

21.10.2020, Warszawa



Odnawialne źródła energii w budynkach

Dr inż. Ryszard Wnuk
rwnuk@kape.gov.pl

Inż. Piotr Nowakowski
pnowakowski@kape.gov.pl

Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A.

**"OŚIĄGNIESZ WIĘCEJ
ZUŻYWAJĄC MNIEJ"**

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

www.kape.gov.pl



- 1 Wprowadzenie – Odnawialne Źródła Energii w regulacjach dla budownictwa
- 2 Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego – konwersja fototermiczna
- 3 Wykorzystanie pomp ciepła
- 4 Inne źródła i układy hybrydowe
- 5 Magazynowanie energii na sposób ciepła

1

ROZPORZĄDZENIE MINISTRA TRANSPORTU, BUDOWNICTWA I GOSPODARKI MORSKIEJ

z dnia 25 kwietnia 2012 r.

w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego

Projekt architektoniczno-budowlany obiektu budowlanego powinien zawierać zwięzły opis techniczny oraz część rysunkową. Opis techniczny powinien określać:

w stosunku do budynku – analizę możliwości racjonalnego wykorzystania, o ile są dostępne techniczne, środowiskowe i ekonomiczne możliwości, wysokoefektywnych systemów alternatywnych zaopatrzenia w energię i ciepło, **do których zalicza się zdecentralizowane systemy dostawy energii oparte na energii ze źródeł odnawialnych, kogenerację, ogrzewanie lub chłodzenie lokalne lub blokowe, w szczególności, gdy opiera się całkowicie lub częściowo na energii ze źródeł odnawialnych, w rozumieniu przepisów Prawa energetycznego, oraz pompy ciepła**, określającą:

- roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania, wentylacji, przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz chłodzenia obliczone zgodnie z przepisami dotyczącymi metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynków,
- dostępne nośniki energii.

Odnawialne źródła energii w przepisach budowlanych

1

Wdrażanie systemów i urządzeń energetyki odnawialnej jest stymulowane obowiązującymi standardami ochrony cieplnej budynków. Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, określa maksymalną wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP budynku.

Przykładowe częściowe wartości EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej zawiera tabela poniżej.

Lp.	Rodzaj budynku	EP na potrzeby ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej, [kWh/(m ² · rok)]		
		Od stycznia 2014	Od stycznia 2017	Od stycznia 2021
1.	Budynki rodzinne			
	a) Domy jednorodzinne	120	95	70
	b) Domy wielorodzinne	105	85	65
2.	Bloki mieszkalne	95	85	75
3.	Budynki użyteczności publicznej			
	a) Opieki zdrowotnej	390	290	190
	b) Inne	65	60	45

1

Roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemów technicznych Q_p wyznacza się według wzoru:

$$Q_p = Q_{p,H} + Q_{p,W} + Q_{p,C} + Q_{p,L}$$

$$EP = \frac{Q_p}{A_f}$$

A_f	powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza (powierzchnia ogrzewana lub chłodzona)	m ²
-------	---	----------------

$Q_{p,H}$	roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu ogrzewania	kWh/rok
$Q_{p,W}$	roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej	kWh/rok
$Q_{p,C}$	roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu chłodzenia	kWh/rok
$Q_{p,L}$	roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu wbudowanej instalacji oświetlenia*)	kWh/rok

*) Nie wyznacza się dla budynków mieszkalnych i lokali mieszkalnych.

$$Q_{p,H} = Q_{k,H} \cdot w_H + E_{el,pom,H} \cdot w_{el}$$

$$Q_{p,W} = Q_{k,W} \cdot w_W + E_{el,pom,W} \cdot w_{el}$$

$$Q_{p,C} = Q_{k,C} \cdot w_C + E_{el,pom,C} \cdot w_{el}$$

$$Q_{p,L} = Q_{k,L} \cdot w_{el}$$

1

$Q_{k,H}$	roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu ogrzewania	kWh/rok
$Q_{k,W}$	roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej	kWh/rok
$Q_{k,C}$	roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu chłodzenia	kWh/rok
$Q_{k,L}$	roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu wbudowanej instalacji oświetlenia *)	kWh/rok
w_i	współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie: a) nośnika energii lub energii dla systemu ogrzewania b) (współczynnik w_H),	—
	b) nośnika energii lub energii dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej (współczynnik w_W), c) nośnika energii lub energii dla systemu chłodzenia (współczynnik w_C), d) energii elektrycznej (współczynnik w_{el})	
$E_{el,pom,H}$	roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu ogrzewania	kWh/rok
$E_{el,pom,W}$	roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej	kWh/rok
$E_{el,pom,C}$	roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu chłodzenia	kWh/rok

*) Nie wyznacza się dla budynków mieszkalnych i lokali mieszkalnych.

Wartości współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii dla systemów technicznych w_i

1

Lp.	Sposób zasilania budynku lub części budynku w energię	Rodzaj nośnika energii lub energii	w_i
1	Miejscowe wytwarzanie energii w budynku	Olej opałowy	1,10
2		Gaz ziemny	
3		Gaz płynny	
4		Węgiel kamienny	
5		Węgiel brunatny	
6		Energia słoneczna	0,00
7		Energia wiatrowa	
8		Energia geotermalna	
9		Biomasa	0,20
10		Biogaz	0,50
11	Ciepło sieciowe z kogeneracji	Węgiel kamienny lub gaz	0,80
12		Biomasa, biogaz	0,15
13	Ciepło sieciowe z ciepłowni	Węgiel kamienny	1,30
14		Gaz lub olej opałowy	1,20
15	Sieć elektroenergetyczna systemowa	Energia elektryczna	3,00

Udział odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową wyznacza się według wzoru:

Określenie udziału OZE jest obowiązkowe, a jego wartość podawana w Świadectwie Charakterystyki Energetycznej budynku

1

$$U_{OZE} = \frac{Q_{k,H,OZE} + Q_{k,W,OZE} + Q_{k,C,OZE} + Q_{k,L,OZE} + E_{el,pom,OZE}}{Q_k}$$

