



Instytut Maszyn Przepływowych  
Polskiej Akademii Nauk

# Klimatyzacja solarna

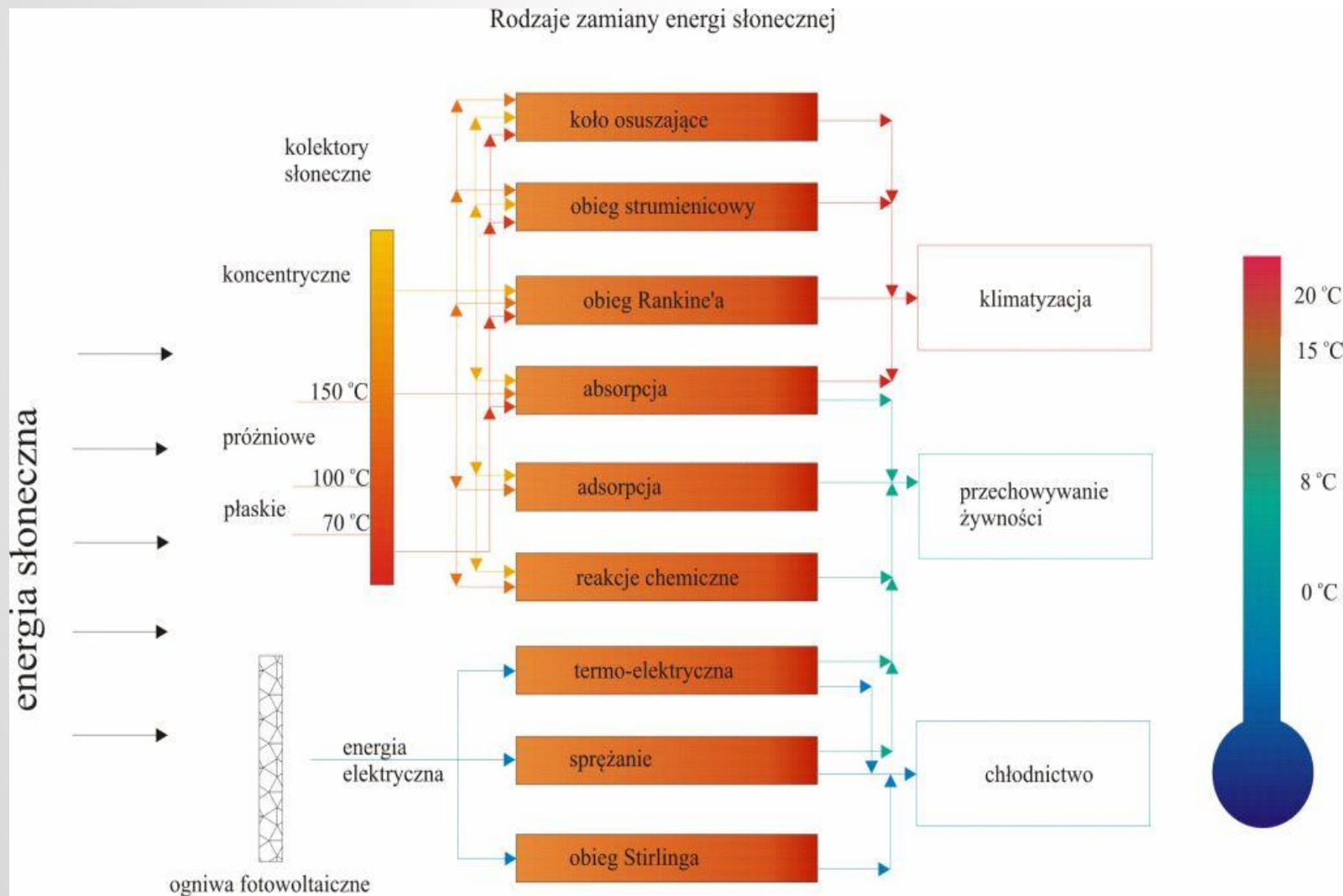
Kamil Śmierciew

Gdańsk, 20.06.2012

# Plan prezentacji

- I. Wprowadzenie
- II. Strumienicowe urządzenie chłodnicze
- III. Dobór czynnika roboczego
- IV. Wyniki badań eksperymentalnych
- V. Wyniki badań numerycznych
- VI. Podsumowanie i wnioski

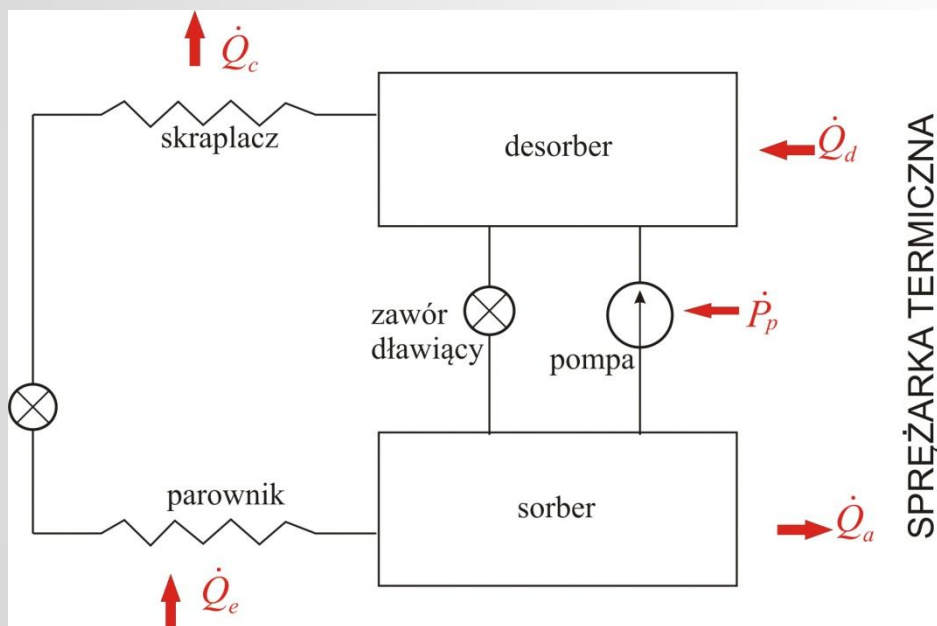
# Wykorzystanie OZE w technice chłodniczej na przykładzie energii słonecznej



