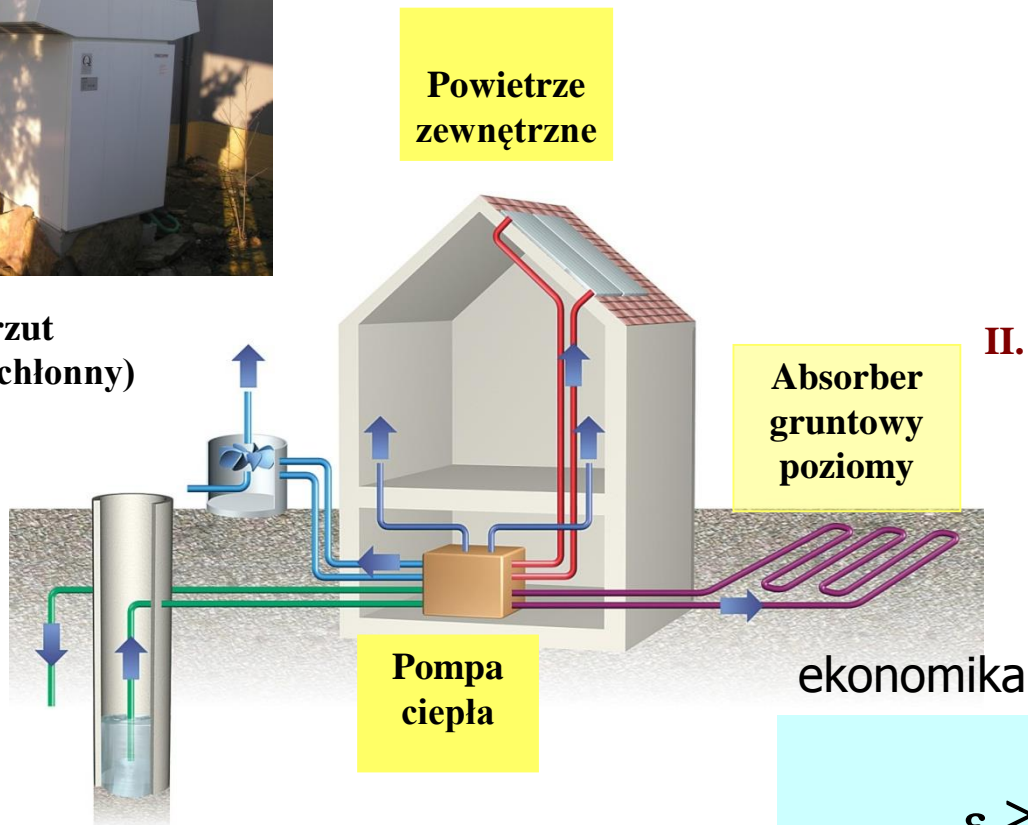
kolektory promieniowania słonecznego + PV



# Wykorzystanie energii zawartej w otoczeniu domu – za pośrednictwem pomp ciepła



Zrzut  
(otwór chłonny)



ekonomika

**Dolne źródła ciepła:**

## I. naturalne (odnawialne)

- powietrze zewnętrzne
- wody powierzchniowe (rzeki, jeziora)
- wody gruntowe
- wody geotermalne
- grunt
- promieniowanie słoneczne

## II. sztuczne (odpadowe)

- powietrze i gazy odlotowe
- woda odpadowa
- ścieki
- woda chłodnicza

$$\varepsilon \geq \frac{\text{zł/kWh energii elektrycznej}}{\text{zł/kWh ciepła ze źródła konwencjonalnego}}$$

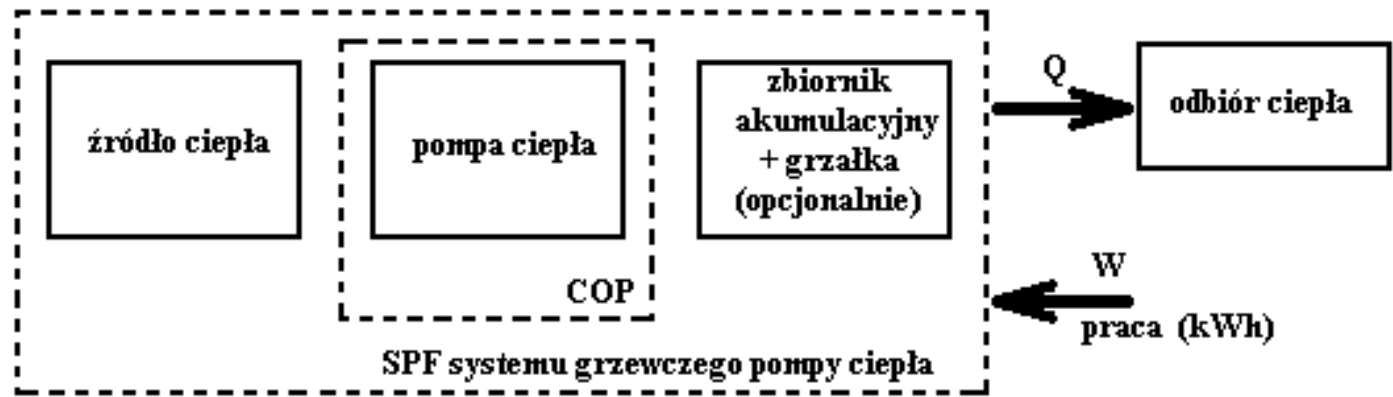
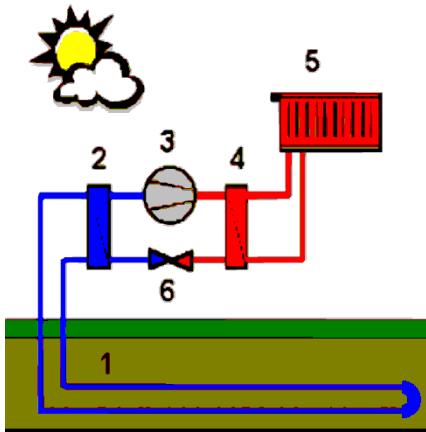
**zł/kWh (energii elektrycznej)**