$Q_{k,H,OZE}$	roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu ogrzewania zapewniane przez odnawialne źródła energii ^{*)}	kWh/rok
$Q_{k,W,OZE}$	roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej zapewniane przez odnawialne źródła energii ^{**)}	kWh/rok
$Q_{k,C,OZE}$	roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu chłodzenia zapewniane przez odnawialne źródła energii ^{***)}	kWh/rok
$Q_{k,L,OZE}$	roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu wbudowanej instalacji oświetlenia zapewniane przez odnawialne źródła energii	kWh/rok
$E_{el,pom,OZE}$	roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemów technicznych zapewniane przez odnawialne źródła energii	kWh/rok

Odnawialne źródła energii w budynkach:

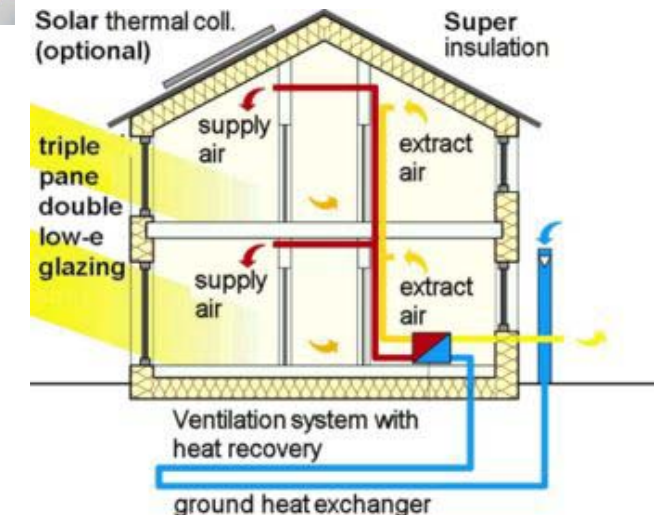
- **energii promieniowania słonecznego:**
 - w pasywnych i aktywnych systemach grzewczych,
 - w instalacjach elektrycznych z ogniwami fotowoltaicznymi (PV),
 - w rozwiązaniach związanych z oświetleniem światłem dziennym
- energii odpadowej: poprzez odzysk ciepła z układów wentylacyjnych, ścieków i innych;
- 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.**



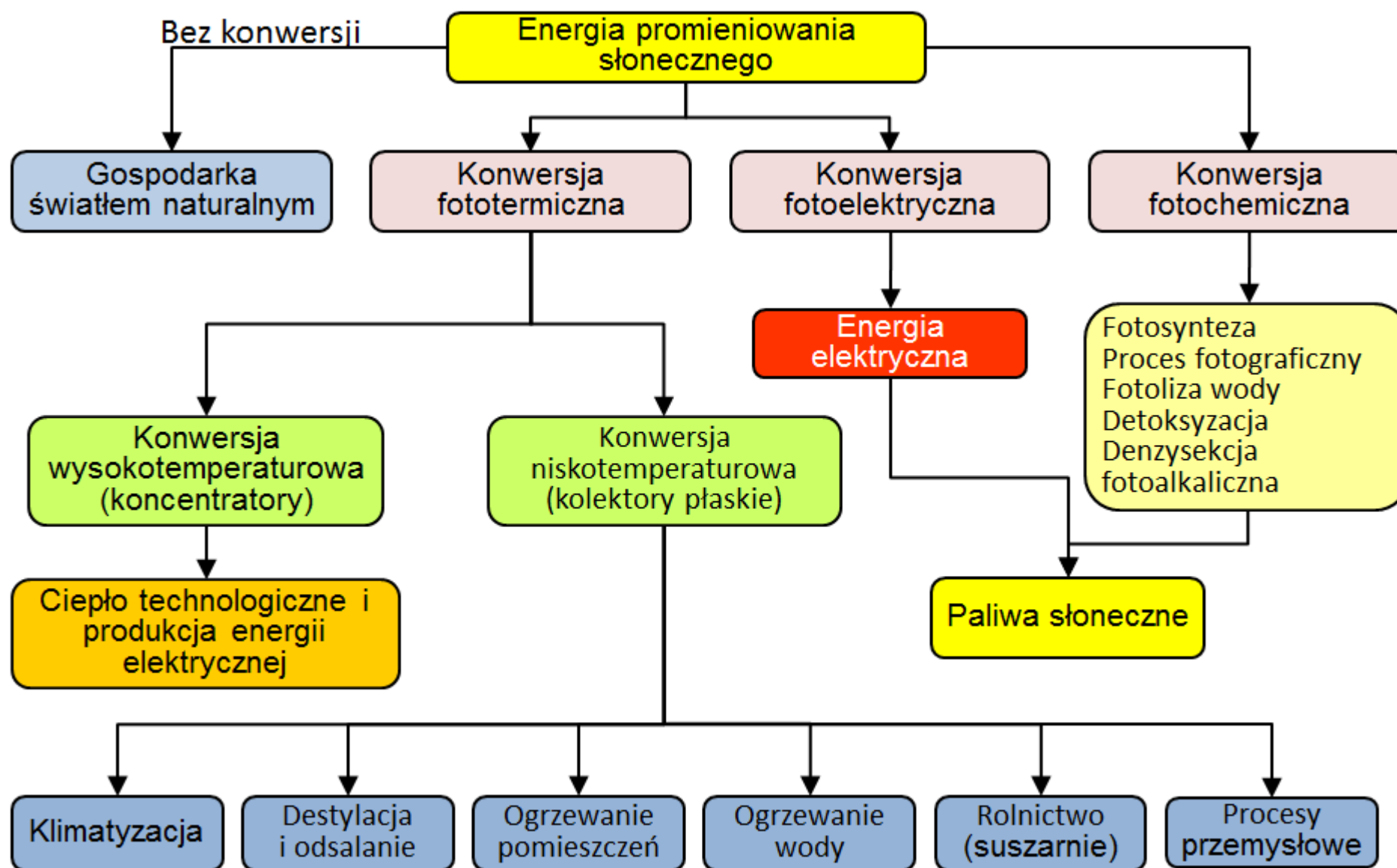
Konieczność akumulacji energii:

- zmienność w czasie zapotrzebowania,
 - okresowość dostarczania z OZE,
- Korzyści: zmniejszanie obciążeń szczytowych**

Rodzaje magazynów energii:
krótko- i długoterminowe



Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego



Oświetlenie światłem dziennym (daylighting) – Bydgoszcz. Przykład realizacji

2

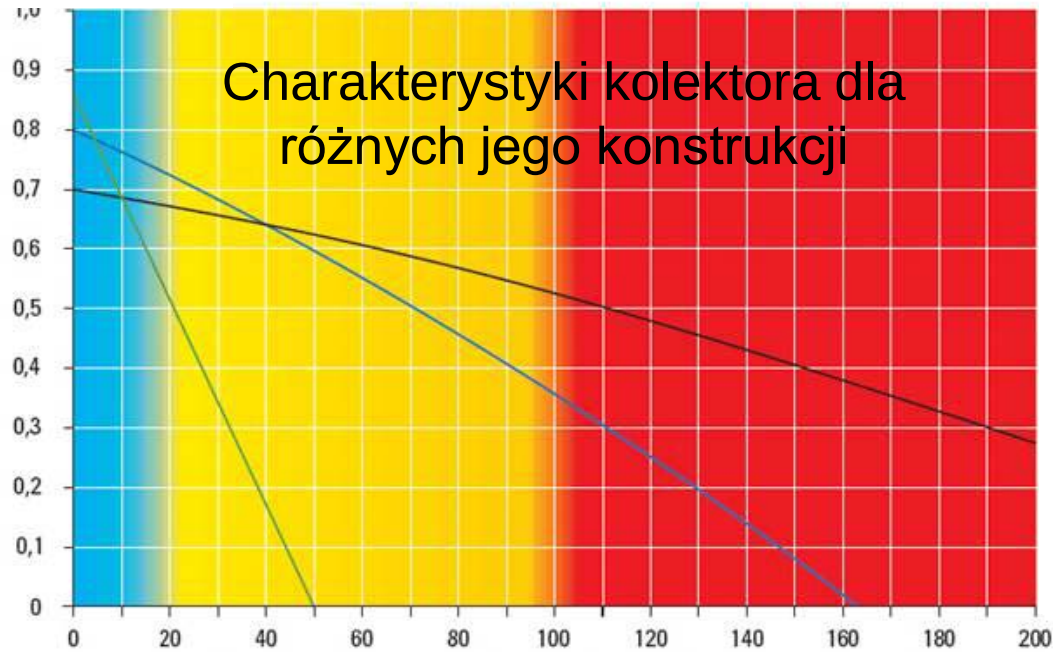


Słoneczne systemy podgrzewania ciepłej wody użytkowej – kolektory słoneczne

2

Sprawność

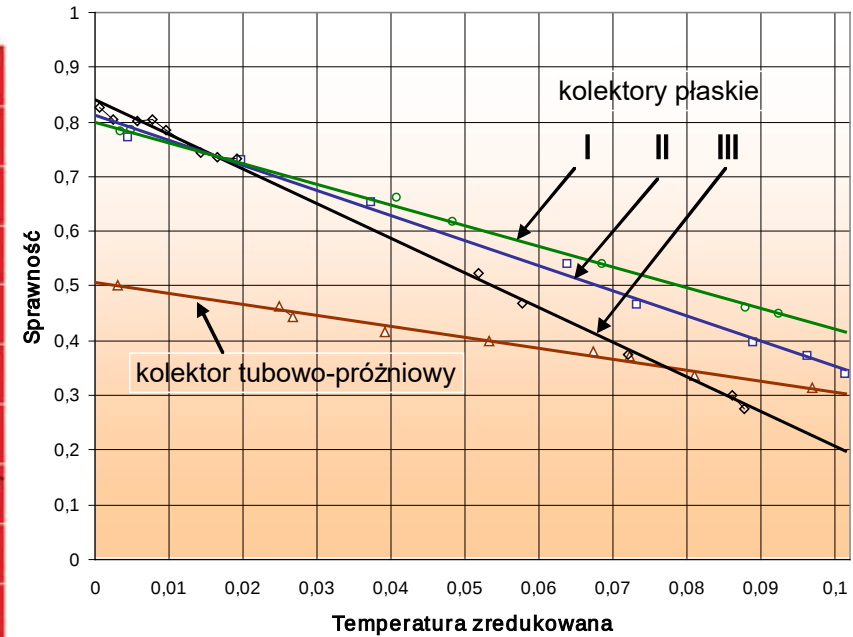
Charakterystyki kolektora dla różnych jego konstrukcji



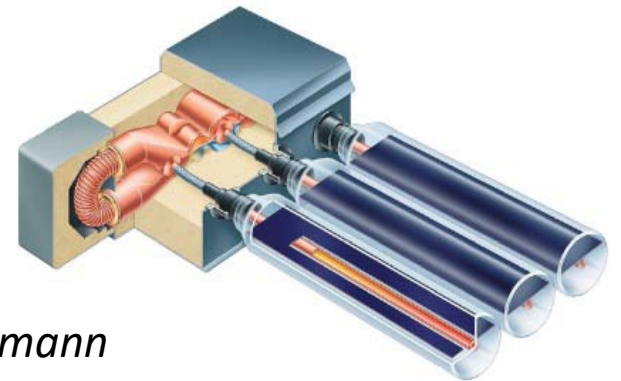
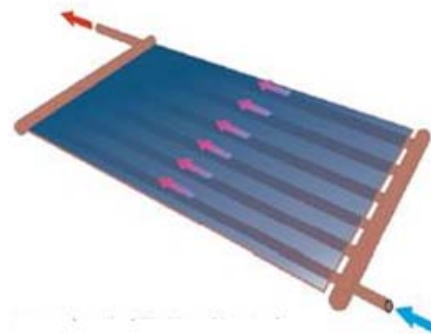
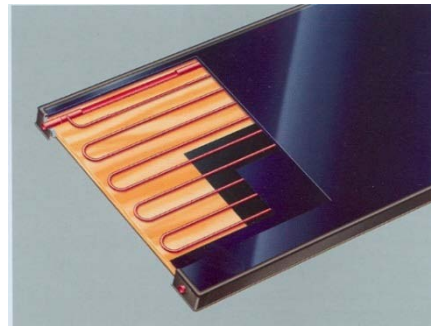
— Kolektor płaski
— Kolektor próżniowy
— Absorber plastikowy