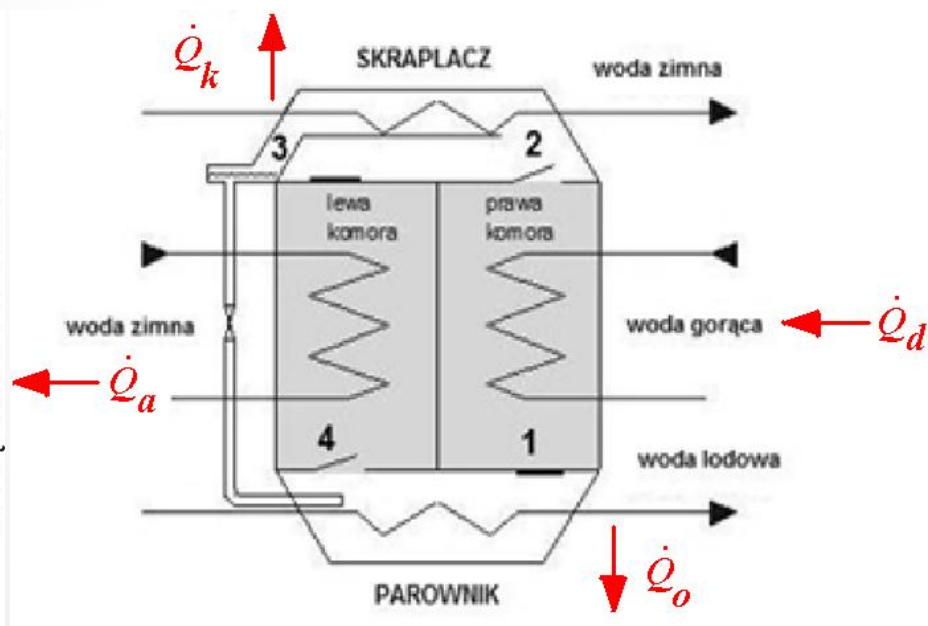
# I. Wprowadzenie

Obecnie stosowane systemy chłodnicze napędzane ciepłem:

- urządzenia sorpcyjne,
- urządzenia strumieniowe



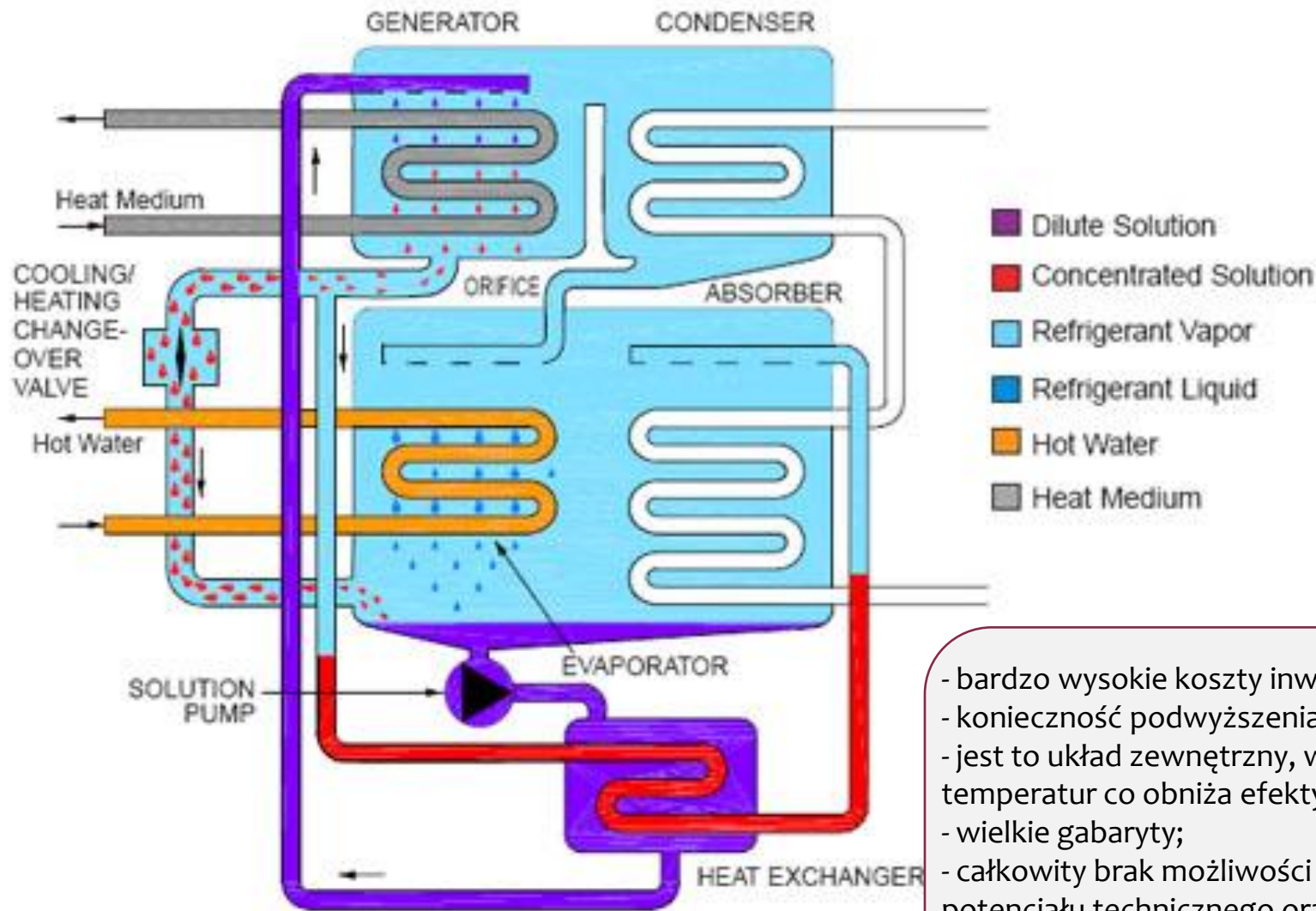
Urządzenie absorpcyjne



Urządzenie adsorpcyjne

Wszystkie urządzenia wykorzystujące OZE charakteryzuje stosunkowo niewielka sprawność

## Typowe systemy sorpcyjne: absorpcyjne / adsorpcyjne



- bardzo wysokie koszty inwestycyjne;
- konieczność podwyższenia parametrów ciepła;
- jest to układ zewnętrzny, wymagana jest różnica temperatur co obniża efektywność;
- wielkie gabaryty;
- całkowity brak możliwości rozwoju krajowego potencjału technicznego oraz badawczo-wdrożeniowego

**Schemat urządzenia absorpcyjnego**

## Typowe systemy sorpcyjne: absorpcyjne / adsorpcyjne



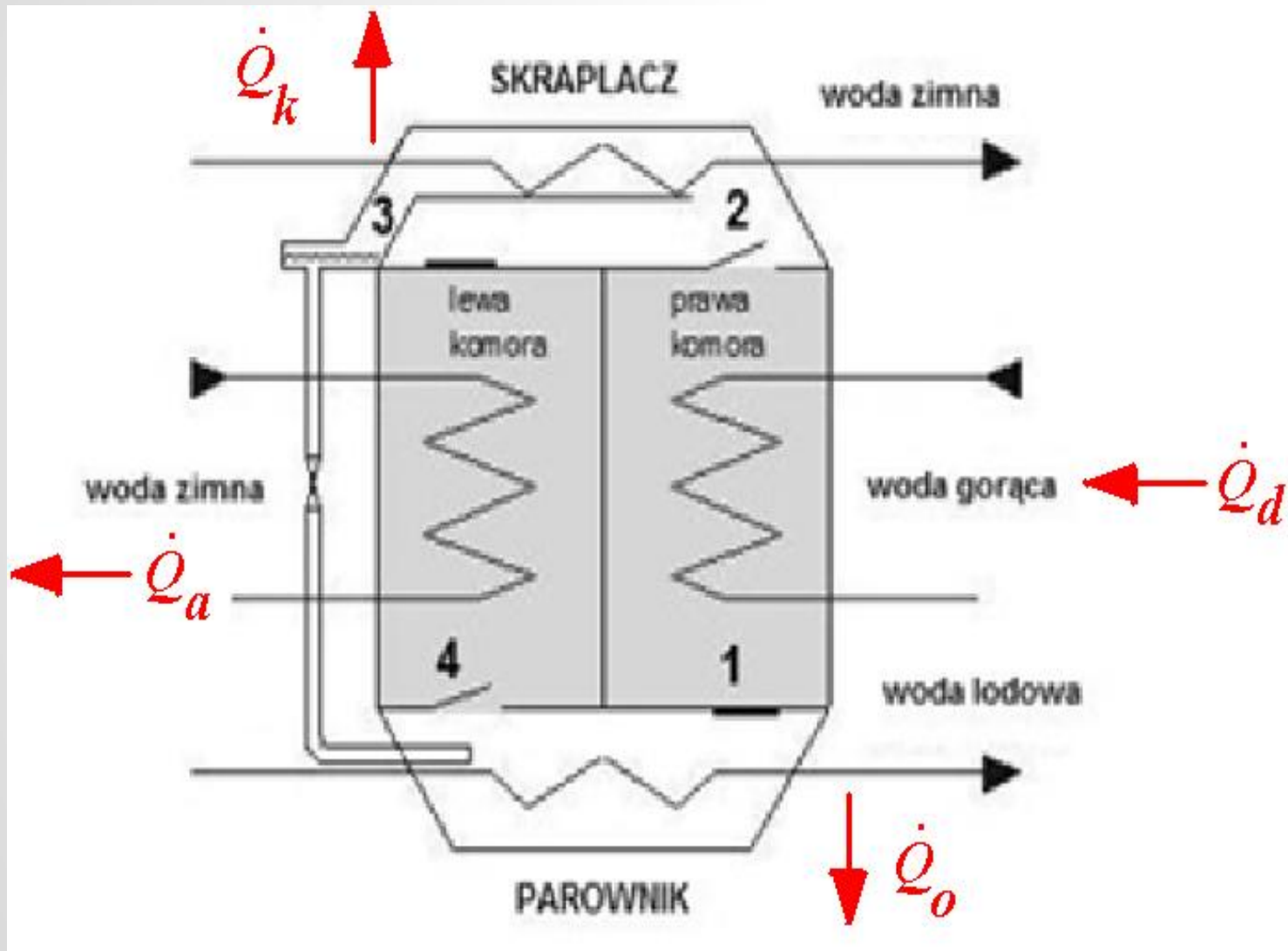
YPC-ST  
Two-stage steam fed  
absorption chiller

