

# Seminarium ITC PW

30.10.2012

## Zastosowanie energii odnawialnych w budownictwie energooszczędnym i pasywnym

- **Efektywność energetyczna budynków, a OZE**
- **Wdrażanie systemów OZE (uwarunkowania)**
- **Ekonomia**

Dr inż. Ryszard Wnuk  
Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A.

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

tel. k. 691956507

# Wymagania w zakresie ochrony cieplnej budynków w Polsce

## Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 75, poz. 690 z dnia 12.04.2002 z późniejszymi zmianami).

- Graniczne wartości współczynników przenikania U dla poszczególnych rodzajów przegród, lub
- Graniczne wartości wskaźników EP (rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz chłodzenia w zależności od współczynnika kształtu A/V budynku)
- Szczegółowe wymagania (izolacyjności i wydajności instalacji grzewczych, ciepłej wody, wentylacyjnych i klimatyzacyjnych, itp.)

$$EP_{gr} = EP_{HC+W+L} = EP_{H+W} = \left(10 + 60 \cdot A_{w,e} / A_f\right) \left(1 - 0,2A/V_e\right) \cdot A_{f,c} / A_f$$

Polska – wymagania sprzed 2009

Budynki mieszkalne wielorodzinne i zamieszkania zbiorowego

**$E_H \leq 90 - 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$  (powszechnie niedotrzymywane)**

Budynki jednorodzinne

$E_H \leq 180 - 250 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$

Budynki usługowe i użyteczności publicznej

$E_H \leq 200 - 400 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$

Polska – po nowelizacji (od 2009)

Budynki mieszkalne wielorodzinne i zamieszkania zbiorowego

**$E_H \leq 120 - 150 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$  – pogorszenie (?)**

Budynki jednorodzinne  $E_H \leq 120 - 200 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$

Budynki usługowe i użyteczności publicznej

$E_H \leq 150 - 350 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$

$U \leq U_{gr}$  lub  $EP \leq EP_{gr}$ , gdzie

Liczy się b. łatwo

Liczy się b. trudno

$E_H = 120 - 150 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$

$E_H = 70 - 110 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$

### Graniczne wartości U

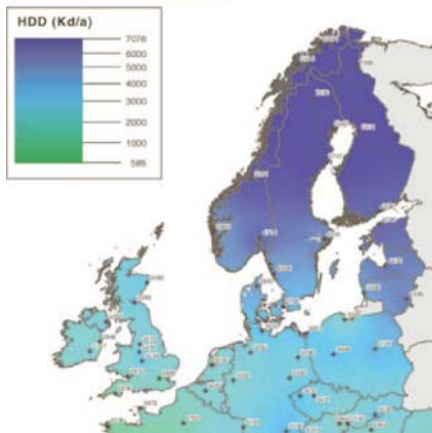
ściany - 0,30 W/(m<sup>2</sup> K)

dach/stropodach - 0,25 W/(m<sup>2</sup> K)

podłogi - 0,45 (m<sup>2</sup> K)/W

# Wymagania w zakresie ochrony cieplnej budynków w Polsce na tle innych krajów UE

European heating degree days  
EUROSTAT method



## Litwa

Dla budynków  
mieszkalnych:

Graniczne wartości  $U_0$

- ściany 0,20
- dach/stropodach 0,16
- podłogi 0,25

## Słowenia

Dla budynków  
mieszkalnych:

Graniczne wartości  $U_0$

- ściany 0,15
- dach/stropodach 0,15
- podłogi 0,25

## Dania (duży eksporter energii i paliw)

Obecne wymagania (po wdrożeniu dyrektywy)

Dotyczą budynków mieszkalnych i zużycia energii pierwotnej łącznie na potrzeby:

- przygotowania ciepłej wody użytkowej
- ogrzewania
- chłodzenia/klimatyzacji
- oświetlenia

$$E \leq 70 + 2200/A \quad \text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$$

A – powierzchnia całkowita budynku, czyli:

- dla domu jednorodzinnego o pow. 220 m<sup>2</sup>

$$E \leq 80 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$$

- dla budynku wielorodzinnego o pow. 2200 m<sup>2</sup>

$$E \leq 71 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$$

dla celów ogrzewania

(do porównania z wymogami polskimi):

- **$E_H \leq 40 - 50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$**

### Graniczne wartości U

ściany	- 0,20 – 0,40 W/(m <sup>2</sup> K)
dach/stropodach	- 0,15 – 0,25 W/(m <sup>2</sup> K)
podłogi	- 0,12 – 0,30 W/(m <sup>2</sup> K)

**„Jak daleka jest droga” (dodatkowe koszty) od standardu obowiązującego do standardu pasywnego?**

- ◆ Niemcy, Austria ok. 4 – 6%
- ◆ Polska ok. 20 – 30%

## Austria

Kraj federacyjny – różne wymagania w zależności od kraju związkowego

Dla budynków mieszkalnych:

Graniczne wartości  $U_0$

- ściany 0,35 – 0,50 W/(m<sup>2</sup> K)
- dach/stropodach 0,20 – 0,25 W/(m<sup>2</sup> K)
- podłogi 0,35 – 0,40 W/(m<sup>2</sup> K)

Graniczne wartości wskaźnika

sezonowego zapotrzebowania na ciepło

$E_S$  (z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego)

$E_S \leq 30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$  – od roku 2011

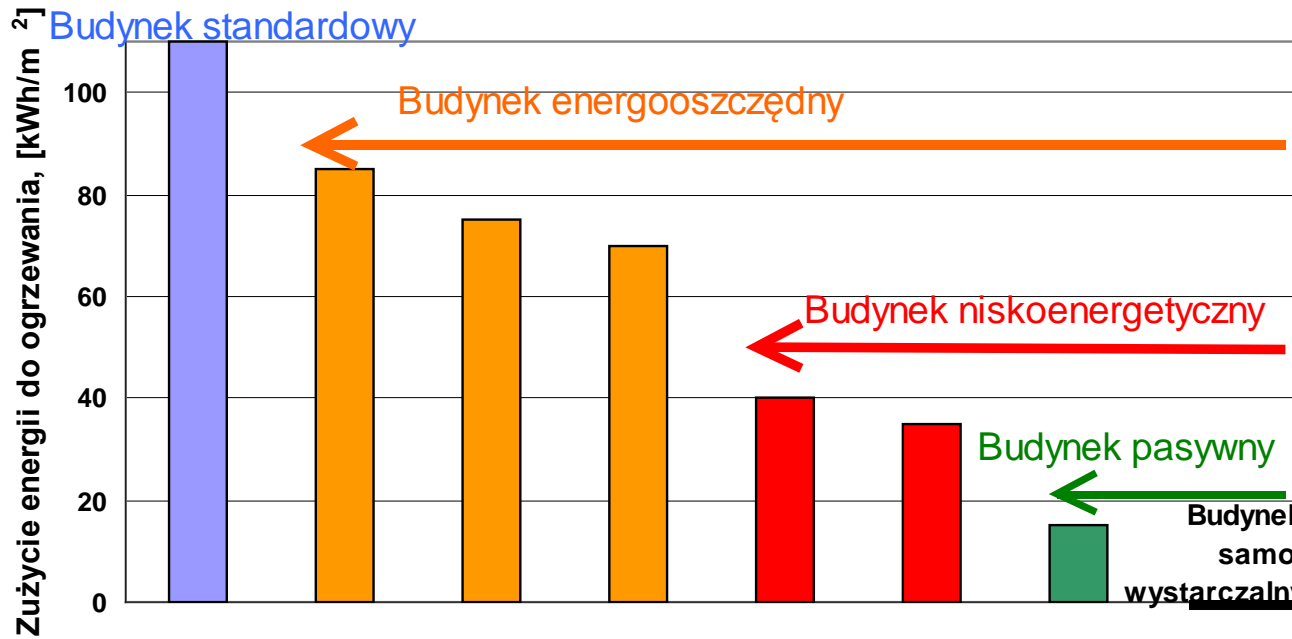
czyli dla celów ogrzewania (do porównania z wymogami polskimi):

**$E_H \leq 24 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$**

Goeteborg



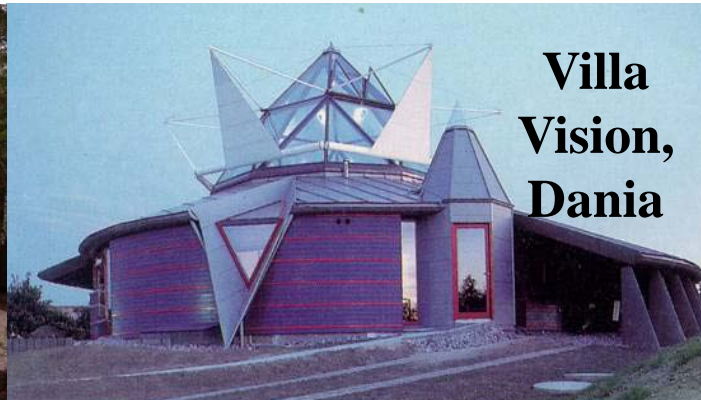
# Kategorie budynków o zmniejszonym, w odniesieniu do obiektów typowych lub standardowych, zapotrzebowaniu na energię