0 - 20 K
20 - 100 K
> 100 K

Podgrzewanie basenów
Ciepła woda i podgrzewanie
Ciepło technologiczne



Uzysk energetyczny:
400 – 550 kWh/m² (płaskie)



Viessmann

Sprawność kolektora słonecznego

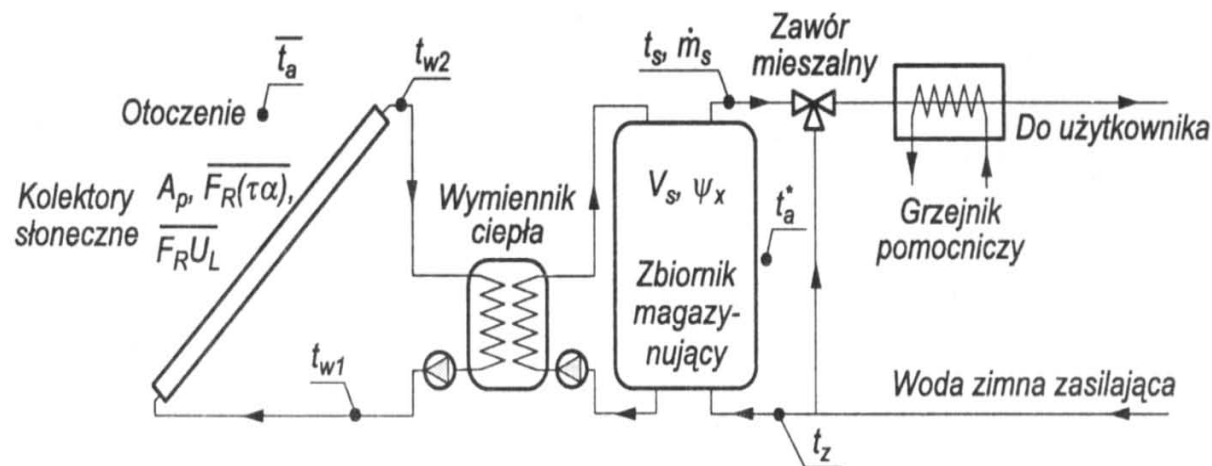
$$\eta = F' \cdot (\tau\alpha)_e - F' \cdot U_L \cdot \frac{t_i - t_a}{G}$$

$$\eta = F_R \cdot (\tau\alpha)_e - F_L \cdot U_L \cdot \frac{t_{fi} - t_a}{G}$$

$$t_f = \frac{t_{fi} + t_{fo}}{2}$$

t_f	- średnia temperatura czynnika w kolektorze, równa jak we wzorze;
G	- gęstość strumienia energii promieniowania słonecznego docierającego do frontowej powierzchni kolektora, [W/m ²];
t_{fi}	- temperatura wody wlotowej do kolektora, [°C];
t_{fo}	- temperatura wody wylotowej z kolektora, [°C];
t_a	- temperatura otoczenia, [°C];
F'	- współczynnik efektywności absorbera będący miarą doskonałości konstrukcji absorbera jako wymiennika ciepła
F_R	- współczynnik odprowadzania ciepła z kolektora;
$(\tau\alpha)_e$	- efektywny współczynnik transmisyjno - absorpcyjny, będący w przybliżeniu iloczynem transmisyjności osłony przezroczystej i absorpcyjności powierzchni absorbera;
U_L	- łączny współczynnik strat cieplnych z kolektora odniesiony do jednostki powierzchni absorbera.

Wymiarowanie słonecznej instalacji cwu – np. metodą f-chart (metoda korelacyjna)



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

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



Metoda *f-chart* umożliwia obliczenie udziału energii promieniowania słonecznego w pokryciu całkowitych potrzeb cieplnych, tzw. wskaźnika *f*, który jest uzależniony od dwu bezwymiarowych grup parametrów: konstrukcyjnych i eksploatacyjnych instalacji, będącymi zmiennymi niezależnymi.

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3,$$

X i *Y* posiadają następujące interpretacje fizyczne:

X jest ilorazem referencyjnych strat ciepła z kolektorów słonecznych do otoczenia i całkowitego zapotrzebowania na energię przygotowania c.w.u.,

Y jest ilorazem energii promieniowania słonecznego pochłanianego przez kolektory i całkowitego zapotrzebowania na energię przygotowania c.w.u.,

Referencyjne straty ciepła z kolektora są stratami przy pewnej założonej umownej temperaturze płyty absorbera.

$$f = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \dot{Q}_{sł}}{\int_{t_1}^{t_2} \dot{Q}_{zap}} = \frac{Q_{sł}}{Q_{zap}}$$