YIA  
Single stage hot water or  
steam powered  
absorption chiller





## Typowe systemy sorpcyjne: absorpcyjne / adsorpcyjne



Schemat urządzenia adsorpcyjnego

Możliwość **całkowicie nowego rozwiązania** - zastosowanie wewnętrznego strumieniowego układu napędzanego niskotemperaturowym ciepłem z OZE lub ciepłem odpadowym

- jest to układ wewnętrzny (nie ma dodatkowych strat i różnic temperatur);
- wymaga bardzo niewielkich inwestycji;
- system bardzo elastyczny;
- system sprawniejszy, bowiem część energii elektrycznej produkowana jest z największą sprawnością (nie podwyższa się ciśnienia w skraplaczu), zaś strata mocy elektrycznej dotyczy tylko części pary wykorzystywanej do produkcji chłodu (para niskoparametrowa).

**W układach absorpcyjnych**, nawet jeśli wykorzystuje się ułamek mocy cieplnej - **obniża się sprawność** wytwarzania całości energii elektrycznej.



## urządzenia strumienicowe

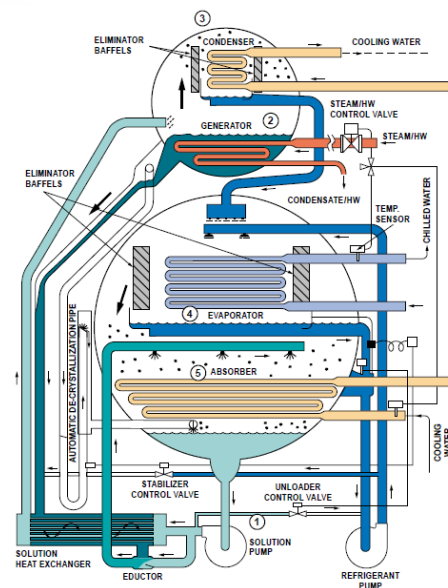
- doskonałe dla odbiorów indywidualnych
- wykorzystanie energii ciepłej niskotemperaturowej do napędu
- mały pobór energii elektrycznej (tylko pompy obiegowe)
- praca z naturalnymi czynnikami roboczymi (ekologiczność urządzenia)



Realizowane w  
laboratorium IMP PAN

## urządzenia absorbcyjne

- urządzenia dużej mocy
- stosowane w dużych budynkach (szkoły, szpitale)
- wykorzystanie amoniaku jako absorbera
- duża dostępność na rynku

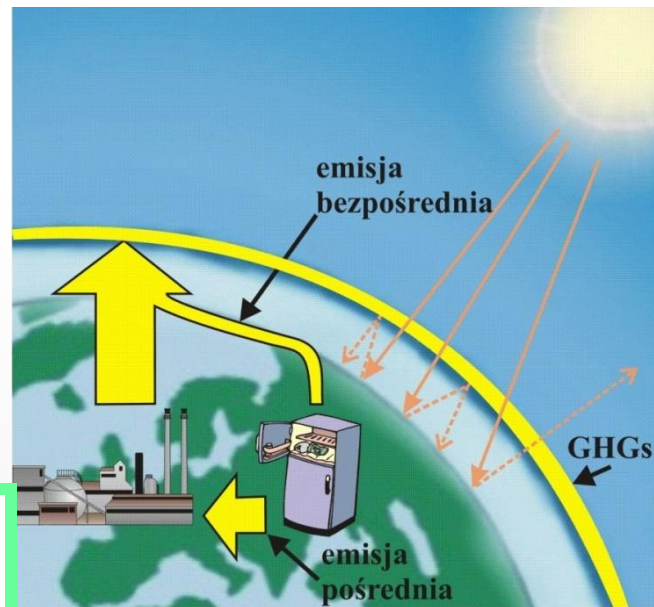


W Polsce problemem całego rynku chłodnictwa, klimatyzacji i pomp ciepła jest stosowanie bardzo szkodliwych dla środowiska syntetycznych czynników roboczych, a ponadto niska sprawność urządzeń chłodniczych

Syntetyczne czynniki robocze

$$\text{GWP} = 1000 \div 50000$$

Dyrektywy EU: Nr 93/76/EEC; Nr 2037/2000;  
Nr 2002/91/EEC; Nr 842/2006  
Krajowe i europejskie priorytety badawcze