Freiburg



Legionowo

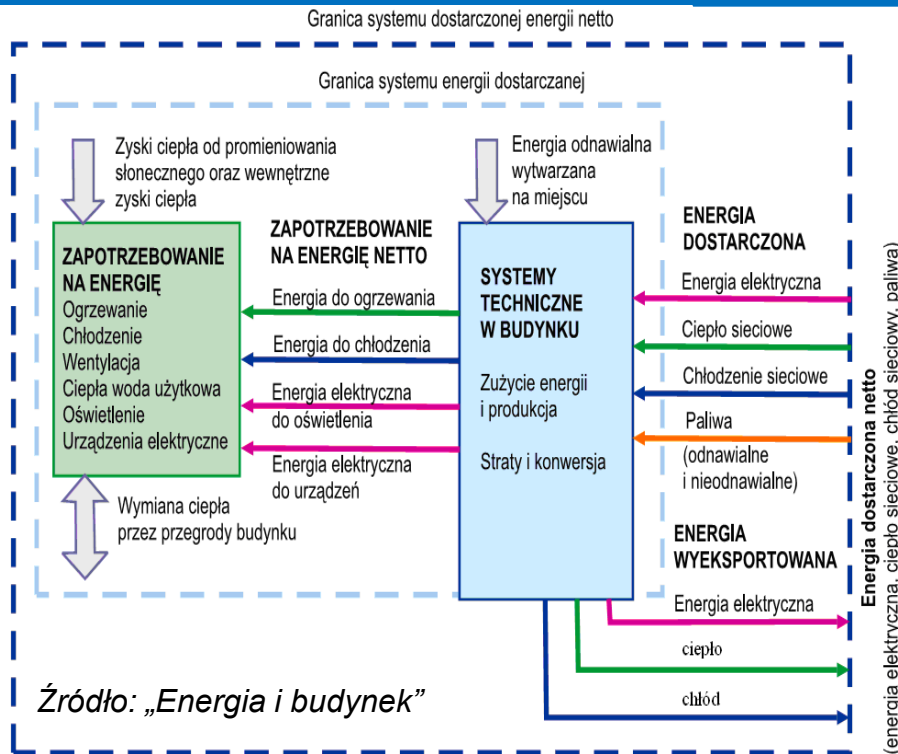


Villa Vision, Dania



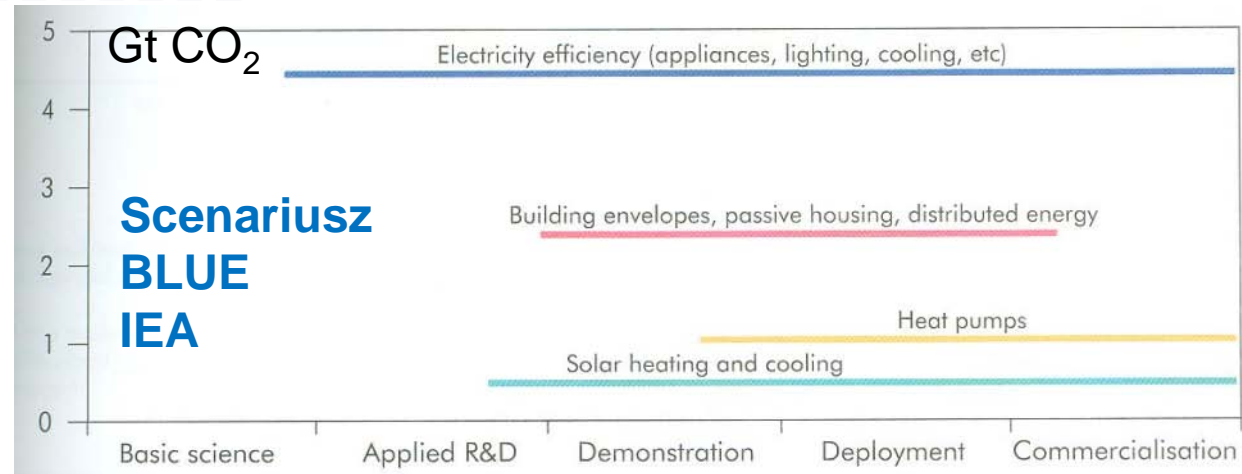
Sapporo



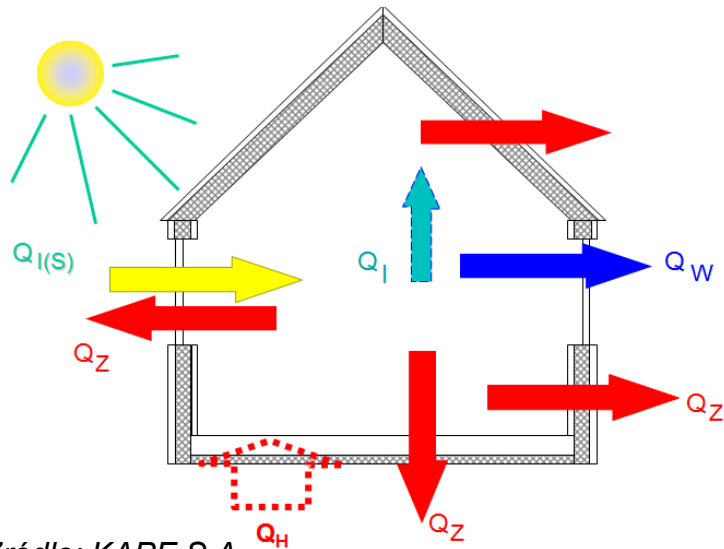


- Państwa członkowskie zapewniają, aby:
- do dnia 31 grudnia 2020 r. wszystkie nowe budynki były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii oraz
  - po dniu 31 grudnia 2018 r. nowe budynki zajmowane przez władze publiczne oraz będące ich własnością były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii.

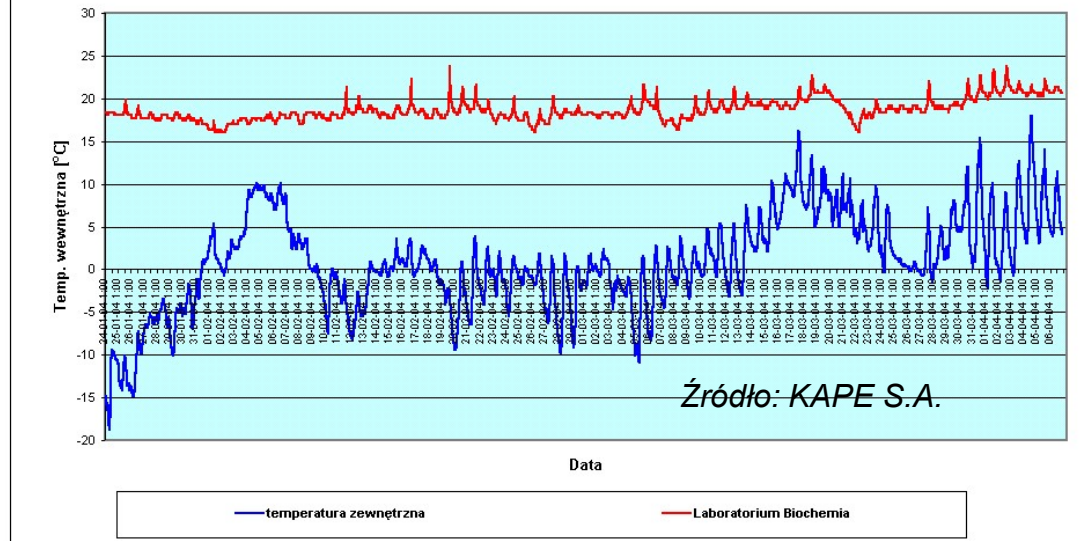
- Technologie: np. ISE,
- Prosumenci,
- Regulacje....



$$\dot{Q}_H + \dot{Q}_I = \dot{Q}_Z + \dot{Q}_W$$



Rys. 11. Przebieg temperatury wewnętrznej w Laboratorium Biochemii, Szpital w Bytowie.



Źródło: KAPE S.A.

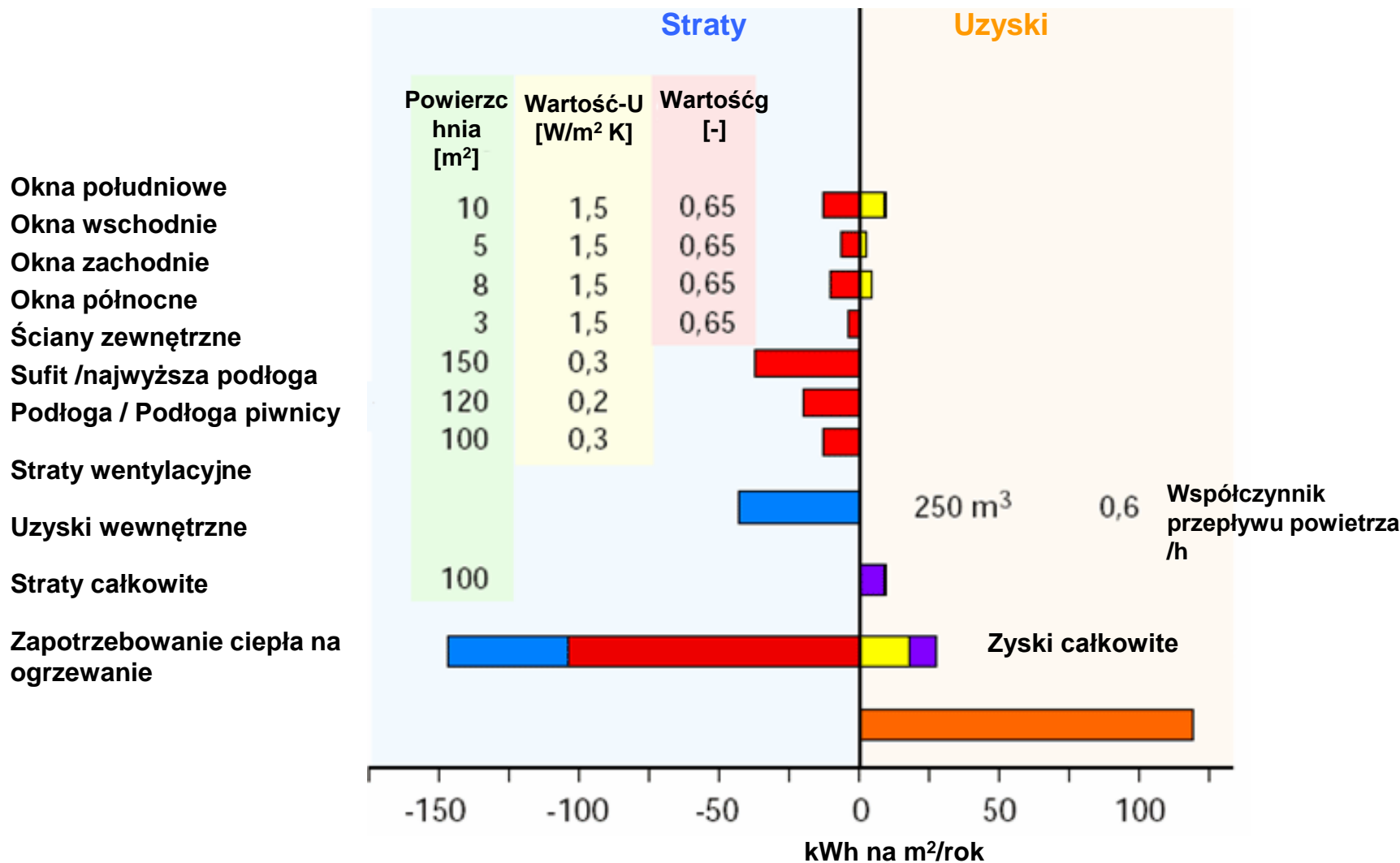
- $\dot{Q}_H$  - strumień ciepła dostarczany przez system grzewczy budynku do pomieszczeń
- $\dot{Q}_I$  - strumień zysków ciepła w budynku (wewnętrznych i zewnętrznych – słonecznych)
- $\dot{Q}_Z$  - strumień strat ciepła przez przegrody zewnętrzne
- $\dot{Q}_W$  - strumień strat ciepła na potrzeby wentylacji

**Sezonowe zapotrzebowanie na ciepło budynku**

$$\dot{Q}_H = \int_A \int_{k_0}^{k_1} \dot{Q}_Z dk dA + \int_A \int_{k_0}^{k_1} \dot{Q}_W dk dA - \int_A \int_{k_0}^{k_1} \dot{Q}_I dk dA = \sum_{i=1}^N (Q_{Z_i} + Q_{W_i} - \eta_i Q_{I_i})$$

- $i$  – miesiące sezonu grzewczego
- $k_0$  – początek sezonu grzewczego
- $k_1$  – koniec sezonu grzewczego
- $\eta_i$  – empiryczny współczynnik efektywności wykorzystania zysków ciepła w miesiącu  $i$

# Całkowity bilans cieplny



źródło: Energiegerechtes Bauen, Bundesarchitektenkammer Birkhäuser Verlag, 1996

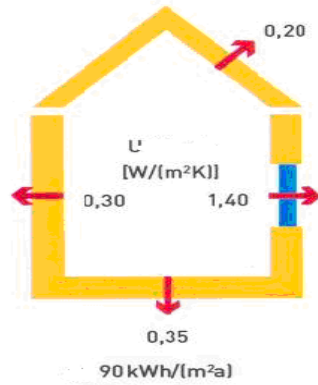
kWh/m<sup>2</sup>a

135



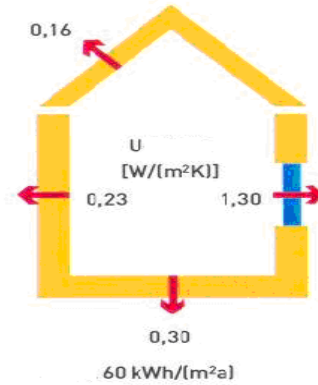
EnEV 2002

30 cm  $\lambda_R = 0,10 \text{ W}/(\text{mK})$



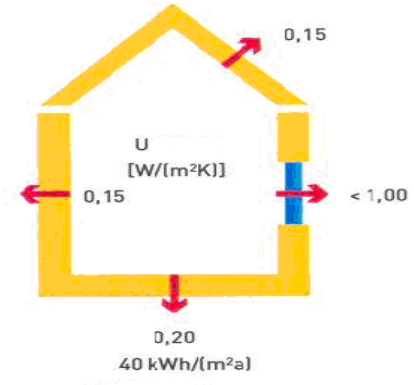
Energiesparhaus 60

36,5 cm  $\lambda_R = 0,09 \text{ W}/(\text{mK})$



Energiesparhaus 40

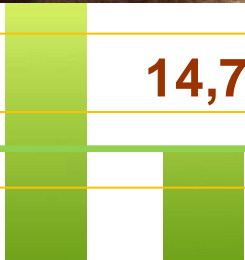
48 cm  $\lambda_R = 0,08 \text{ W}/(\text{mK})$



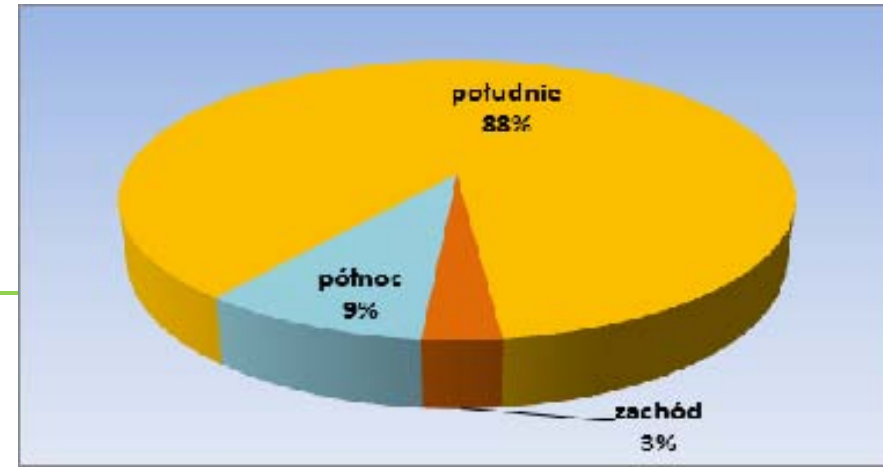
**SPORTOWA HALA PASYWNA W SŁOMNIKACH**



14,7



	kWh/(m <sup>2</sup> a)
straty ciepła przez wentylację	-23,1
straty ciepła przez przenikanie	-13,4
zyski słoneczne	9
wewnętrzne zyski ciepła	13,7
zapotrzebowanie energii do ogrzewania	14,6



Źródło: Innowacyjna Polska 2010-2020 „Wysokoenergetyczne budynki pasywne w polskich miastach i gminach”, Konferencja „Efektywność energetyczna oraz racjonalne wykorzystanie zasobów energetycznych w aspekcie ochrony środowiska”, Kraków 5-6 lipca 2012 r.