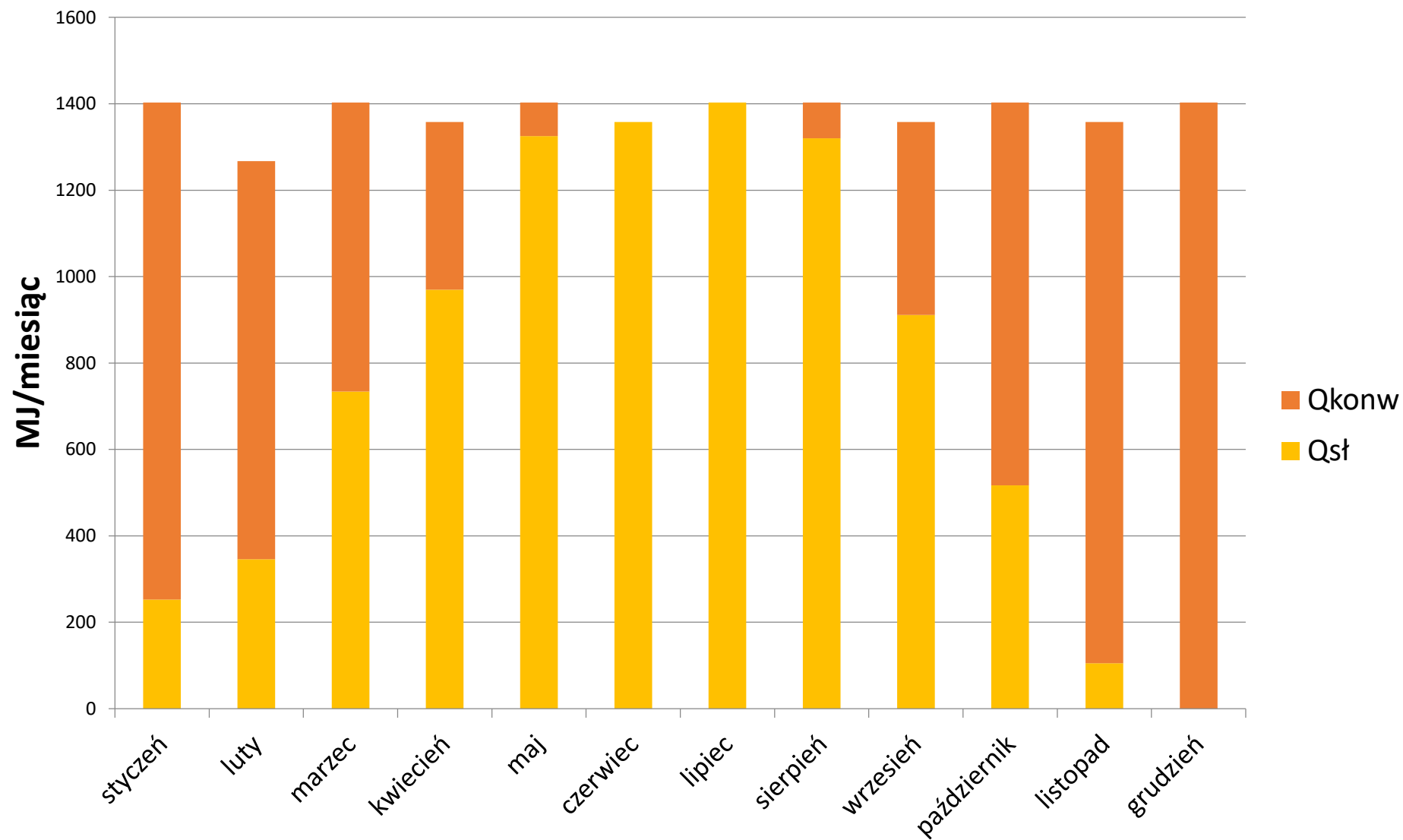
$$X = \psi_x \frac{86400 \cdot A_p \cdot \bar{F}_R \cdot \bar{U}_L \cdot (11,6 + 1,18t_s + 3,86t_z - 2,23\bar{t}_a)}{m \cdot c_w \cdot (t_s - t_z)},$$
$$Y = \frac{A_p \cdot \bar{F}_R (\tau\alpha)_e \cdot \bar{H}_\beta}{m \cdot c_w \cdot (t_s - t_z) \cdot N},$$

	-	udział energii promieniowania słonecznego w pokryciu zapotrzebowania na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej; $f = \frac{Q_{st}}{H_\beta}$
	-	powierzchnia czynna kolektorów, [m ²]
	-	średnia dla danego miesiąca wartość iloczynu współczynnika odprowadzenia ciepła z kolektora i zastępczego współczynnika strat ciepła, [W/(m ² ·K)]
	-	średnia miesięczna wartość iloczynu współczynnika odprowadzania ciepła z kolektora i współczynnika transmisyjno-absorpcyjnego
	-	średnia miesięczna suma promieniowania docierającego do jednostki powierzchni kolektora, [J/m ² /miesiąc]

$\bar{t}_a$	-	średnia miesięczna temperatura powietrza atmosferycznego, [°C]
t_s	-	wymagana temperatura wody ciepłej, [°C]
t_z	-	średnia w danym miesiącu temperatura wody zasilającej (wodociągowej), [°C]
m	-	dzienne zużycie ciepłej wody [kg]
c_w	-	ciepło właściwe wody, [J/(kg·K)]
ψ_x	-	współczynnik korekcyjny zależny od pojemności zbiornika V_s wyrażonej w litrach i powierzchni kolektorów absorbera, wyliczany z formuły $(V_s/A_p/75)^{(-0,25)}$

N	-	liczba dni w miesiącu
-----	---	-----------------------

Przykładowy wykres pokrycia zapotrzebowania na cwu pokrywanego przez instalację słoneczną i konwencjonalną



Występujące wady w zakresie projektowania, budowy i funkcjonowania słonecznych instalacji grzewczych:

- Brak danych do opracowania założeń – błędne wymiarowanie powierzchni kolektorów słonecznych.
- Brak koncepcji ujmujących istotne uwarunkowania i specyfikę instalacji.
- Brak wiarygodnych obliczeń zysków energetycznych instalacji.
- Projektowanie – błędy w sztuce, nieznanomość specyfiki tematu, brak doświadczenia i nieuwzględnianie nowoczesnych technologii i rozwiązań.
- Niezgodne z projektem wykonanie.
- Brak monitoringu.
- **Nie uwzględnienie strat przesyłu.**
- Duże dofinansowanie nie skłania do troski o prawidłowe funkcjonowanie i efekty.
- Wady technologiczne urządzeń np. kolektorów słonecznych.