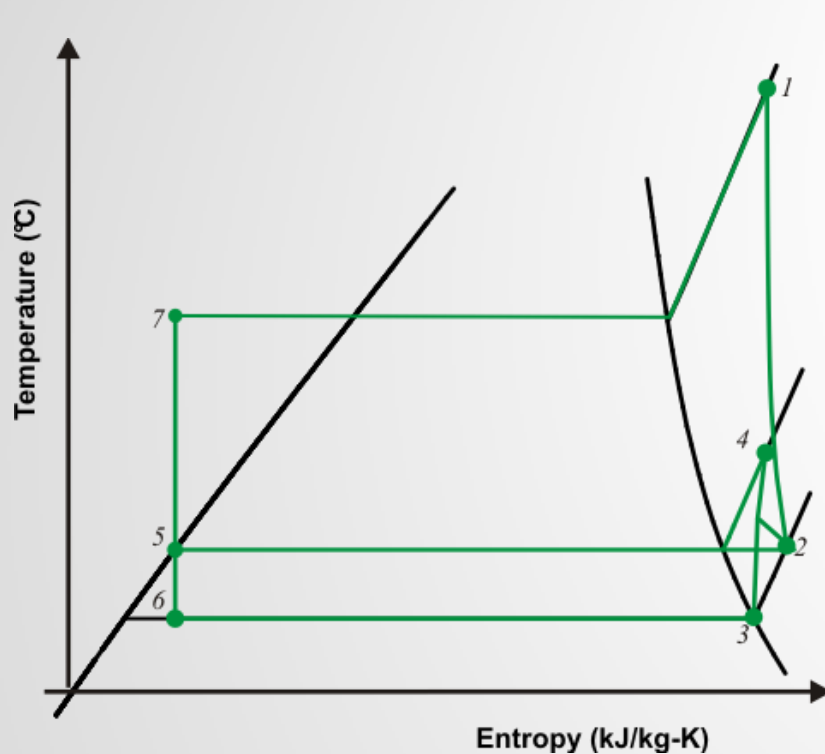
- ✓ wykorzystanie odnawialnych źródeł energii,
- ✓ stosowanie naturalnych czynników roboczych,
- ✓ poprawa sprawności urządzeń

**Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych** dotyczą **liczne akty prawne** wprowadzone w Unii Europejskiej:

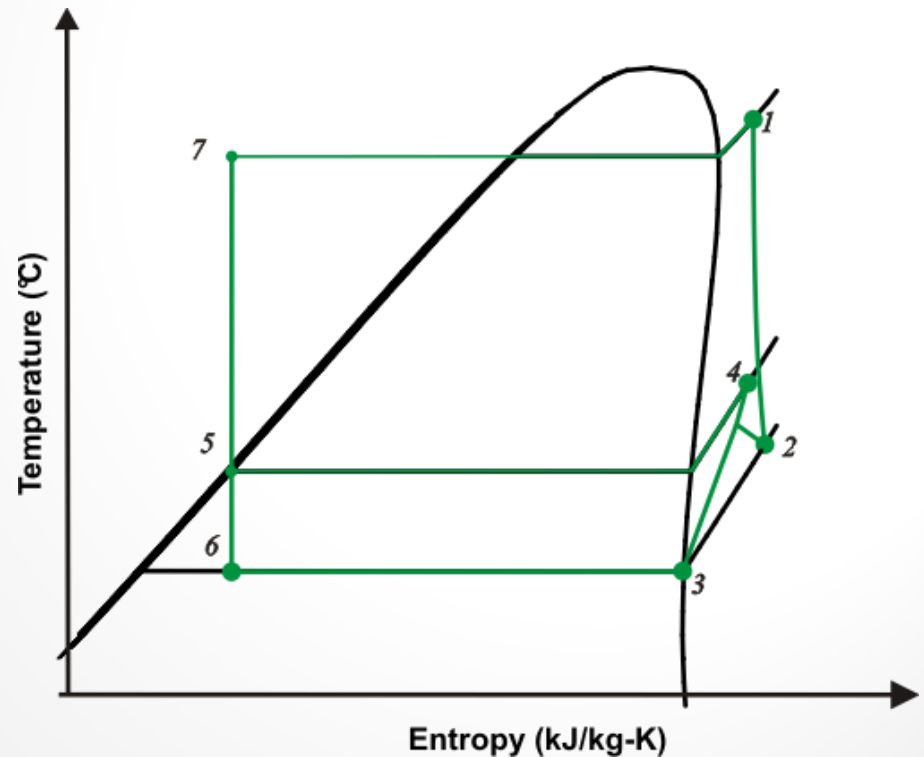
- ❑ **Dyrektywa Nr 93/76/EEC** w zakresie **ograniczania emisji ditlenku węgla** poprzez poprawę efektywności energetycznej;
- ❑ **Dyrektywa 2037/2000** w zakresie **substancji zubożających warstwę ozonową**;
- ❑ **Dyrektywa 2002/91/EEC** w zakresie **efektywności energetycznej budynków**;
- ❑ **Dyrektywa 842/2006** w zakresie tzw. **gazów cieplarnianych**

- ✓ konieczność **wymiany w układach** (nowych lub już pracujących) **płynów roboczych na substancje** uznane za **bezpieczne** dla środowiska;
- ✓ zapewnienie **minimalizacji emisji czynników** obciążających środowisko, a w tym – **minimalizacja napełnienia instalacji** czynnikiem roboczym;
- ✓ zapewnienie **odpowiedniego poziomu efektywności energetycznej** układów;