# Narzędzia oceny efektywności energetycznej, środowiskowej, ekonomicznej

- **Audytor OZC, ArCADia-TERMO, CERTO, EXPERT Certyfikat Energetyczny**
- **PHPP (Passive House Planning Package)**
- **ECOSOFT + ECON**
- **CEBA (Common European Building Assessment) - ocena punktowa, kryteria w odniesieniu do nowych i istniejących budynków**
  - A (dostępność budynku, komunikacja miejska, inne)
  - B (proces podejmowania decyzji, zdefiniowanie celów, optymalizacja zaopatrzenia w energię, zarządzanie produktem, inspekcje na obiekcie, SPBT)
  - C (zapotrzebowanie na energię i inne, emisja CO<sub>2</sub>)
  - D (komfort)
  - E (materiały budowlane, konstrukcja, indeksy szkodliwości)
- **STEP – Zrównoważona Termomodernizacja Budynków Publicznych**
- **LCA**



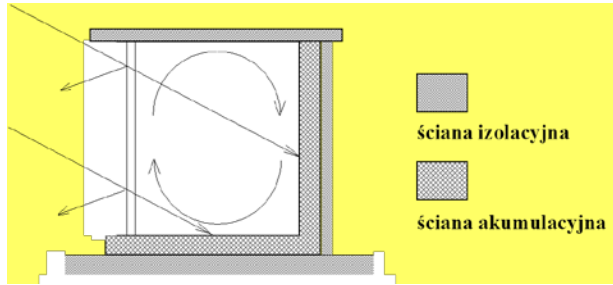
# Możliwość zastosowania odnawialnych źródeł energii w budynkach:

- **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, systemów mikrogeneracyjnych.**

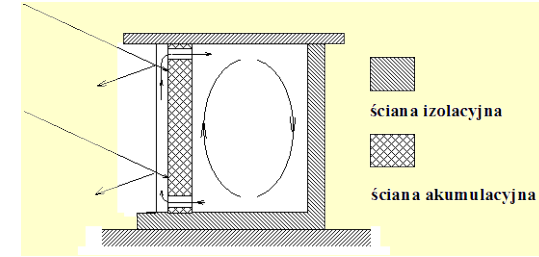


# Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego – systemy pasywne

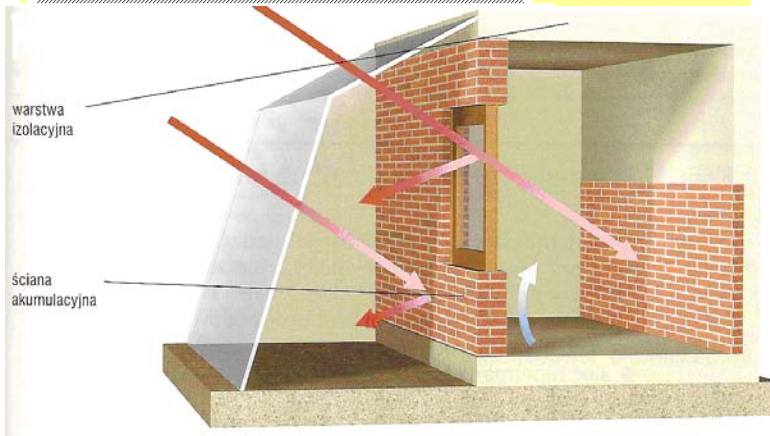
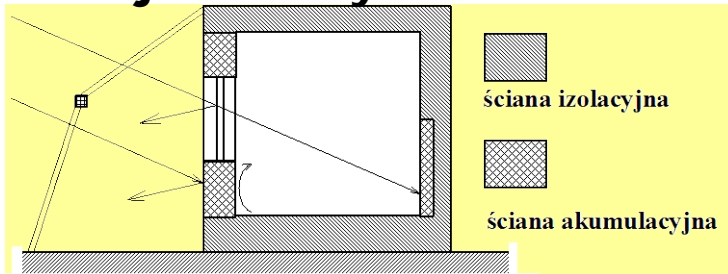
## System zysków bezpośrednich



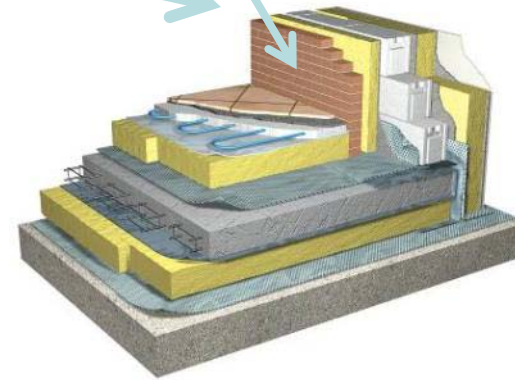
## System zysków pośrednich



## System zysków pośrednich z układem oszklonej werandy



klinkier



Przykład realizacji – system zysków bezpośrednich



# Zasobniki ciepła w budynkach

## Zasobniki strukturalne

Zasobniki  
cienkowarstwowe

Zasobniki  
średniej wielkości

Zasobniki  
masywne

Magazyny  
ciepła  
instalacji  
grzewczych

# R & D



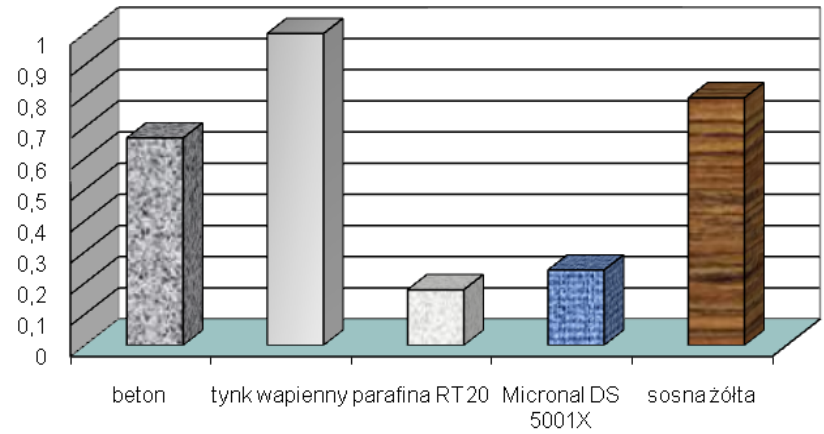
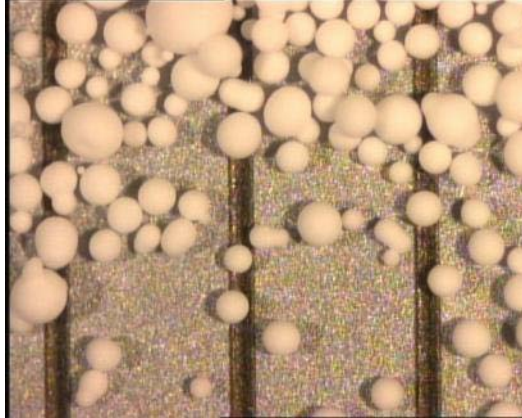
Rodzaje magazynów energii:

- 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....

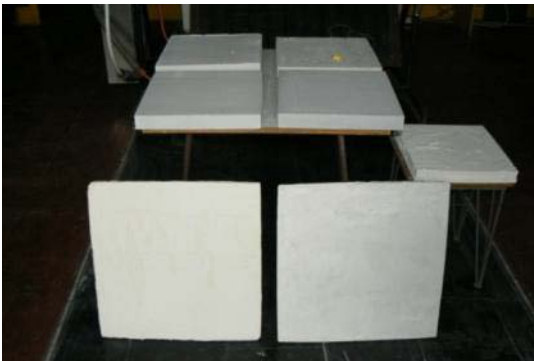
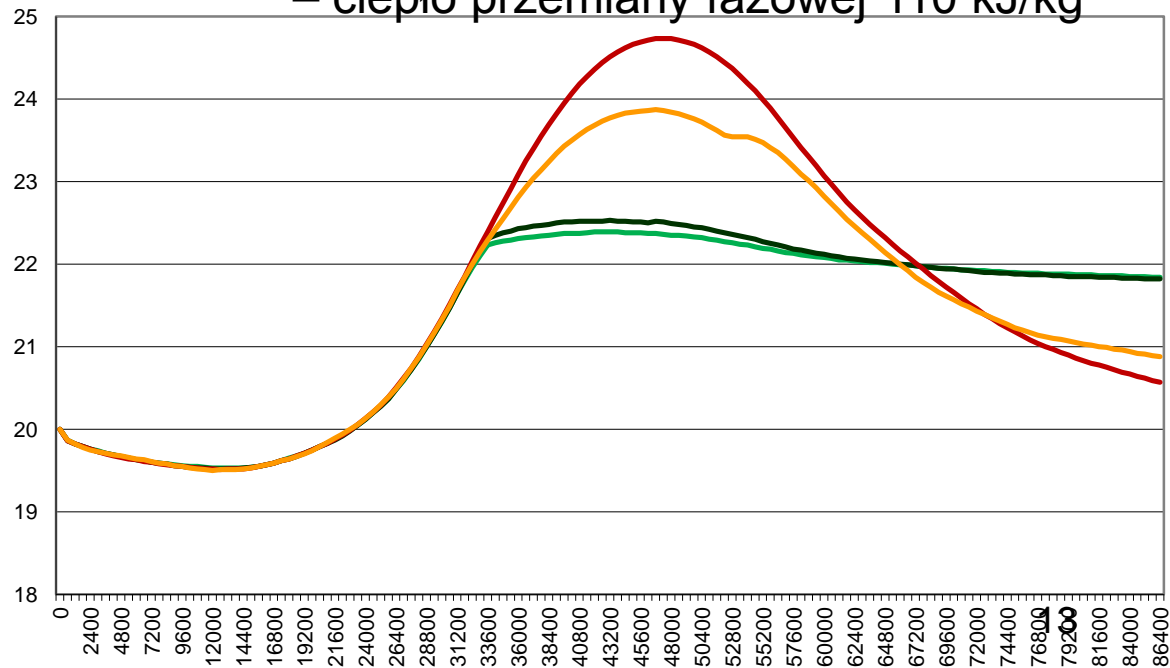
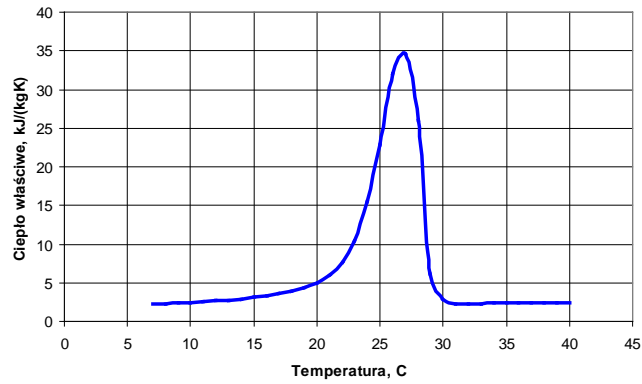