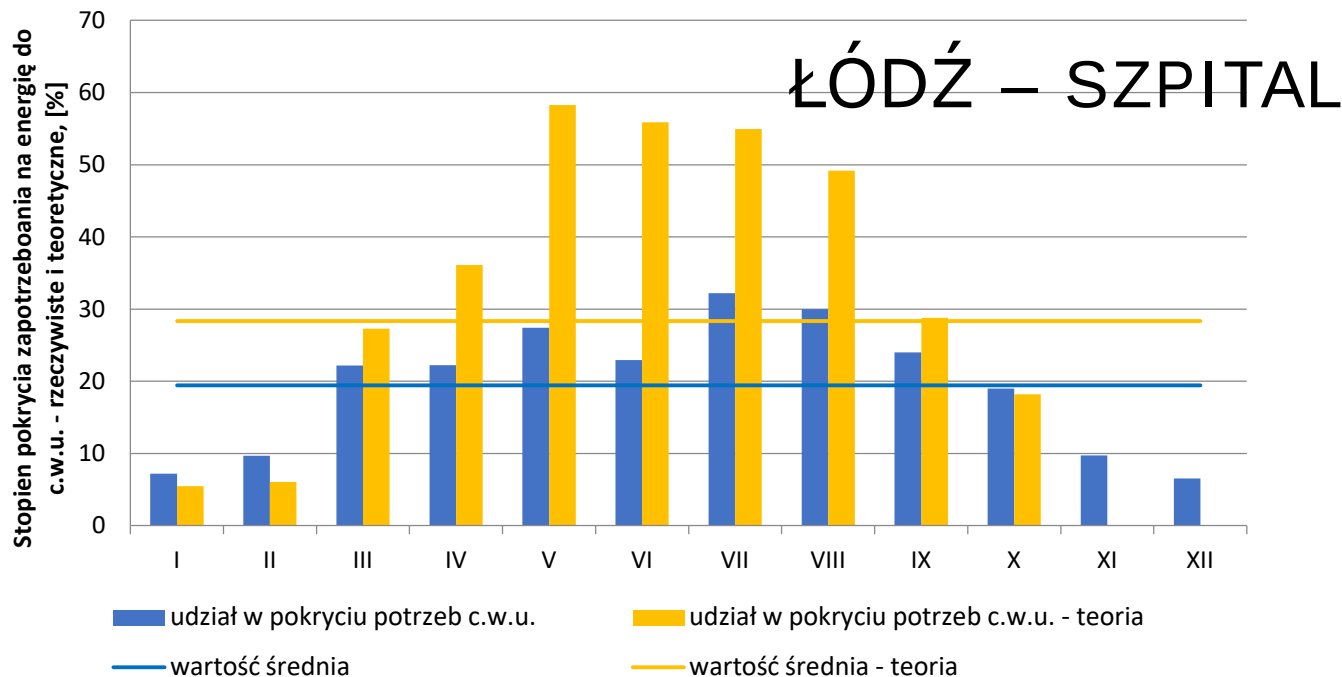


Koszt (LCOE) – bardzo silnie zmienny (60-.... zł/GJ)



Przykład słonecznej instalacji przygotowania ciepłej wody użytkowej – 400 m² powierzchni kolektorów

2

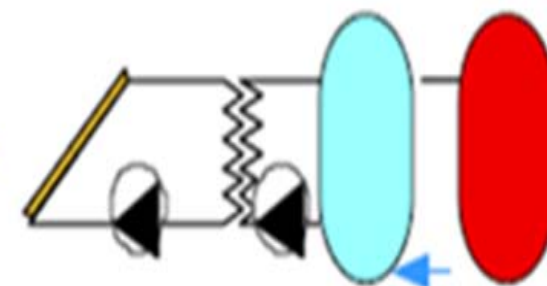
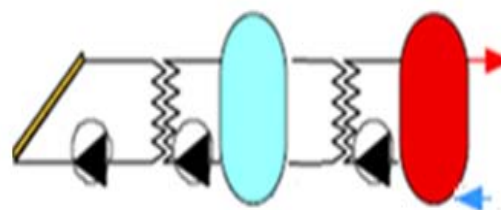


Stopień pokrycia zapotrzebowania na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej przez instalację słoneczną, wielkości zmierzone i obliczone (teoretyczne)

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



Rekomendacja



2

Przykładowe instalacje słonecznego podgrzewu ciepłej wody użytkowej



Lokalizacja	A	V	V/A	Zysk energetyczny	
	m ²	dm ³	[-]	MJ/m ²	kWh/m ²
Ciechocinek	43,2	2000	46,3	2314,8	643
Kamieniec Wrocławski	5	-	-	1769,2	491
	5	-	-	2012,2	559
	5	-	-	1791,6	498
	5	-	-	1962	545
Łódź	80,4	3000	37,3	2410,7	670
Kraków	129,6	4800	37	1967,6	547

2

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%, żywotność 30-35 lat

Ogniwa 2, 3 generacji:

Sprawność > 40%

Ekstremalnie niski koszt: sprawność 10-15%



Moduły z ogniw krzemowych			Moduły CdTe (Tellurek Kadmu)	Moduły CIS/CIGS CIS – Selenek Indowo-Miedziowy)
mono-krystaliczne	poli-krystaliczne	amorficzne		
sc-Si	mc-Si	a-Si/ μ c-Si		
14-20%	13-15%	6-9%	9-11%	10-12%

Sprawność komercyjnych modułów fotowoltaicznych

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

Podawaną jednostką mocy modułu jest Wat pik [W_p]

Jest to moc modułu w standardowych warunkach testowych (STC – Standard Test Condition).