**$\varepsilon$  (współczynnik wydajności grzewczej)**

**= zł/kWh ciepła**



3



## Możliwości funkcjonowania bivalentnego grzewczego układu z pompą ciepła

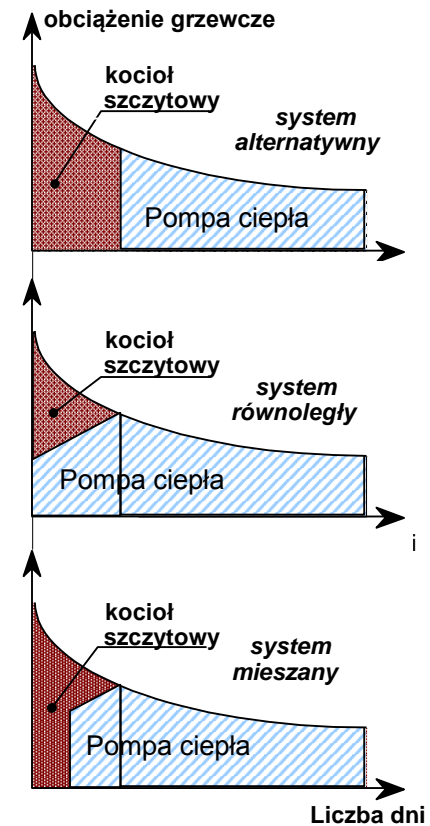
Średnie wartości efektywności cieplnej (COP) współczesnych pomp ciepła:

- COP = 5,5 dla wód gruntowych jako dolnego źródła ciepła,
- COP = 4,4 dla gruntu jako dolnego źródła ciepła,
- COP = 3,2 dla powietrza jako dolnego źródła ciepła.

Dzięki zmniejszaniu zużycia napędowej energii elektrycznej „na potrzeby własne pompy ciepła” oraz na potrzeby pomp do przetłaczania czynników w dolnym źródle, a także niskotemperaturowemu ogrzewaniu pomieszczeń, osiągane są wartości SPF na poziomie 6.

**Scenariusz BLUE IEA**

**Budynki: 50-70% z pompami ciepła**





## Pelety



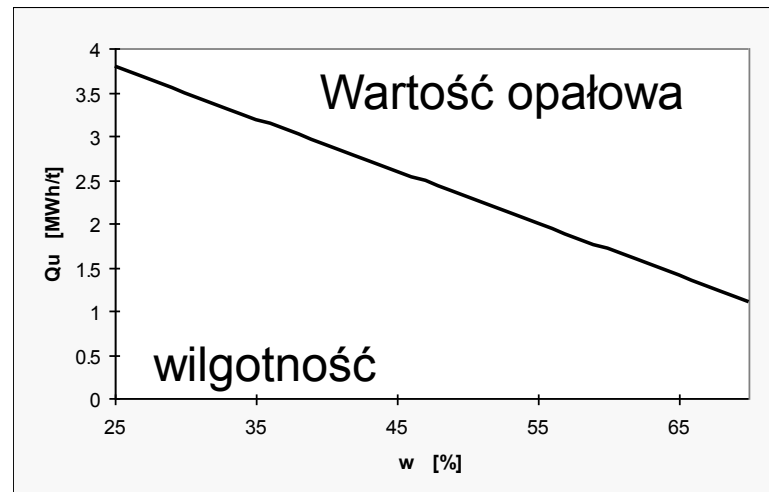
## Brykiety



## Zrębki

KOTŁY NA  
BIOMASĘ

Rodzaj paliwa	wartość opałowa [MJ/kg]
węgiel	25,0
olej	41,0
gaz ziemny	48,7
gaz płynny	49,8
słoma	17,0
drewno	19,0
odpady	9,2



Paliwa drzewne w Polsce

## Nieprzerobione drewno energetyczne dzieli się na:

- drewno opałowe;
- paliwo rozgniatane – drewno, kora, igły lub liście rozdrobnione w zgniataczu rolkowym lub młynie bijakowym;
- paliwo rozbijane;
- zrębki drzewne - uzyskiwane z drewna poddanego rozdrobnieniu narzędziami nożowymi (rębakami) na kawałki o rozmiarach od 5 do 50 mm. Ten rodzaj drewna jest najbardziej przydatny do spalania.





## Przerobione drewno energetyczne dzieli się na:

Rozdrabnianie może odbywać się metodą mielenia, skrawania lub podobną. Po rozdrobnieniu następuje prasowanie materiału, najczęściej w prasie tłokowej.

- brykiet - kształt cylindryczny lub prostopadłościenny i rozmiary przekraczające 25 mm, wytwarzane przez sprasowanie rozdrobnionego drewna energetycznego;
- trociny - produkt odpadowy powstający podczas piłowania. Rozmiar cząstek zawiera się między 1 i 5 mm;
- pelety – wytwarzane podobnie jak brykiety przez sprasowanie dokładnie rozdrobnionego materiału. Pelety, produkowane z użyciem prasy matrycowej, mają zwykle kształt cylindryczny i średnice mniejsze niż 25 mm. Często w procesie ich produkcji jednocześnie prowadzi się dosuszanie;
- pył drzewny - powstaje z wysuszonego materiału surowego poddanego mieleniu na cząstki o rozmiarach mniejszych niż 1 mm.