Akumulacja ciepła  
przykład materiału zmiennie-fazowego –

# Micronal 5008

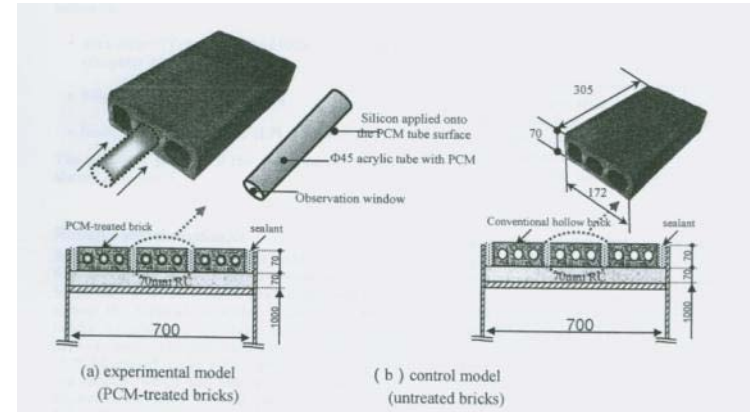
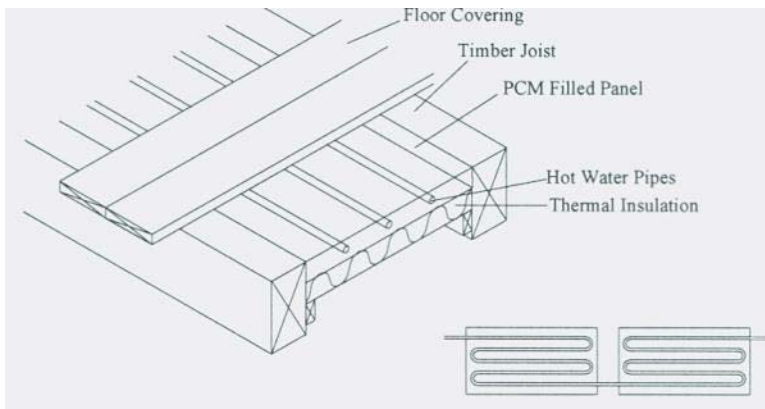
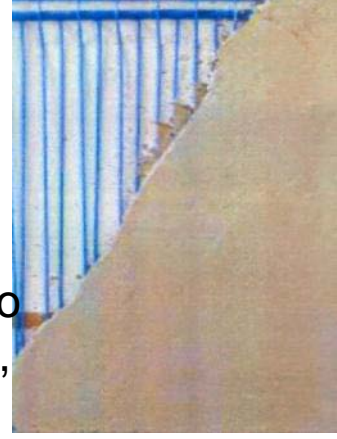
– ciepło przemiany fazowej 110 kJ/kg





## Magazynowanie ciepła/chłodu - przykłady

Zastosowanie PCM w budynku wielopiętrowym. PCM - w układzie chłodzenia sufitowego. Sufity pomieszczeń posiadają płyty gipsowe z mikrokapsułkami z PCM, nad którymi umieszczono rurowy system chłodzący. Płyta ma grubość 4 cm, 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 ściennie z PCM

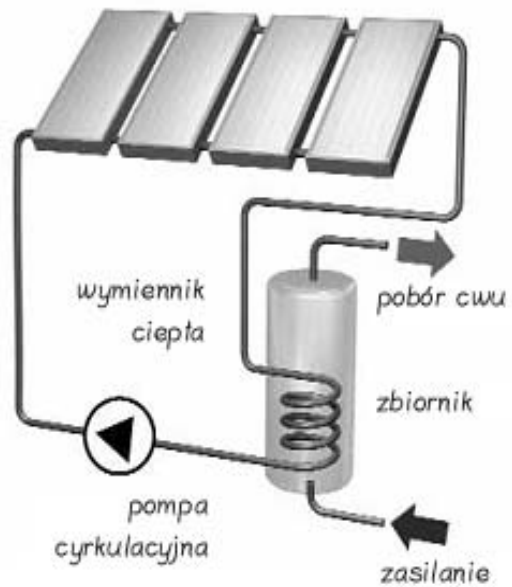
Materiał zmiennie-fazowy domieszkowany do warstwy tynku







kolektory promieniowania słonecznego



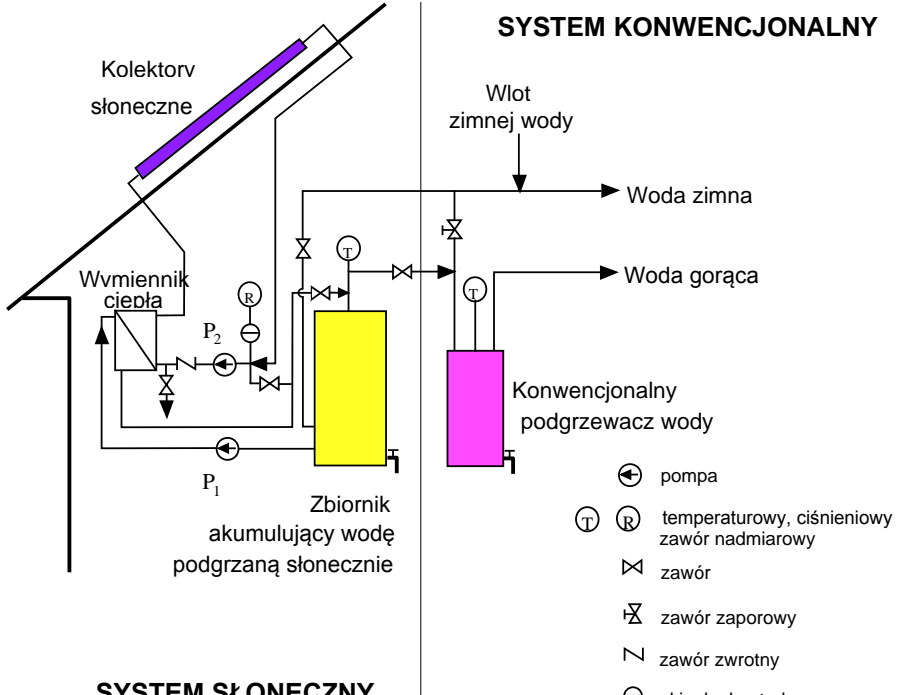
System aktywny pośredni



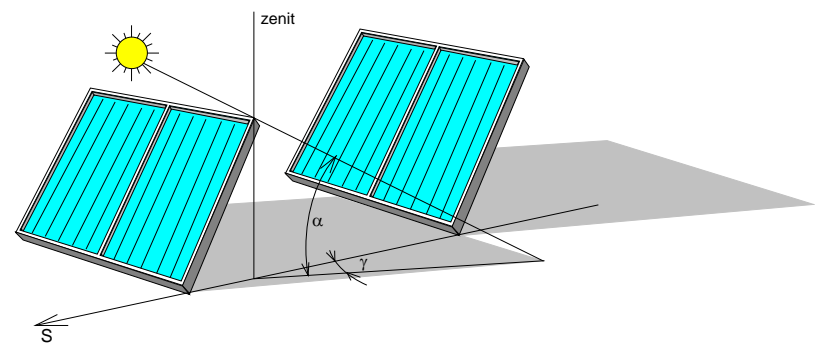
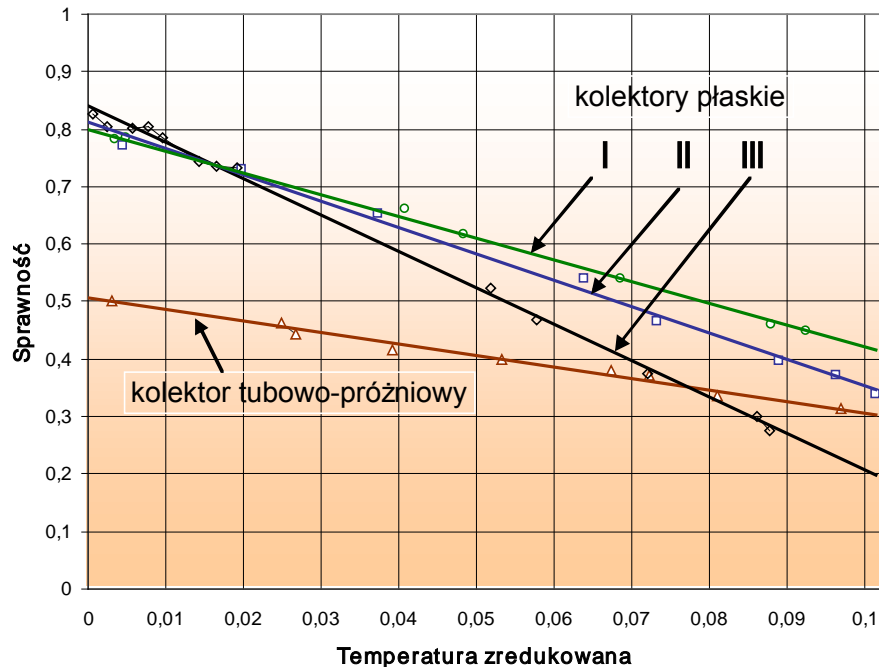
Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego



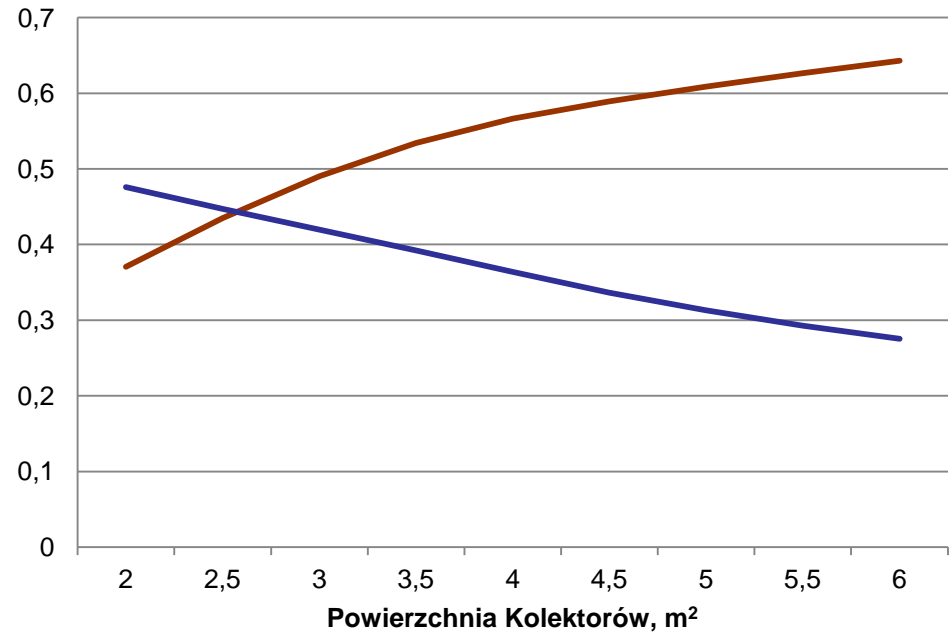
## SYSTEM KONWENCJONALNY



## SYSTEM SŁONECZNY



$$D = \beta (\cos \beta + \sin \alpha) \operatorname{ctg} \gamma$$



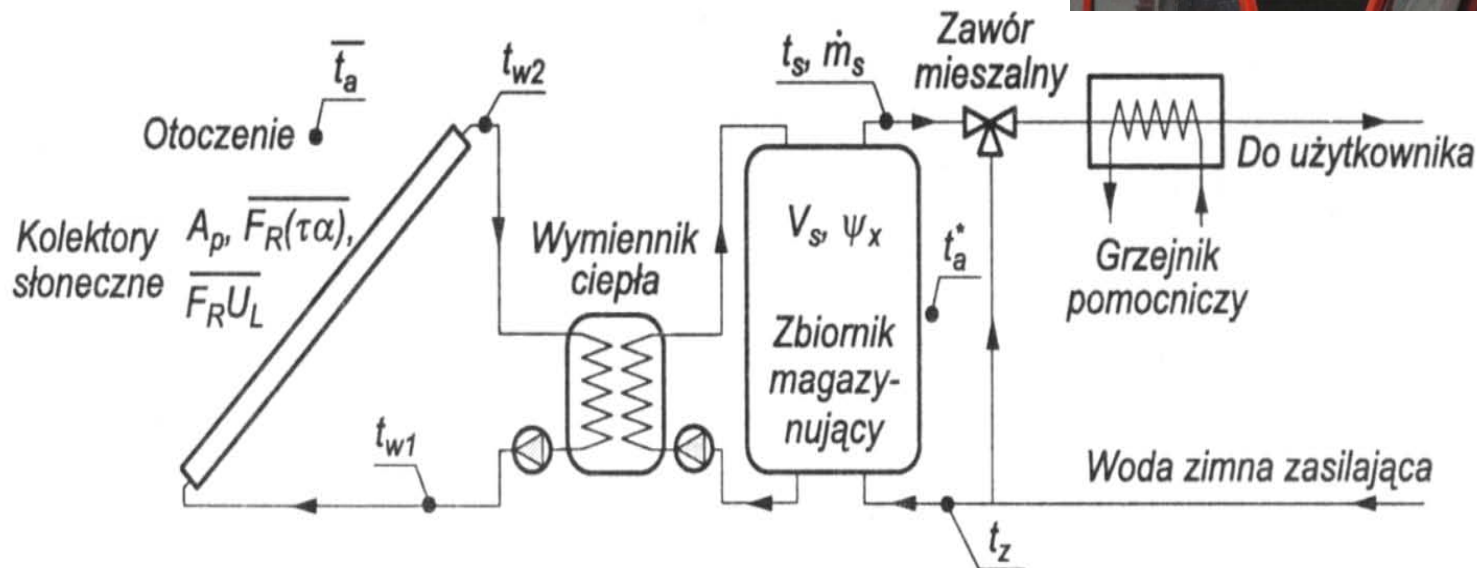
— stopień pokrycia zapotrzebowania przez system słoneczny