BAPV



Moduły przeźierne



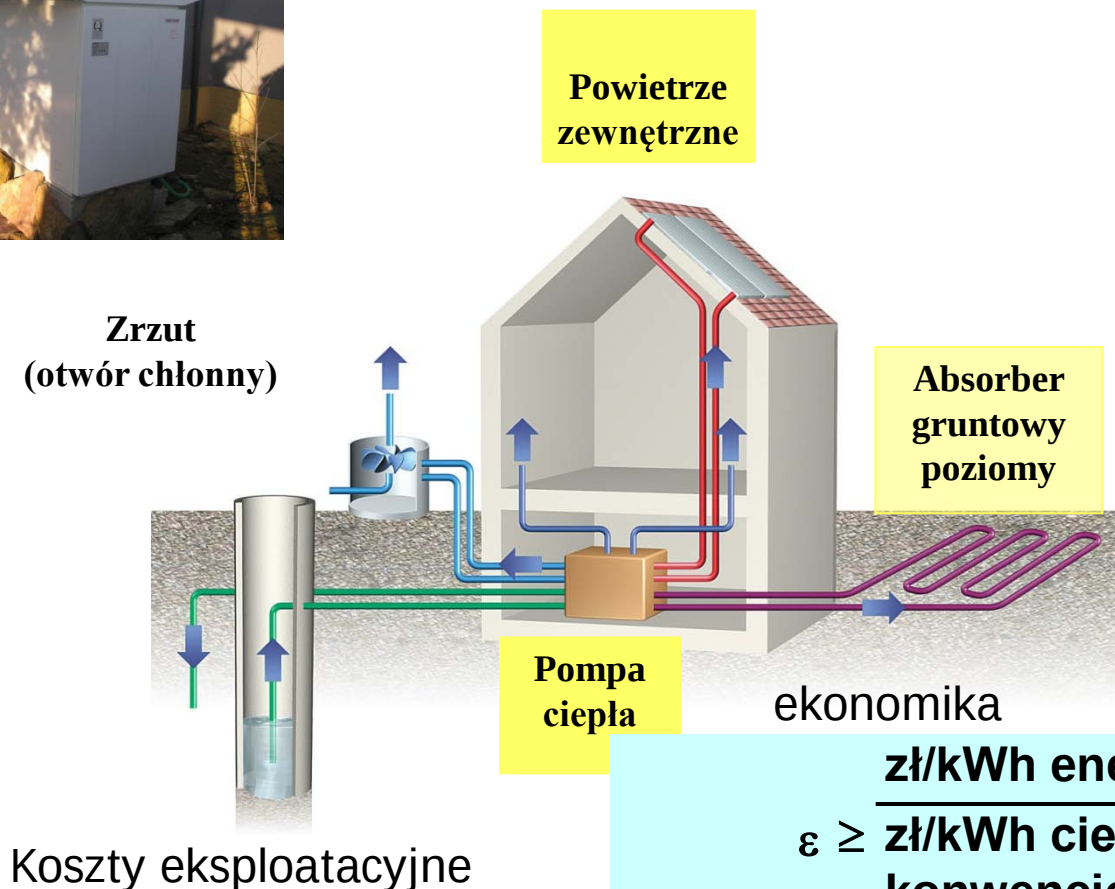
BIPV

Współczynnik nakładu
nieodnawialnej energii
pierwotnej

$$w_{el} = 3 \longrightarrow 0$$



Wykorzystanie energii zawartej w otoczeniu domu – za pośrednictwem pomp ciepła



Dolne źródła ciepła: naturalne (odnawialne)

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

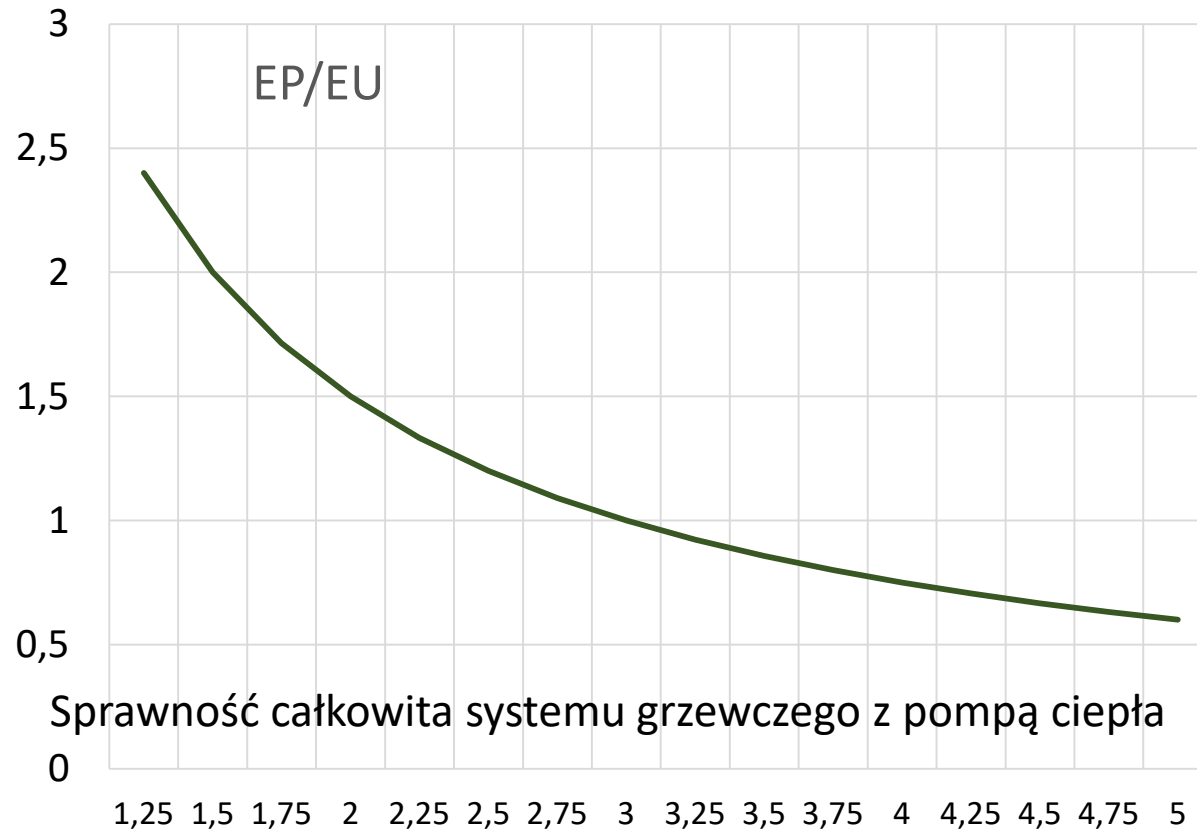
zł/kWh energii elektrycznej

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

zł/kWh (energii elektrycznej)

ε (współczynnik wydajności grzejnej)

= zł/kWh ciepła



Scenariusz BLUE IEA
 Budynki: 50-70%
 z pompami ciepła (2050)

$$Q_{kHoze} = Q_{kH} \cdot \left(1 - \frac{1}{\eta_{H,g}}\right)$$

Średnie wartości efektywności cieplnej (SPF) 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.