## Obieg chłodniczy w urządzeniu strumieniowym

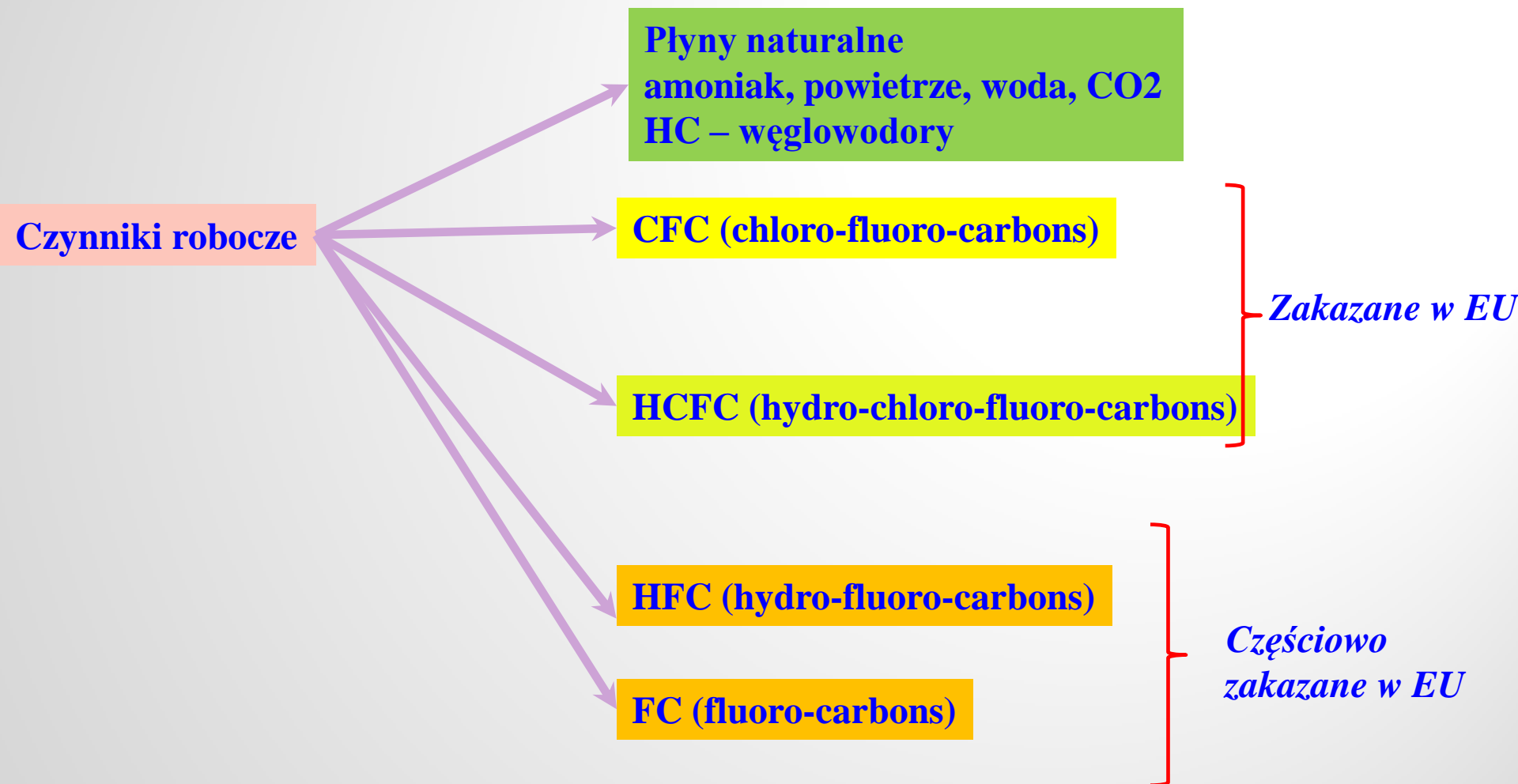


a) Obieg z czynnikiem „mokrym”;

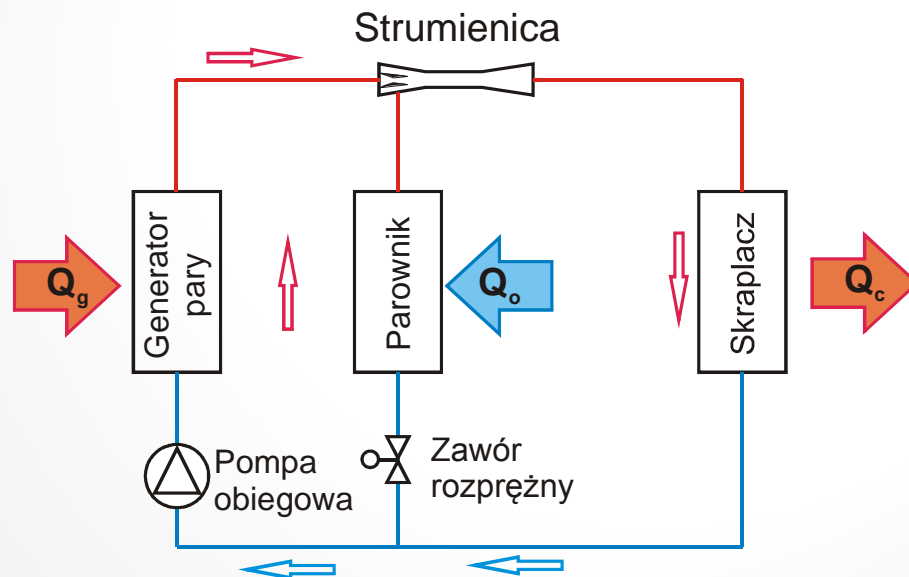
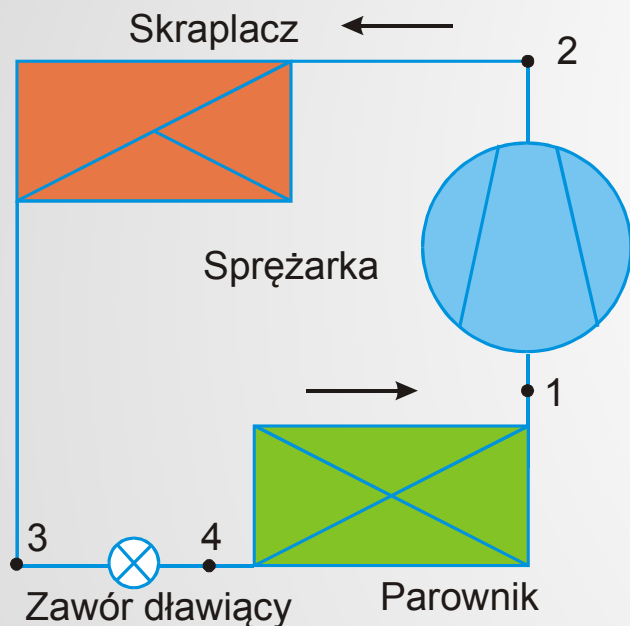