— roczna sprawność systemu słonecznego



# Wymiarowanie instalacji

– np. metoda f-chart



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

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



## Bariery:

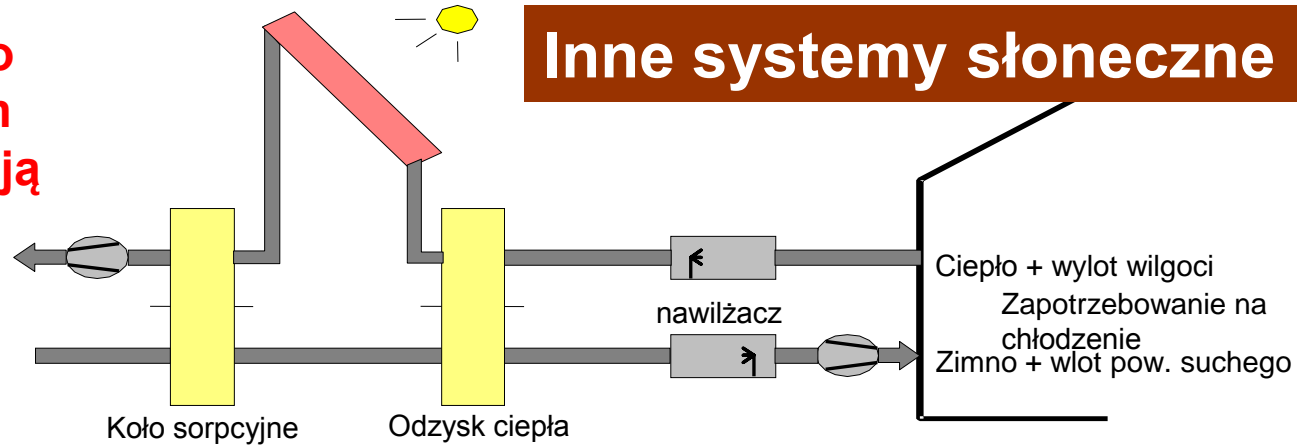
- Koszty
- Koherentność – magazynowanie?
- Jakość
- Niewłaściwe wymiarowanie



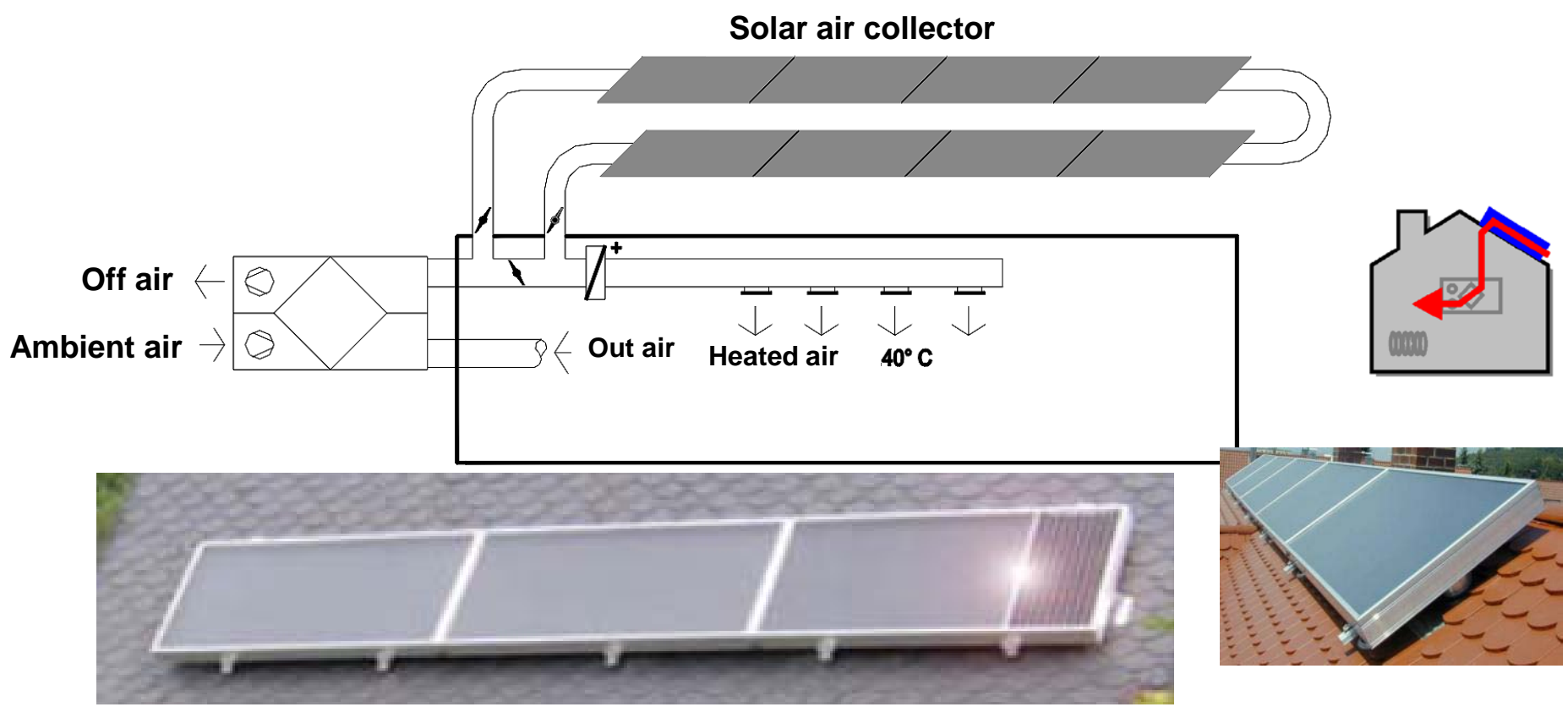


# Kolektory słoneczne do chłodzenia – z układem sorpcyjnym i klimatyzacją

# Inne systemy słoneczne



# Słoneczny system powietrzny wspomagający system odzysku ciepła





sc-Si  
mc-Si  
„ribbon”

# PV

a-Si/  
mc-Si  
CdTe  
CIS



**Scenariusz BLUE IEA**  
**Budynki: Pełna integracja ze strukturą (BIPV)**  
**Zaawansowane systemy magazynujące**  
**Technologia:**  
**c-Si – sprawność 25%**  
**Ogniwa cienkowarstwowe: 20-25%,**  
**żywność 30-35 lat**  
**Ogniwa 2, 3 generacji:**  
**Sprawność > 40%**  
**Ekstremalnie niski koszt: sprawność 10-15%**







**Osiedle „słoneczne”  
– Energy +  
Freiburg**



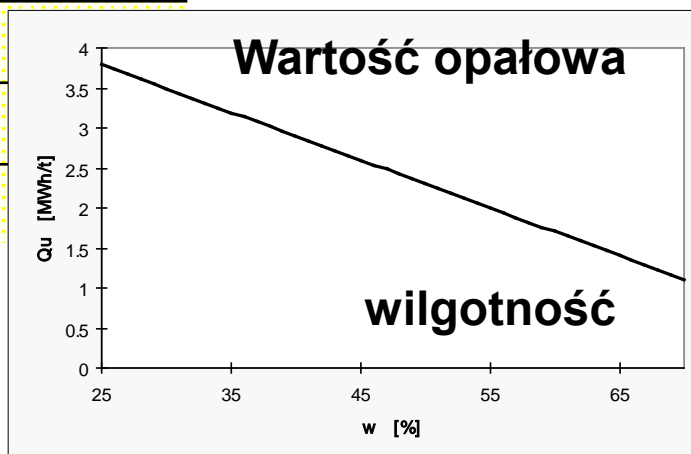


## Pelety

## Brykiety

## Zrębki

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

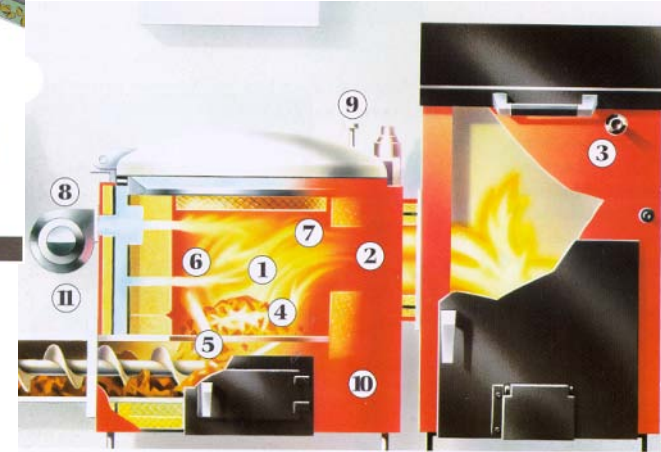
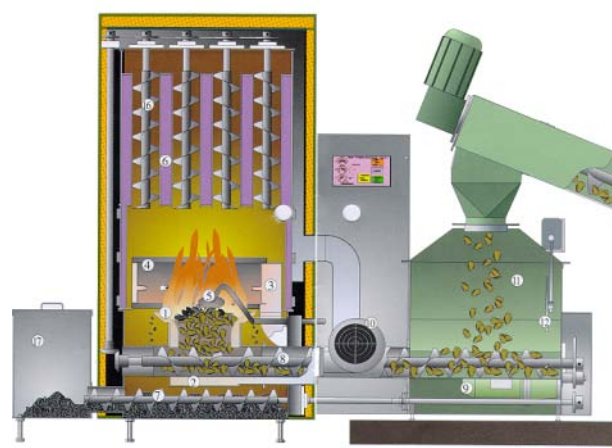


**Pełzający rynek?**

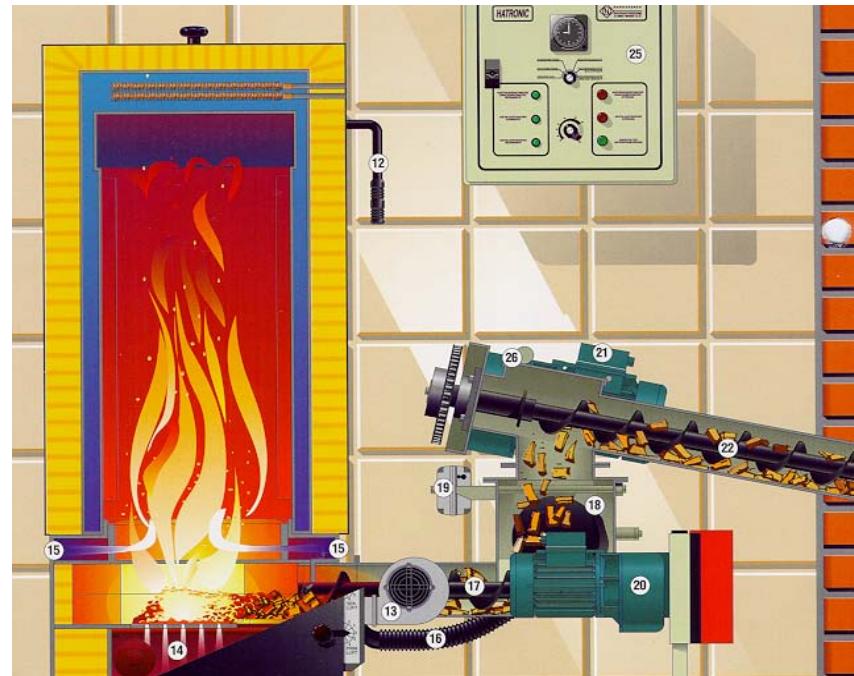
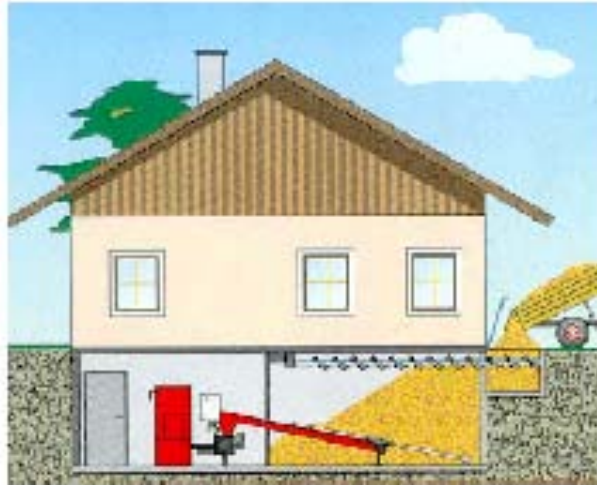