3







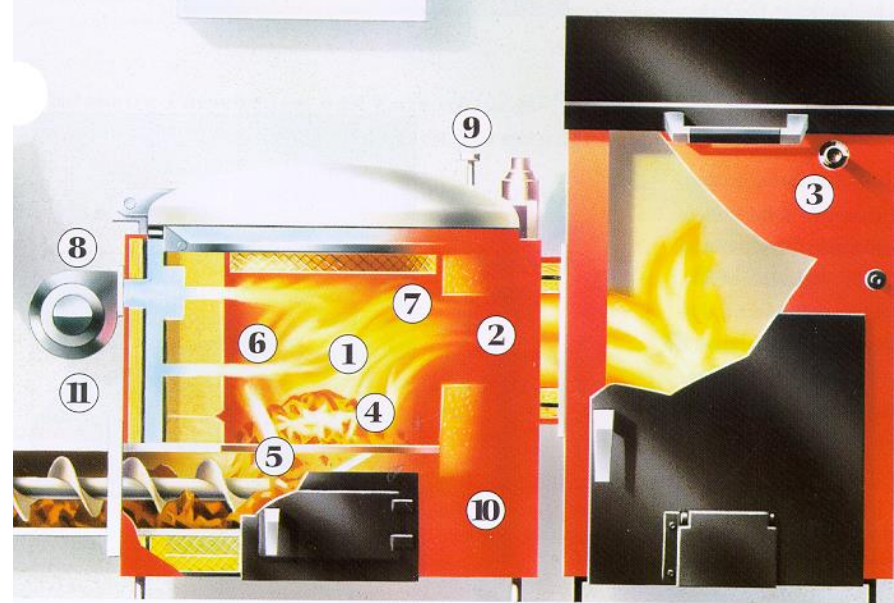
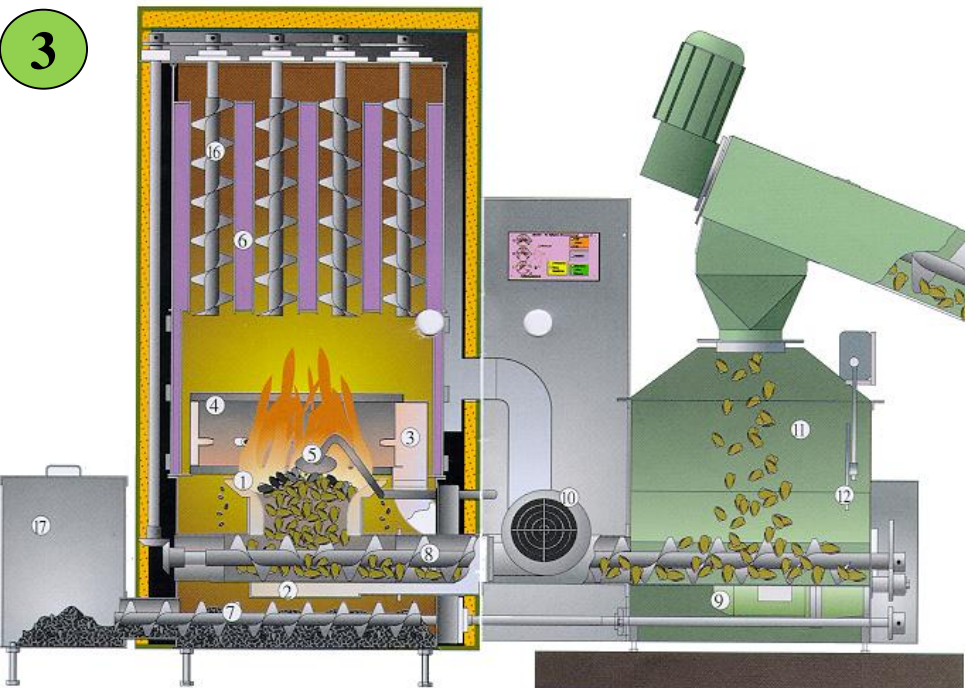
## Sprawności urządzeń do spalania



<i>rodzaj urządzenia</i>	<i>Sprawność</i>
Kominiek otwarty	10 - 30%
piec kominkowy	15 - 60%
piec kaflowy	40 - 75%
kocioł zgazujący bez zbiornika buforowego	50 - 75%
kocioł zgazujący ze zbiornikiem buforowym	60 - 85%
Kocioł na zřębki	70 - 90%