b) obieg z czynnikiem „suchym”

Osobnym problemem jest zagadnienie dopasowania odpowiednich materiałów do pracy z danym czynnikiem naturalnym: korozje, stabilność chemiczna, itp.



## Problemy doboru czynnika roboczego dla urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych

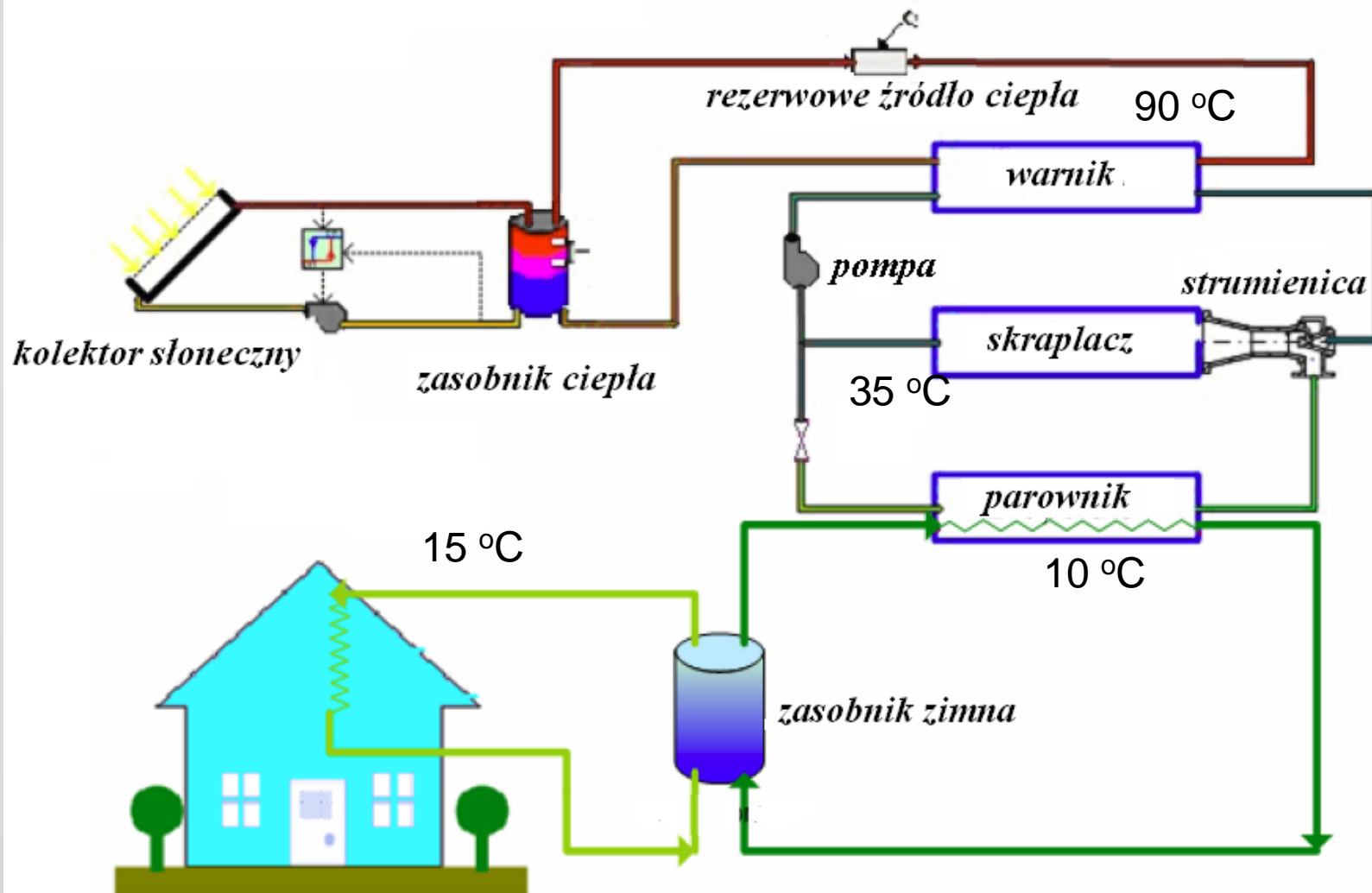


a) klasyczne urządzenie chłodnicze sprężarkowe

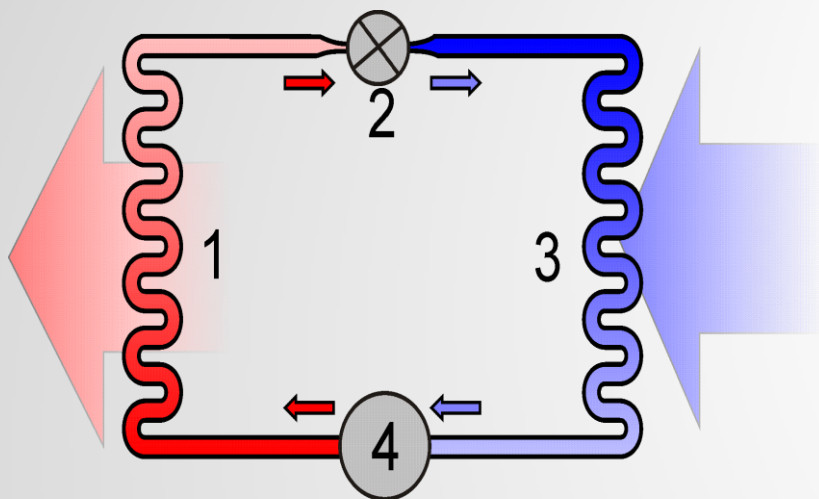
b) urządzenie chłodnicze strumienicowe

- ✓ niepalny, niewybuchowy;
- ✓ dobre własności termodynamiczne w zakresie parametrów pracy;