**Palenisko z piecem przednim**

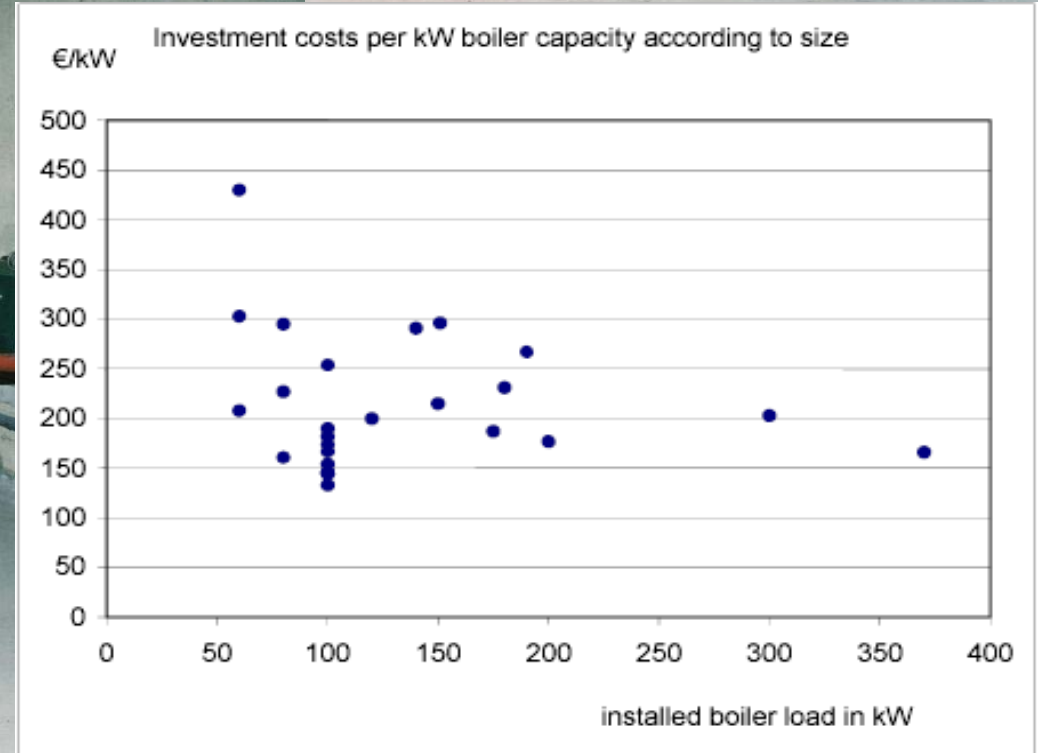


**Palenisko korytkowe**



**Palenisko z rusztem podsuwowym**

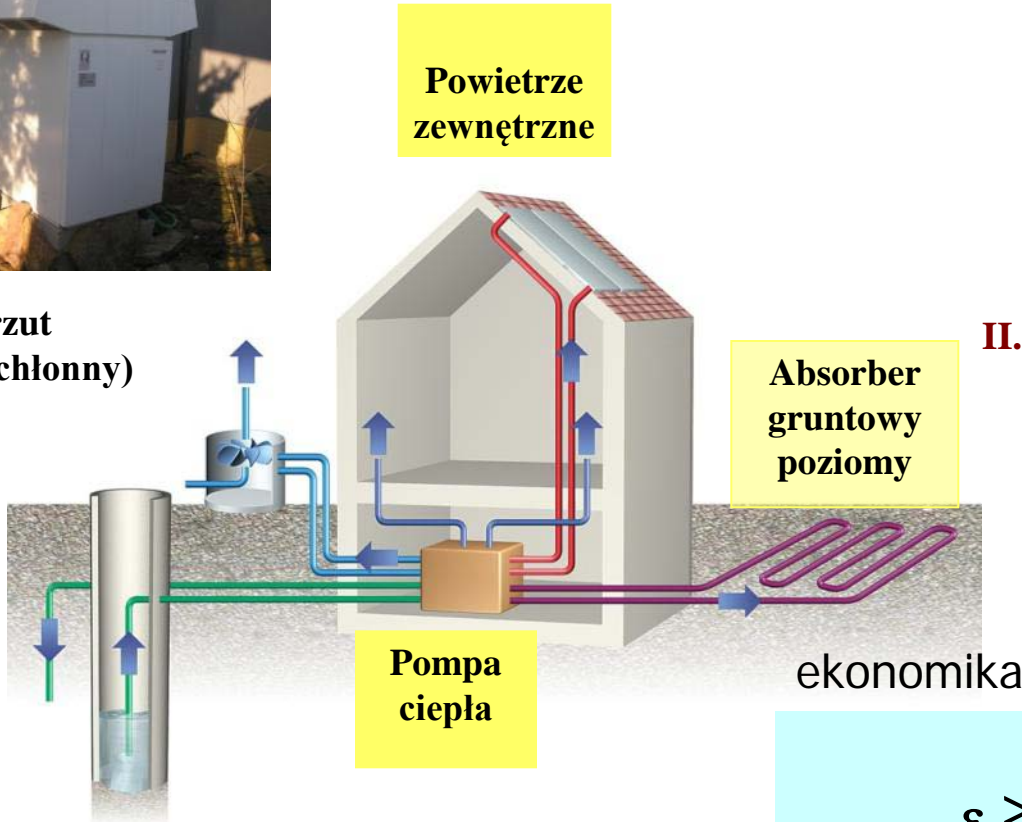




# Wykorzystanie energii zawartej w otoczeniu domu – za pośrednictwem pomp ciepła



Zrzut  
(otwór chłonny)



**Dolne źródła ciepła:**

## I. naturalne (odnawialne)

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

## II. sztuczne (odpadowe)

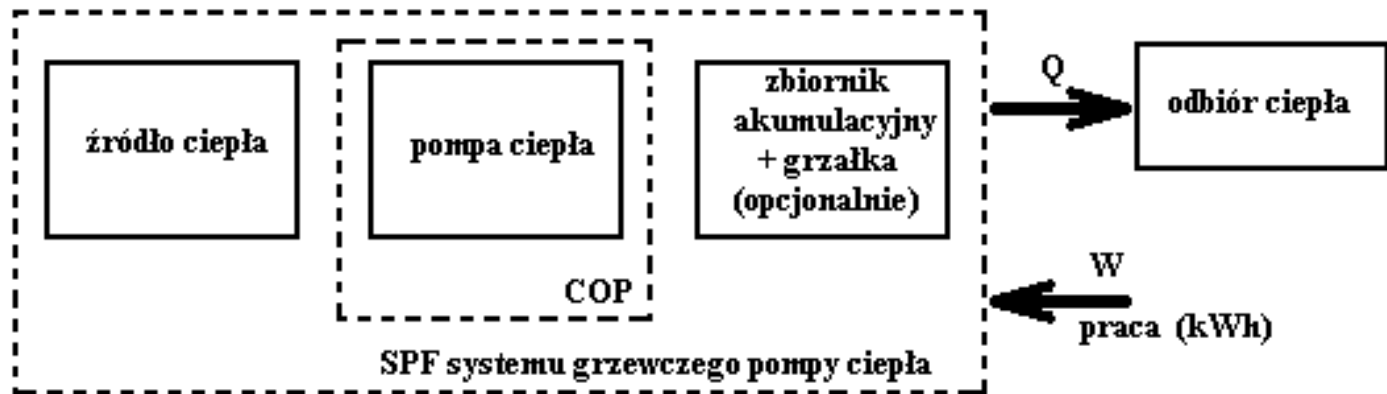
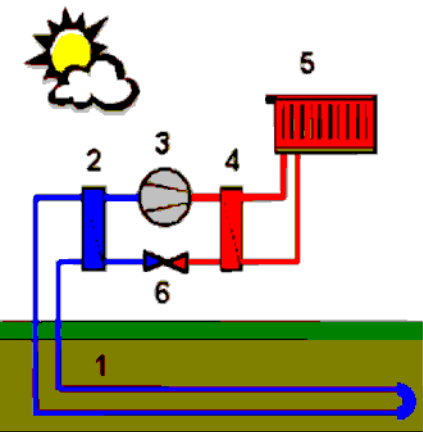
- powietrze i gazy odlotowe
- woda odpadowa
- ścieki
- woda chłodnicza

Koszty eksploatacyjne

**zł/kWh (energii elektrycznej)**

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

$$\varepsilon \text{ (współczynnik wydajności grzejnej)} = \text{zł/kWh ciepła}$$



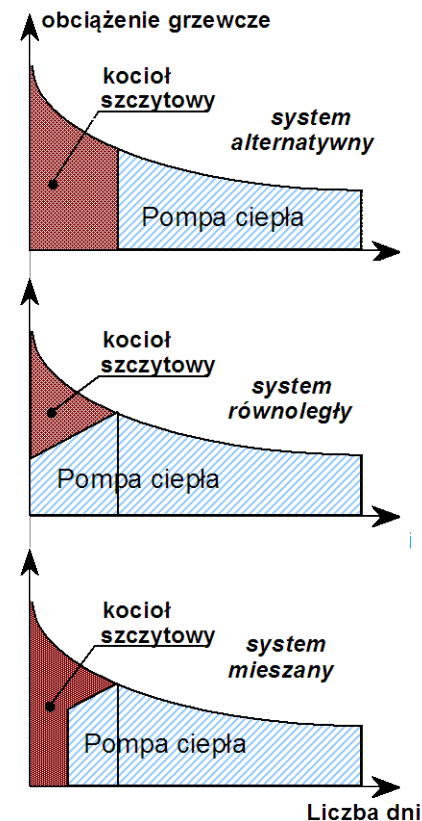
## Możliwości funkcjonowania bivalentnego grzewczego układu z pompą ciepła

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.