3

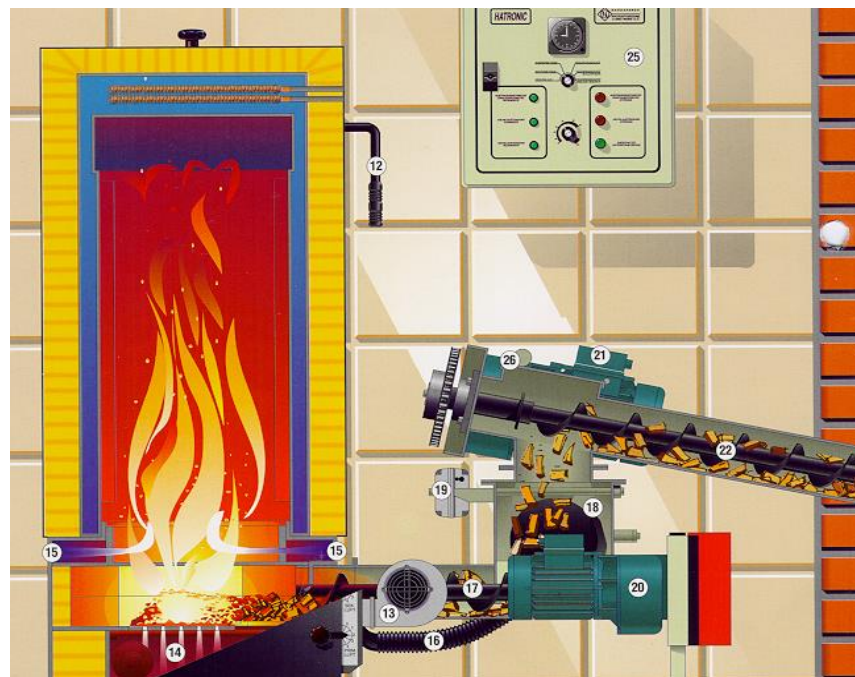


Palenisko z piecem przednim

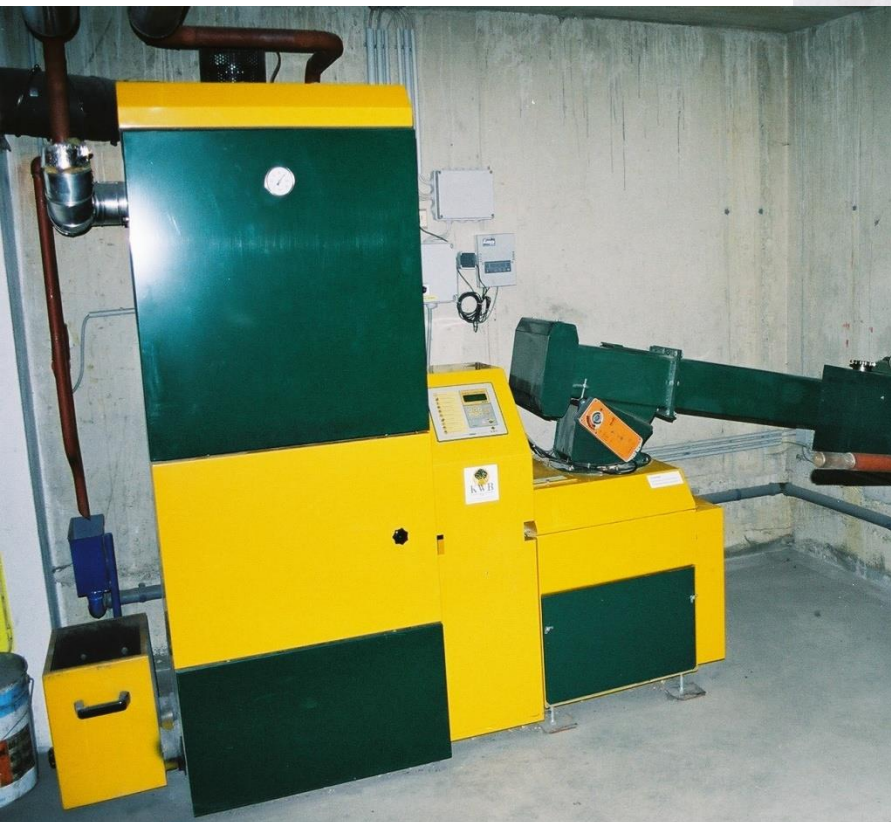
Palenisko korytkowe



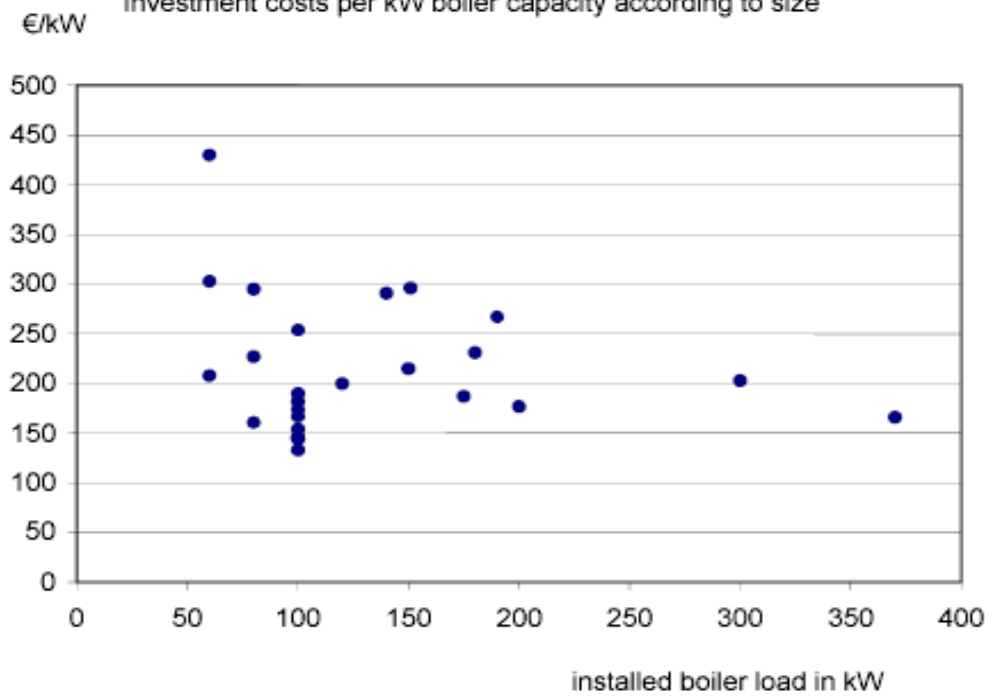
Palenisko z rusztem podsuwowym



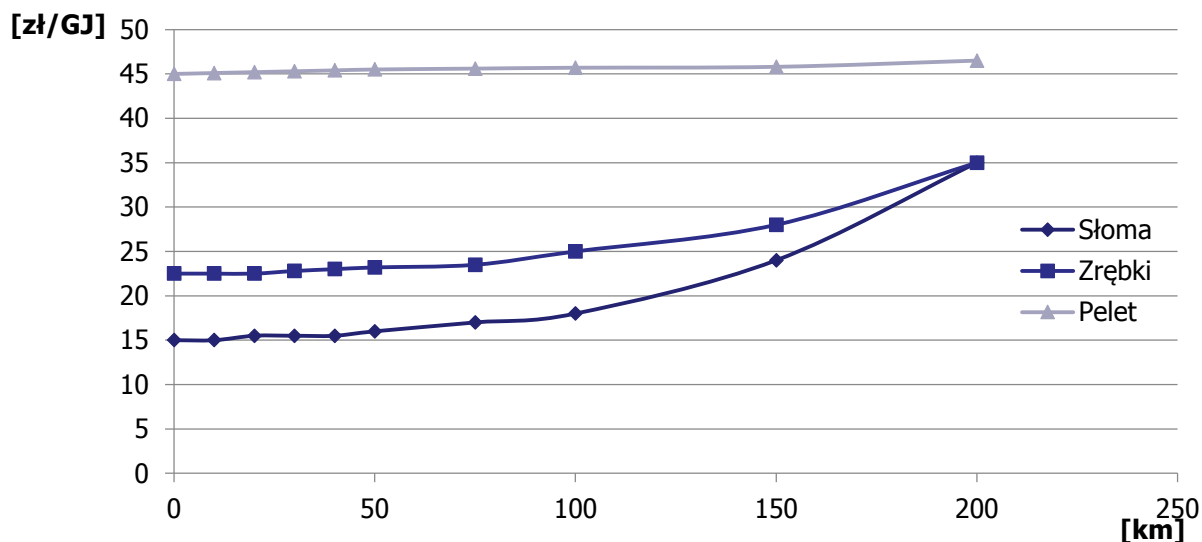




Investment costs per kW boiler capacity according to size



## Opłacalność przewozu paliw z biomasy



I.p.	Rodzaj paliwa	Cena	Zużycie paliwa
1.	Słoma	694 zł	3 472 kg
2.	Zrębki	1 428 zł	8 400 kg
3.	Brykiet ze słomy	3000 zł	5 000 kg
4.	Pelet z łusek słonecznika	2 650 zł	5 319 kg
5.	Pelet drzewny	3 457 zł	5 320 kg
6.	Brykiet drzewny	3 830zł	5 319 kg
7.	Węgiel kamienny	2 810zł	3 512kg
8.	Gaz ziemny	6 485zł	1 821 m <sup>3</sup>
9.	Olej opałowy	7 560 zł	1 977 m <sup>3</sup>