Typowe rozwiązania systemów grzewczych domów energooszczędnych, 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:

- 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.

Integracja systemów

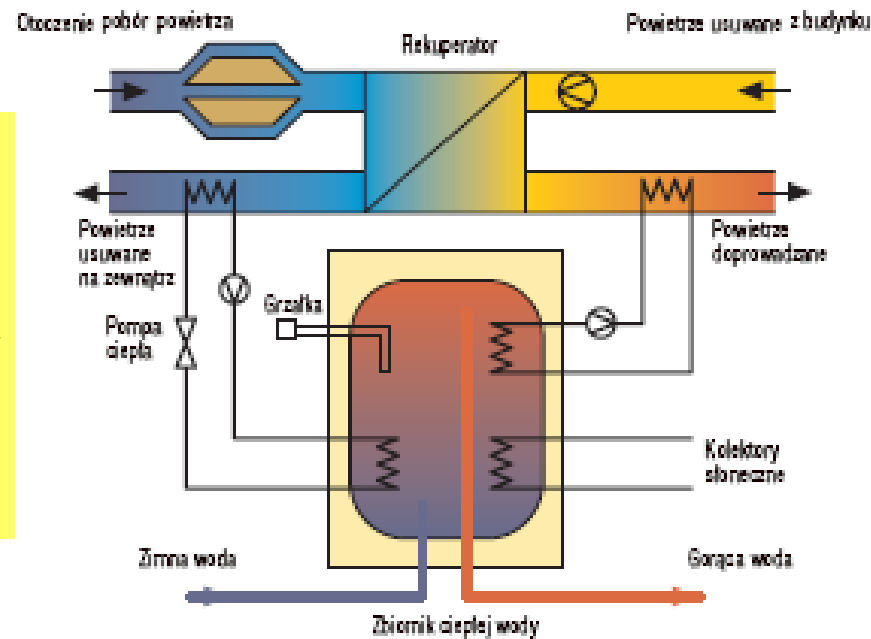
4

Zintegrowany kolektor cieczowy i PV

PVT



Zintegrowany system wentylacyjny z odzyskiem ciepła, z pompą ciepła i kolektorami słonecznymi

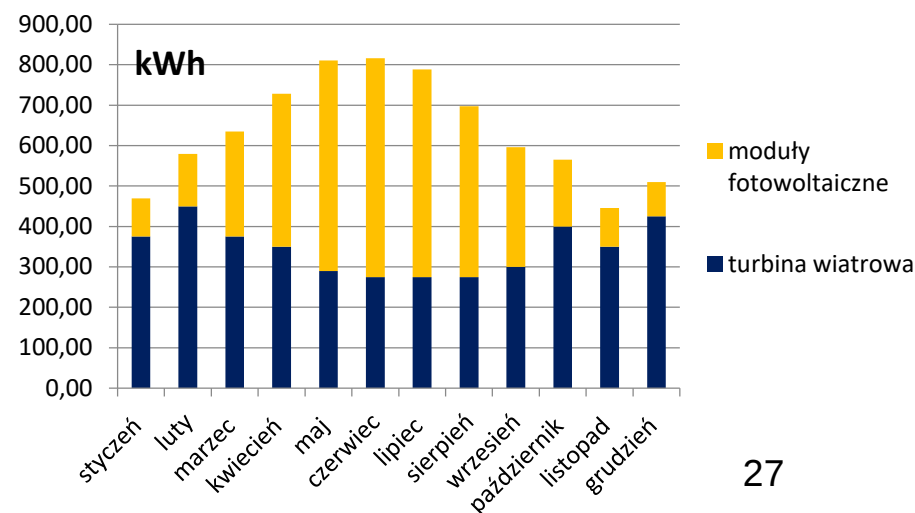
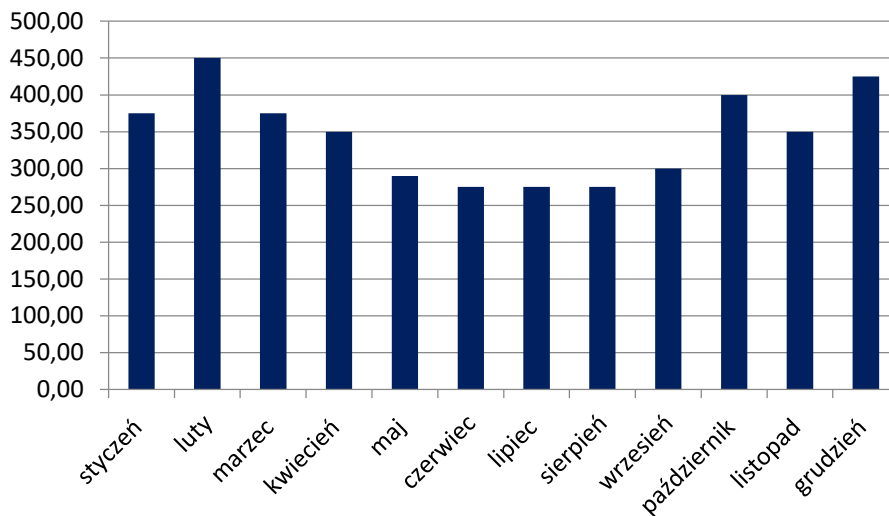


b)

Układ hybrydowy = siłownia wiatrowa + słoneczna

+ PV 3,9 kW

TURBINA HWT 3000 o mocy 3 kW



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

Zasobniki ciepła w budynkach

Zasobniki strukturalne

Zasobniki
cienkowarstwowe



Zasobniki
średniej wielkości

Zasobniki
masywne

Magazyny
ciepła
instalacji
grzewczych