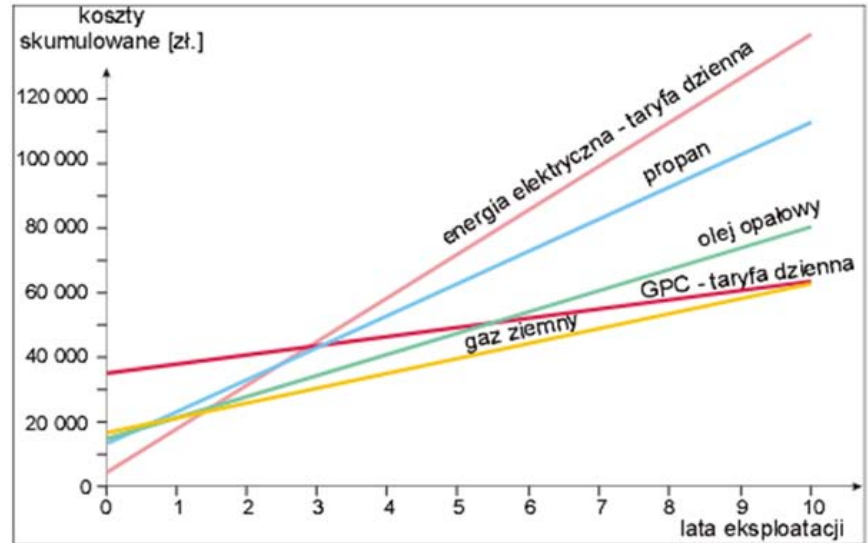
**SPF – COP?**



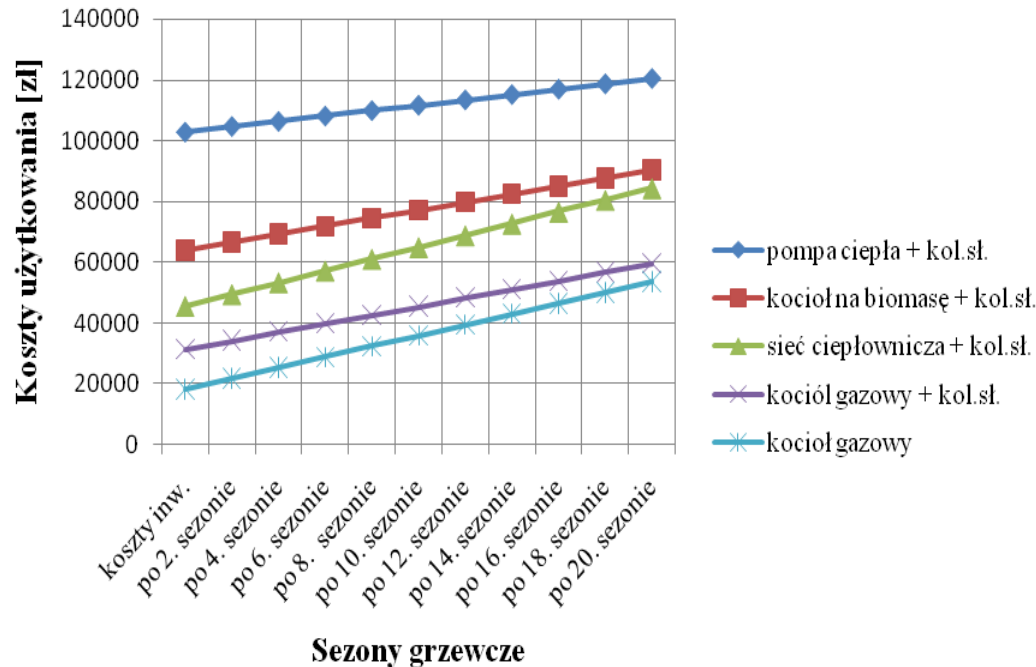


# Rozwój: Technologiczny pomp ciepła, systemów zarządzania energią, integracji systemów

## Scenariusz BLUE IEA Budynki: 50-70% z pompami ciepła

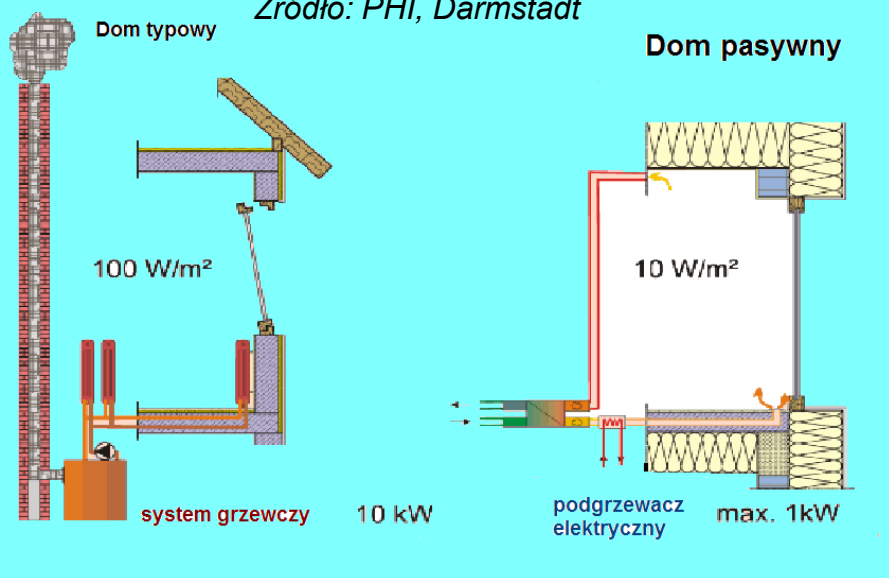


Wykres porównawczy skumulowanych kosztów ogrzewania budynku jednorodzinnego przy pomocy różnych systemów grzewczych



Źródło: PHI, Darmstadt

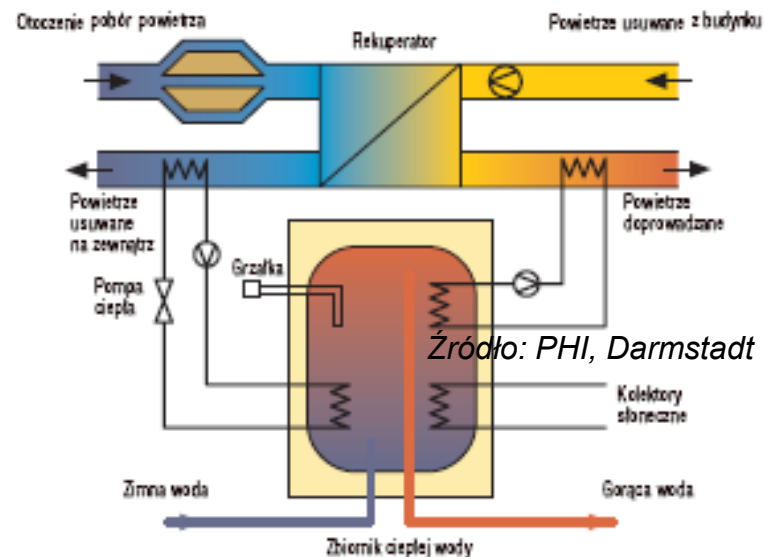
System ogrzewania może stanowić grzejnik elektryczny w systemie wentylacji lub niewielkie źródło zasilające niskotemperaturowe wymienniki ciepła.



## Domy niskoenergochłonne, pasywne

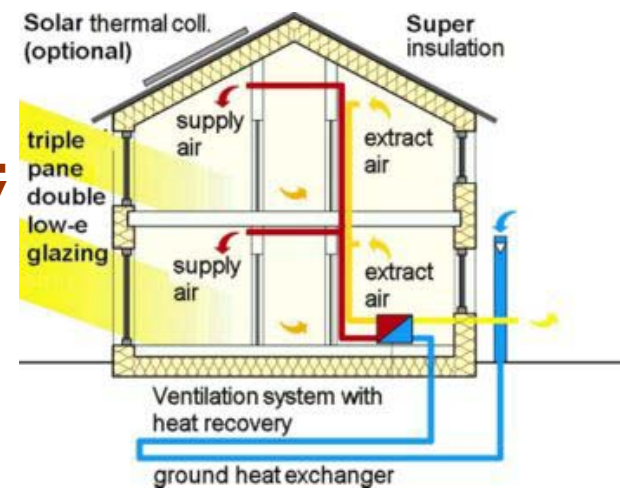
### Typowe rozwiązania systemów grzewczych domów pasywnych, z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii:

- 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.



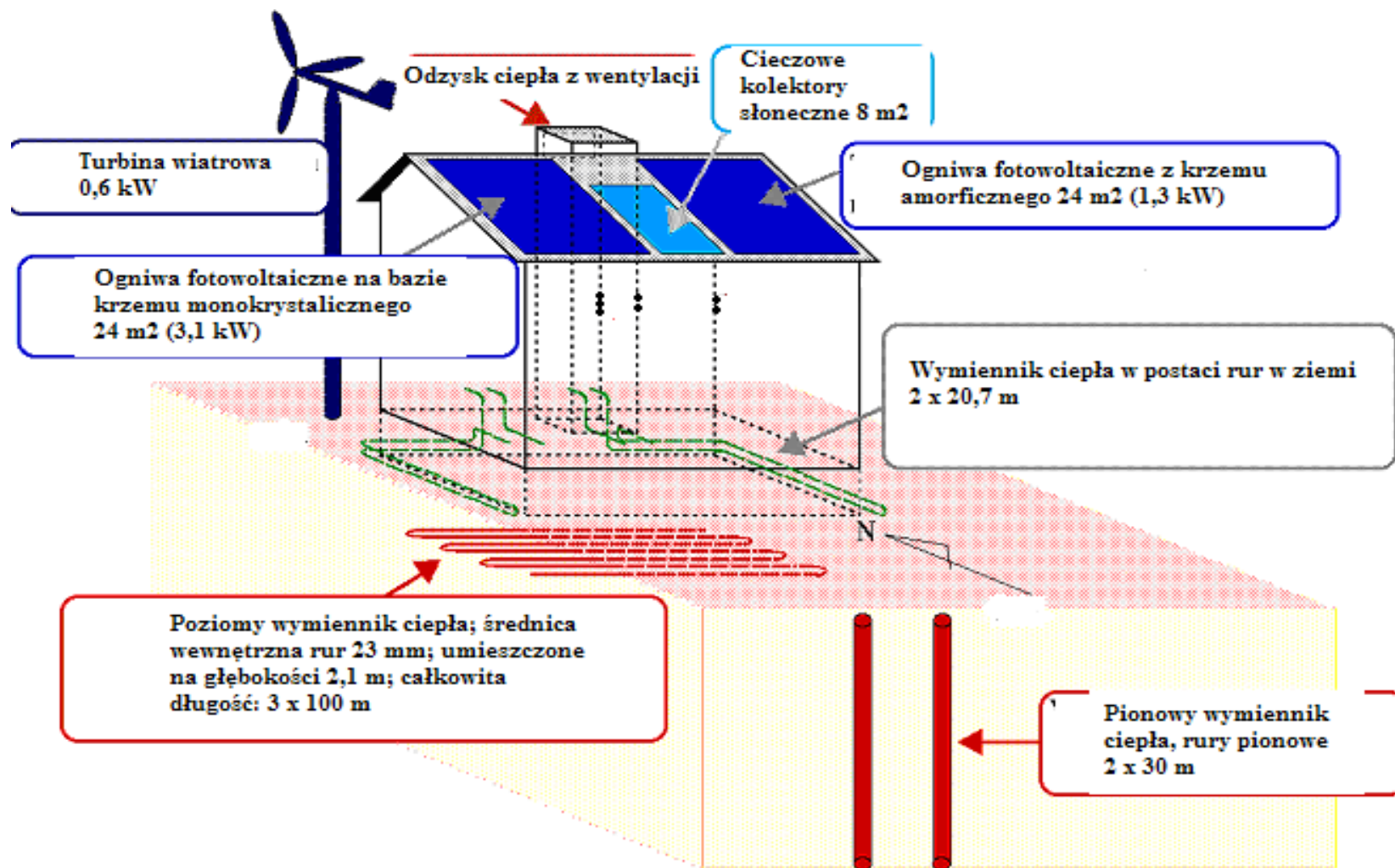
## Rozwiązania niekonwencjonalne, dotyczące pozyskiwania, magazynowania i utylizacji energii i odpadów, w tym:

- **zapewnienie, poprzez odpowiedni kształt budynku, jego współistnienia z otoczeniem (zadrzewienie);**
- **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;**