I.p.	Rodzaj paliwa	Wartość opałowa	Cena jednostkowa
1.	Słoma	13	100 zł/t
2.	Zrębki	18	170 zł/t
3.	Pelet z łusek słonecznika	21	400 zł/t
4.	Brykiet ze słomy	17	500 zł/t
5.	Pelet drzewny	17	650 zł/t
6.	Brykiet drzewny	17	720 zł/t
7.	Węgiel kamienny	25	800 zł/t
8.	Gaz ziemny	36	3,56 zł/m <sup>3</sup>
9.	Olej opałowy	41	3,84 zł/l



3

- gruntowa pompa ciepła i kolektory słoneczne jako źródła ciepła w systemie ogrzewania podłogowego;
- mały kocioł na biomasę i kolektory słoneczne w systemie ogrzewania ściennego;
- gazowo-słoneczny kocioł zasilający wymiennik umieszczony w układzie wentylacyjnym;
- ciepło sieciowe lub kolektory słoneczne realizujące wspomniane funkcje.

**Typowe rozwiązania systemów grzewczych domów energooszczędnych, z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii:**

**Rozwiązania niekonwencjonalne, dotyczące pozyskiwania, magazynowania i utylizacji energii i odpadów, w tym:**

- stosowanie niekonwencjonalnych materiałów budowlanych, w tym specjalnych osłon szklanych (szkło elektrochromiczne, pokryć o niskiej emisyjności), izolacji transparentnych, itp.;
- sezonowe magazynowanie energii cieplnej w gruncie, zbiornikach wodnych;
- magazynowanie energii cieplnej przy wykorzystaniu zjawiska zmiany stanu skupienia (materiał magazynujący – woski i inne materiały);
- wstępne podgrzewanie lub chłodzenie powietrza wentylacyjnego w elementach rurowych pod ziemią;
- wykorzystanie naturalnej oczyszczalni ścieków;
- wykorzystanie wody deszczowej;
- zastosowanie ogniw paliwowych i magazynowanie wodoru.

## Cele magazynowania energii (np. na sposób ciepła)

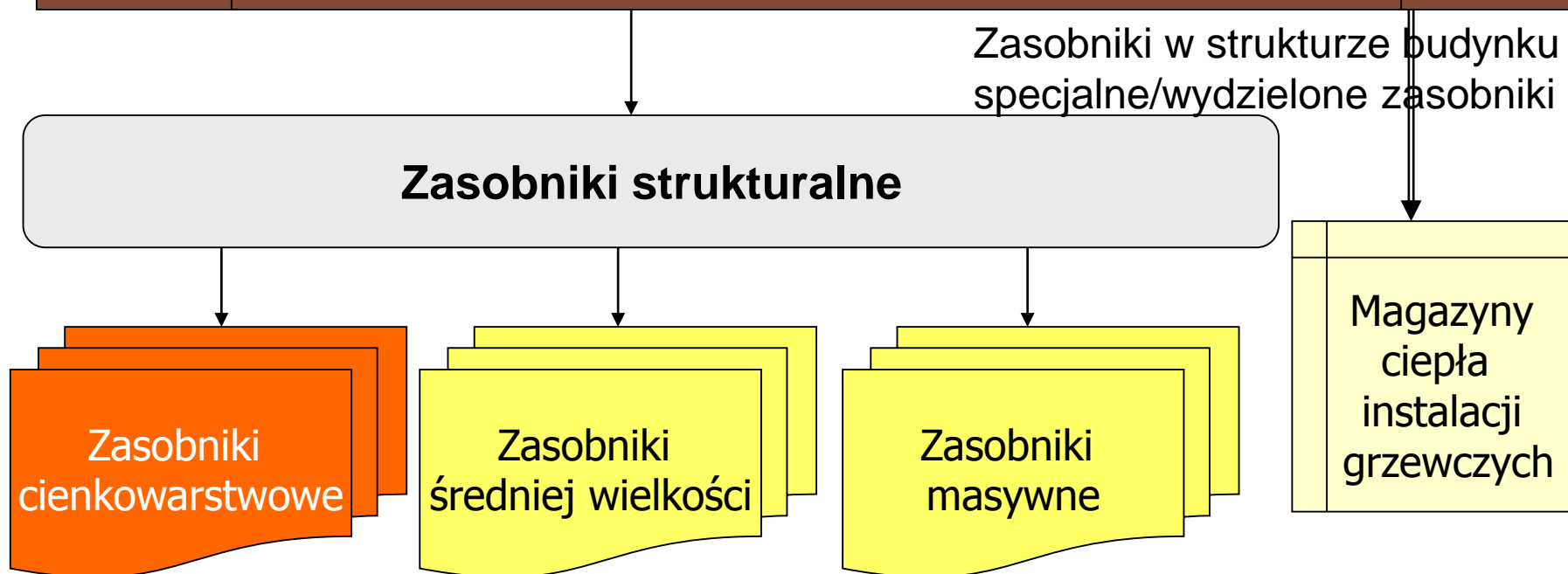
- Magazynowanie ciepła w budynkach:
  - Zmniejszenie szczytowego zapotrzebowania na energię
  - Uzyskania warunków komfortu cieplnego (stabilizacja temperatury w pomieszczeniach)
  - Efektywne wykorzystanie energii słonecznej
  - Efektywne wykorzystanie naturalnych warunków klimatycznych
  - Poprawa efektywności np. ogniw fotowoltaicznych

**Magazynowanie ciepła/chłodu (magazynowanie energii na sposób ciepła): dostarczanie energii na sposób ciepła do materiału akumulującego – przechowywanie – odbiór**

Sposoby akumulacji energii:

- magazynowanie energii cieplnej (wewnętrznej) i chemicznej
  - Wykorzystanie pojemności cieplnej materiałów i efektów cieplnych przemian fazowych
  - Wykorzystanie efektów cieplnych reakcji chemicznych
- Magazynowanie z wykorzystaniem procesów elektrochemicznych
- Magazynowanie z wykorzystaniem procesów biochemicznych





**R & D**

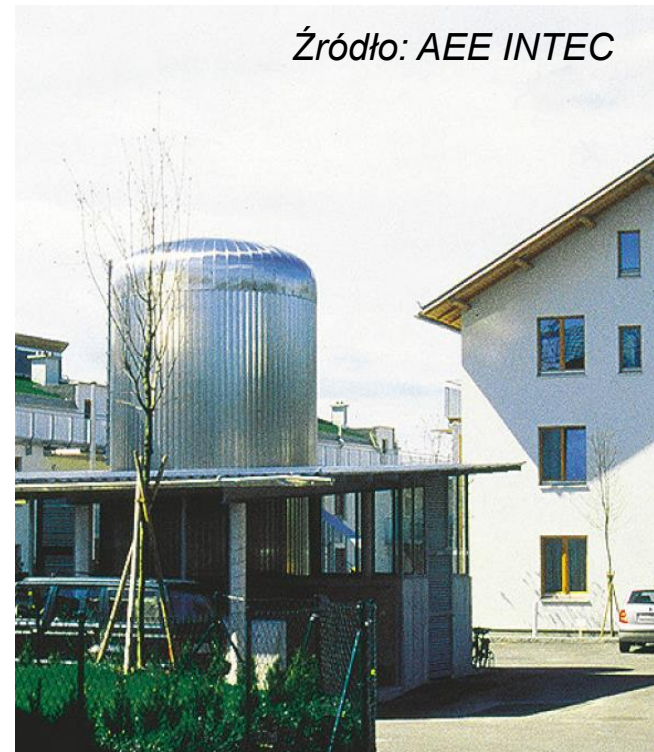


Rodzaje magazynów energii:

- krótko- i
- długoterminowe
  - ✓ w formacjach wodonośnych
  - ✓ w gruncie
  - ✓ w złożach sztucznych

**Konieczność akumulacji energii:**

- zmienność w czasie zapotrzebowania,
- okresowość dostarczania z OZE,
- różnorodność form wytwarzania....



Źródło: AEE INTEC



Ząbki  
akumulator wody: 800 m<sup>3</sup>  
o średnicy 14 m  
i wysokości 8 m

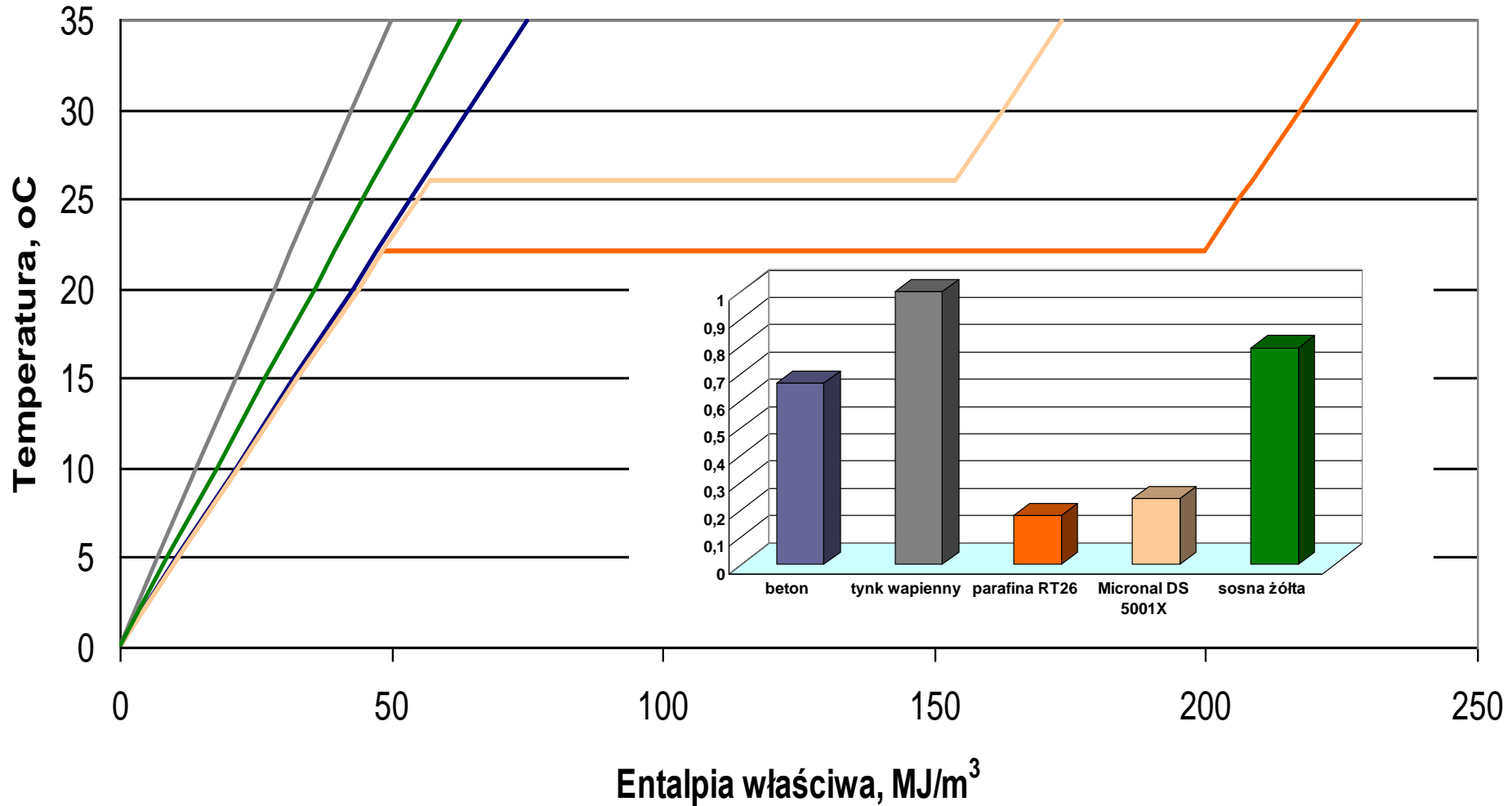
150 m<sup>2</sup> kolektorów słonecznych