Źródło: PHI, Darmstadt

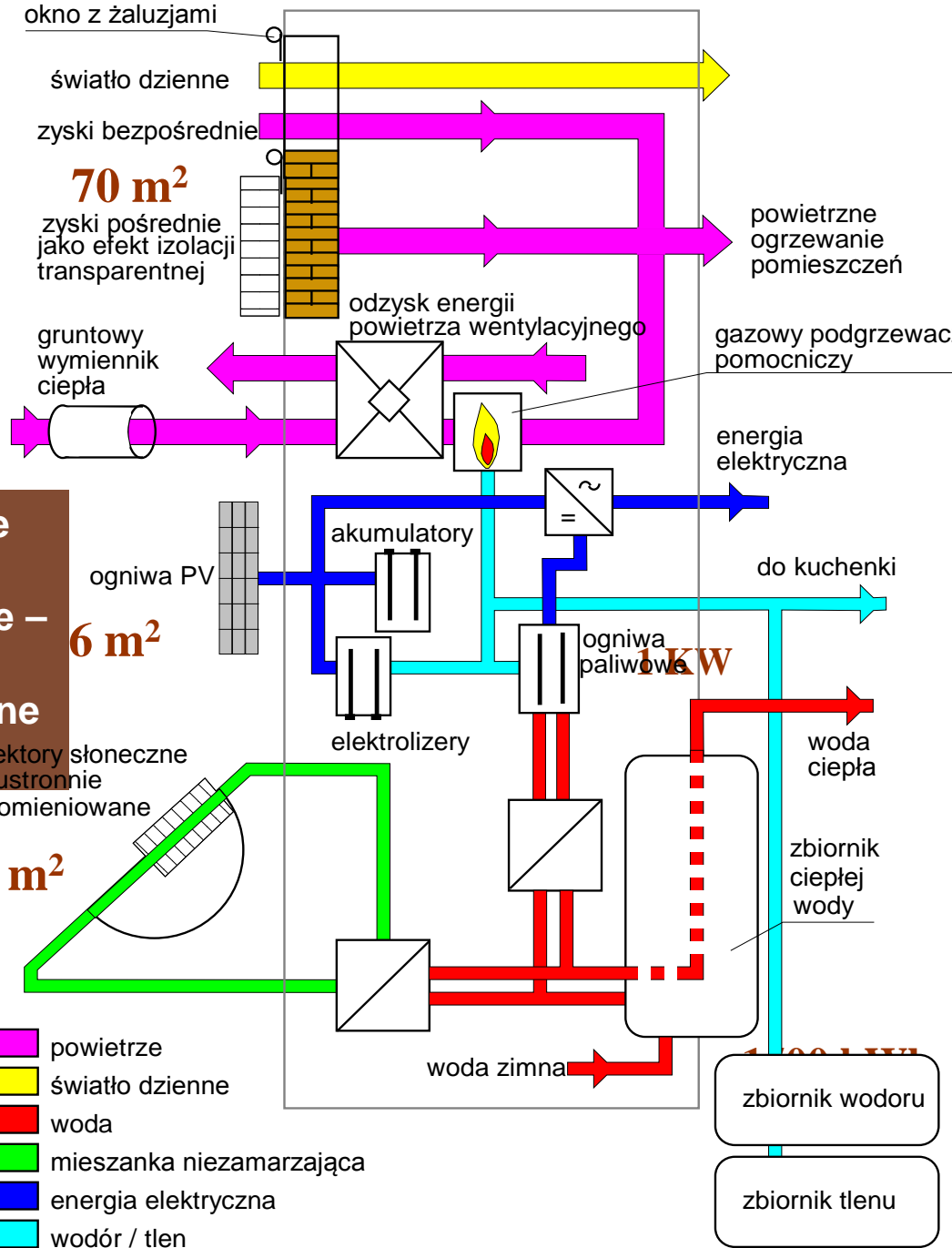






**Magazynowanie energii – długoterminowe – procesy elektrochemiczne**  
**Ekonomika?**

Samowystarczalny energetycznie dom „słoneczny” – Freiburg (Niemcy) 1994



# Koszty w cyklu użytkowania, jako narzędzie optymalizacji standardu energetycznego budynków

$$C_G(\tau) = C_i + \sum_j \left[ \sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \cdot R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

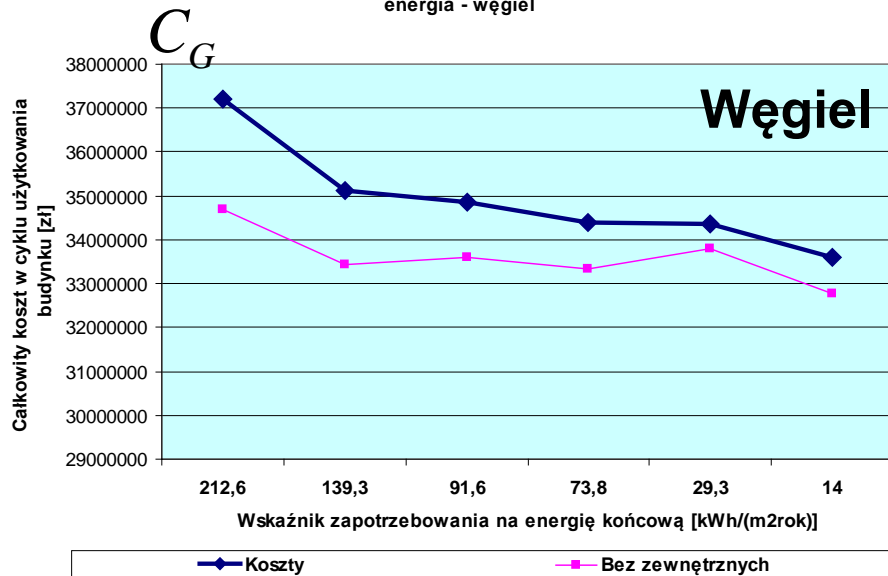
Zestawienie przedsięwzięć w zakresie wzrostu efektywności energetycznej analizowanych budynków modelowych

Standard energetyczny budynku	Zwiększenie grubości izolacji przegród			Okna o współczynniku przenikania ciepła w W/(m <sup>2</sup> K)			Wentylacja mechaniczna ze sprawnością odzysku		Kolektory słoneczne	Ponad standardowa inst. c.o. i c.w.u.	Pompa ciepła
	o 10 cm	o 15 cm	o 20 cm	0,9	0,7	0,5	60%	85%			
<b>Budynek standardowy</b>											
<b>Budynek o podw. standardzie</b>	<b>X</b>			<b>X</b>						<b>X</b>	
<b>Budynek o wysokim standardzie</b>		<b>X</b>			<b>X</b>		<b>X</b>			<b>X</b>	
<b>Budynek o bardzo wysokim standardzie</b>			<b>X</b>			<b>X</b>		<b>X</b>		<b>X</b>	
<b>Budynek o bardzo wysokim standardzie z kolektorami</b>			<b>X</b>			<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	
<b>Budynek o b. wysokim standardzie z pompą ciepła</b>			<b>X</b>			<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>

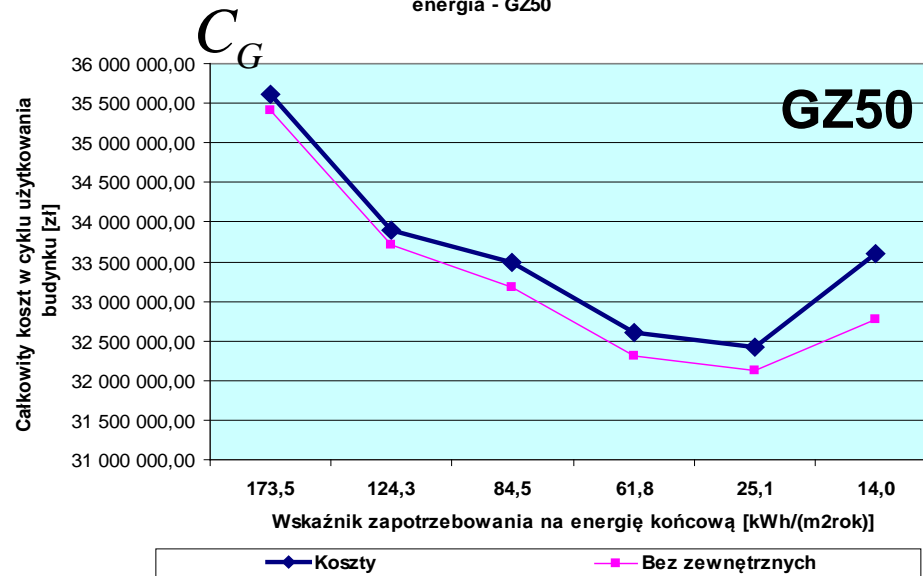


**Wsp. dyskontujący****0,03****Inflacja****0,025****Wzrost cen energii****0,06***Źródło: KAPE S.A.*

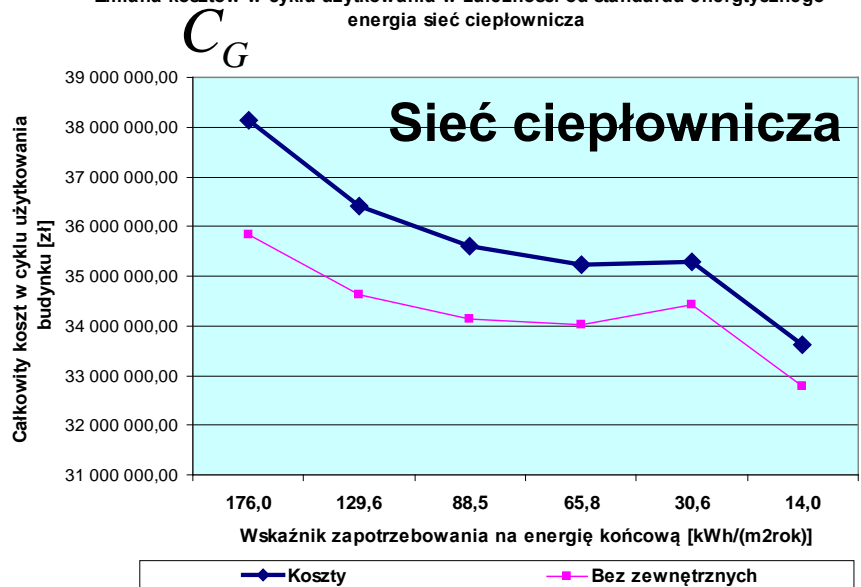
Zmiana kosztów w cyklu użytkowania w zależności od standardu energetycznego - energia - węgiel



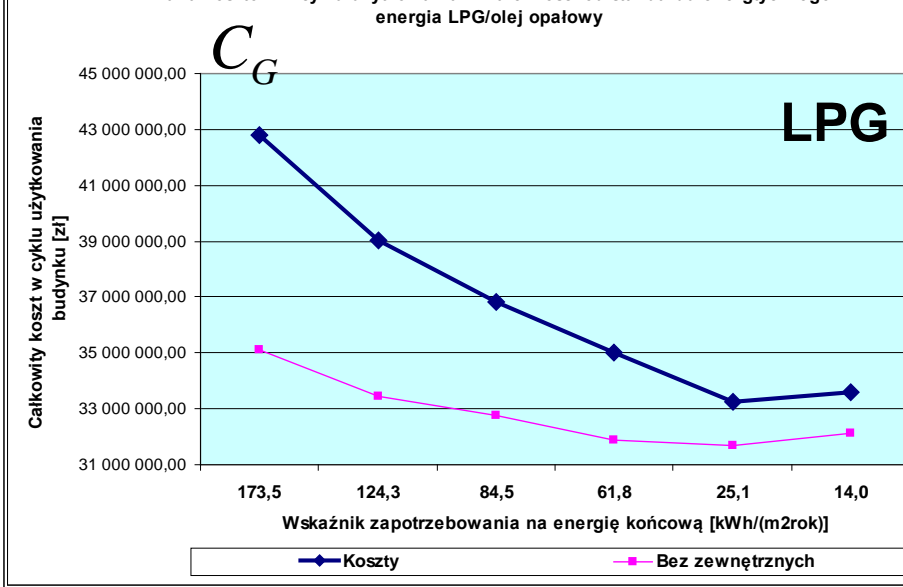
Zmiana kosztów w cyklu użytkowania w zależności od standardu energetycznego - energia - GZ50



Zmiana kosztów w cyklu użytkowania w zależności od standardu energetycznego - energia sieć ciepłownicza



Zmiana kosztów w cyklu użytkowania w zależności od standardu energetycznego - energia LPG/olej opałowy



# Zastosowanie odnawialnych źródeł energii w budynkach energooszczędnych, w szczególności pasywnych:

- ✓ Jest konieczne
- ✓ Integracja ze strukturą budynku i systemów
- ✓ Różnorodność rozwiązań
- ✓ Rozwój technologii
- ✓ Indywidualne podejście konieczne jakkolwiek pewna typizacja jest możliwa
- ✓ Ilościowa analiza i ocena ekonomiczna rozwiązań możliwa i konieczna

## Obszary wsparcia R&D

- Opracowanie optymalnych energetycznie rozwiązań strukturalno- instalacyjnych budynków, z wykorzystaniem OZE
- Analiza możliwości i skutków socjoekonomicznych wzrostu wykorzystania OZE w budownictwie
- Rozwój narzędzi i badań oceny możliwości zastosowania OZE w budynkach
- Optymalizowanie zużycia energii w budynkach
- Rozwój systemów magazynowania energii

**Uważajcie za uwagę**  
**Rynek węgla**  
**kontakt@kape.gov.pl**