4

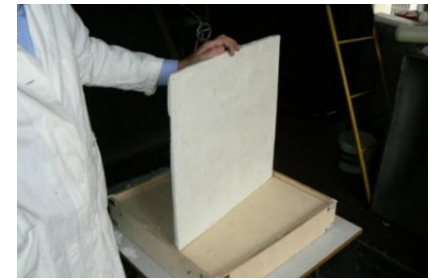
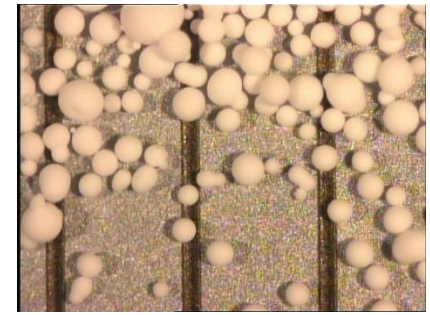
## Temperatura w funkcji entalpii właściwej wybranych materiałów budowlanych – magazynowanie z wykorzystaniem ciepła przemian fazowych



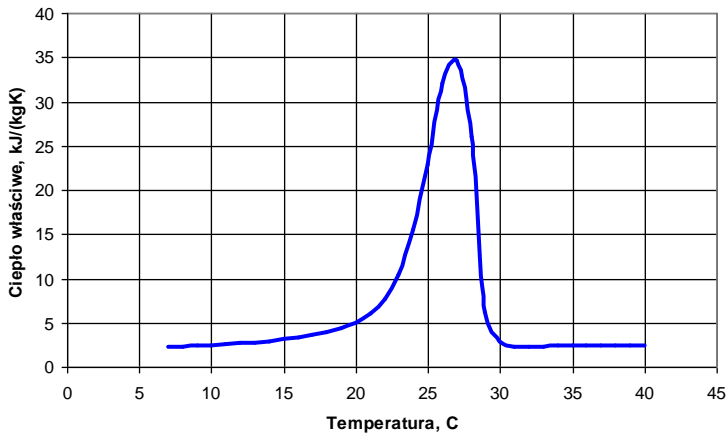
## 4

## Technologie łączenia materiału PCM z materiałami budowlanymi

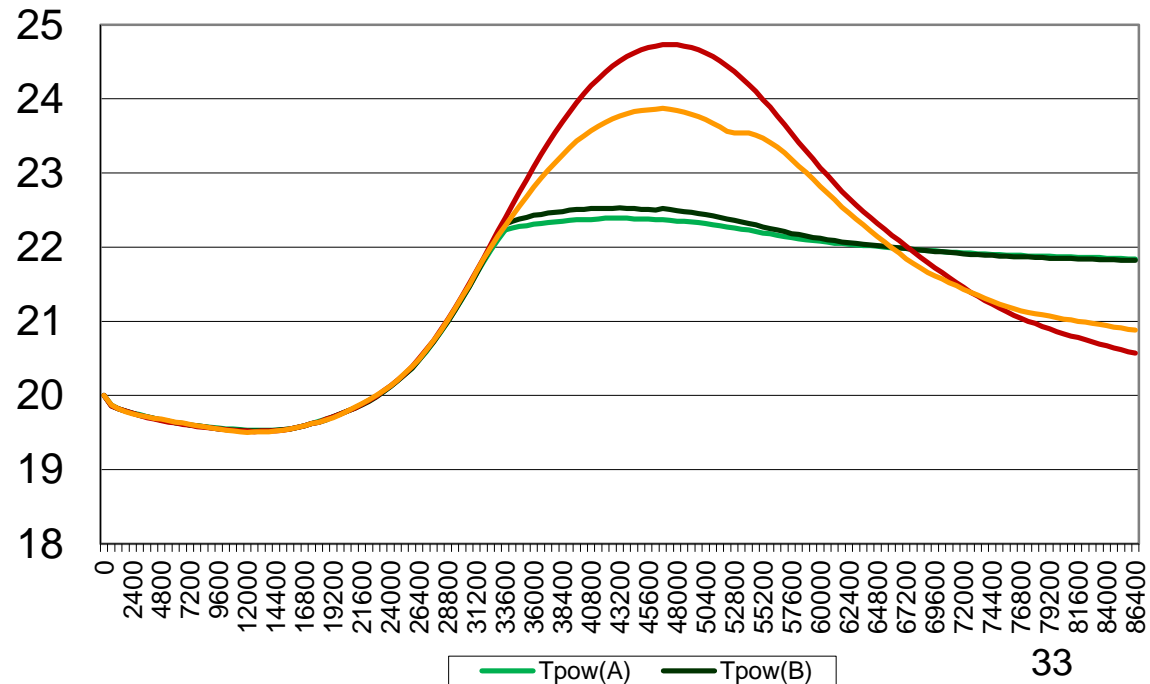
- Bezpośrednie zmieszanie;
- Nasycanie materiałem PCM elementów porowatych;
- Kapsułkowanie;
- Wytwarzanie elementów PCM do umieszczenia w elementach budowlanych (walce, maty);
- Wytwarzanie płyt laminowanych (najczęściej z wełny mineralnej) z cienką wewnętrzną warstwą materiału PCM).



### Micronal



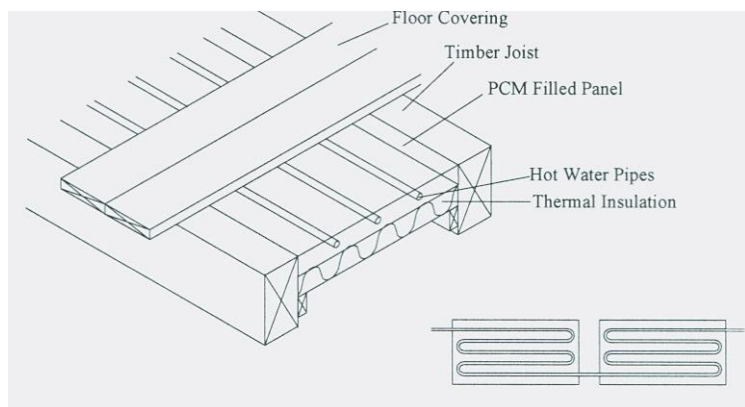
Wyniki symulacji numerycznej – przykładowy dzień



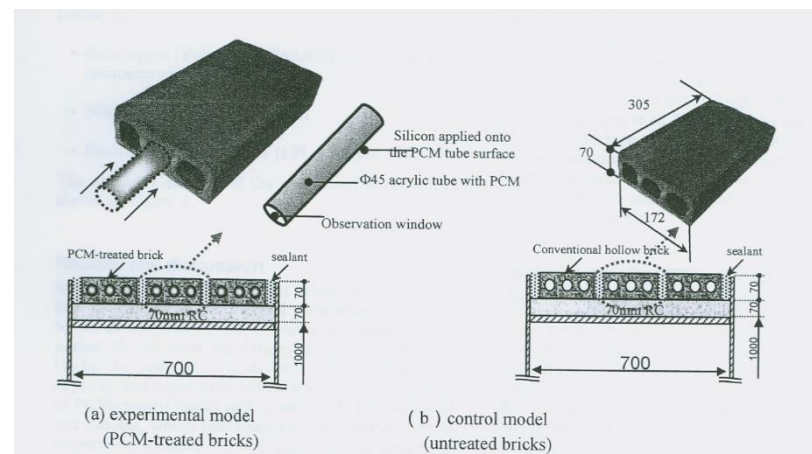




**Zastosowanie PCM  
w budynku wielo-piętrowym.  
PCM - w układzie chłodzenia sufitowego. Sufity  
pomieszczeń na piętrze posiadają płyty gipsowe  
z mikrokapsułkami z PCM, nad którymi  
umieszczono rurowy system chłodzący. Płyta ma  
grubość 4 cm i wagę 40 kg/m<sup>2</sup>.**



*Panele z materiałem PCM w układzie  
ogrzewania wodnego podłogowego*



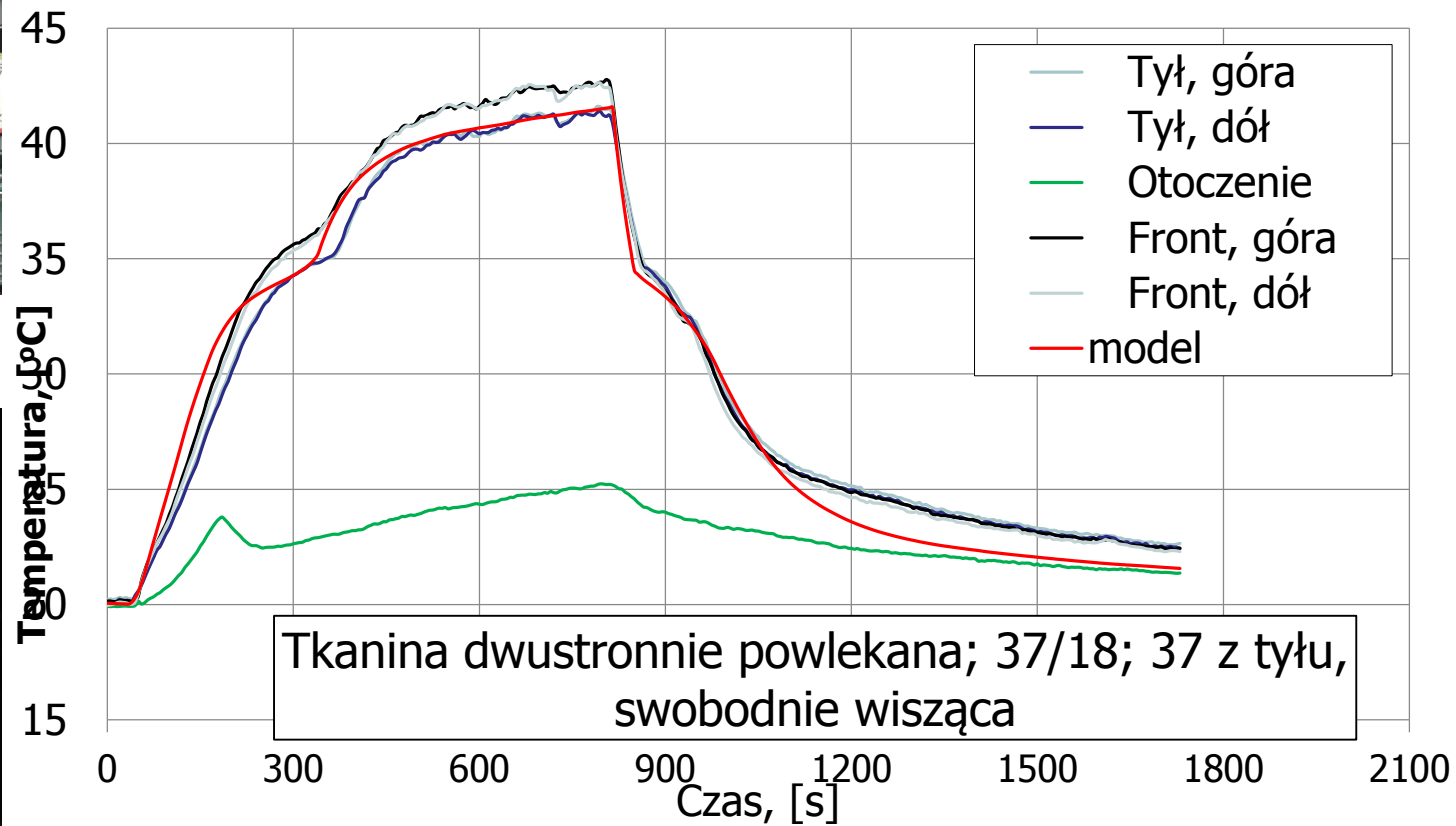
*Rurowe elementy z PCM zastosowane  
w pustakach sufitowych*

Panele ścienne  
z PCM

Materiał PCM  
domieszkowany  
do warstwy  
tynku



## Idee kolejne – tkaniny impregnowane materiałem PCM





## Zastosowanie odnawialnych źródeł energii i magazynowania energii w budynkach

- Najlepiej w energooszczędnych;
- Różnorodność dostępnych rozwiązań;
- Rozwój technologii;
- Indywidualne podejście konieczne jakkolwiek pewna typizacja jest możliwa;
- Ilościowa analiza i ocena ekonomiczna rozwiązań konieczna;
- Całościowe, zintegrowane podejście.

**Dziękujemy za uwagę**

**Ryszard Wnuk**  
**[rwnuk@kape.gov.pl](mailto:rwnuk@kape.gov.pl)**

**Bartłomiej Asztemborski**  
**[basztemborski@kape.gov.pl](mailto:basztemborski@kape.gov.pl)**