- ✓ porównywalne sprawności urządzeń chłodniczych z czynnikiem naturalnym w porównaniu do urządzeń z czynnikiem syntetycznym;
- ✓ sposób realizacji obiegu – urządzenie chłodnicze sprężarkowe lub strumienicowe

# System klimatyzacji solarnej

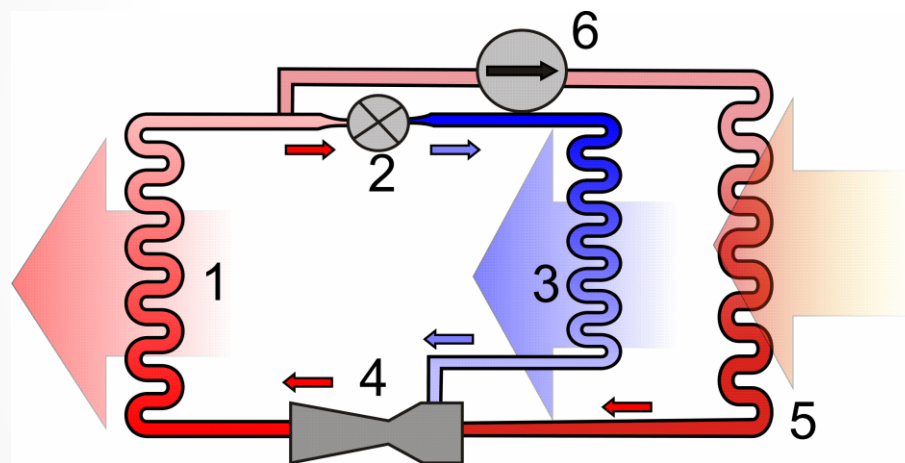






### Urządzenia sprężarkowe

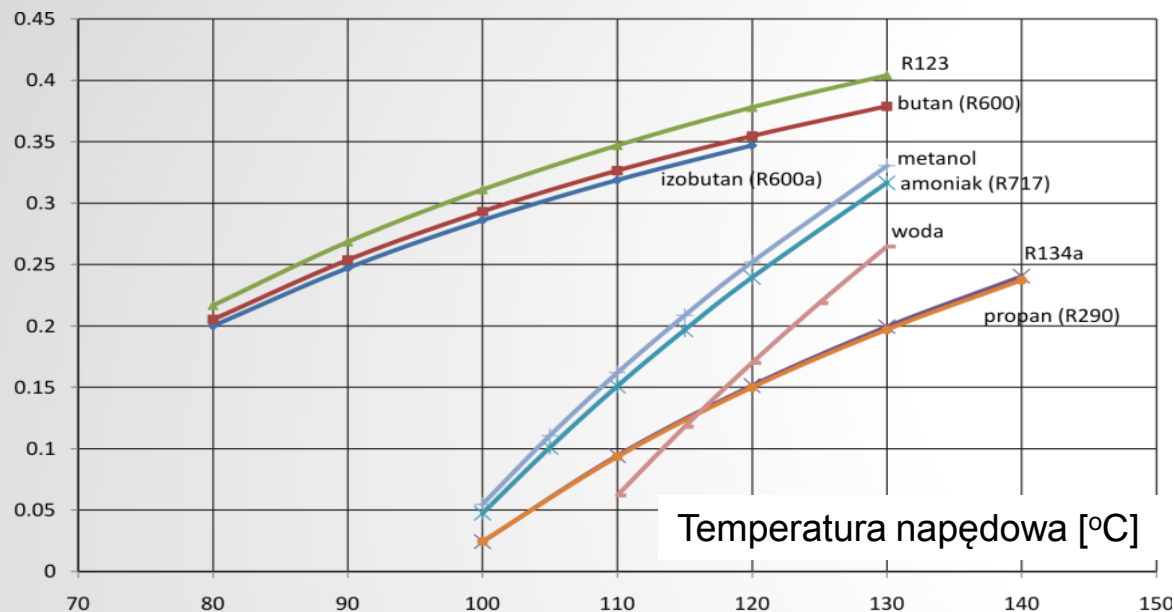
- napędzane energią elektryczną;
- syntetyczne płyny robocze (wysokie GWP);
- duży pobór mocy;
- niekorzystne dla środowiska.



### Urządzenia strumienicowe

- brak ruchomych części;
- łatwy montaż i obsługa;
- napędzane ciepłem niskotemperaturowym np. odpadowym;
- eliminacja sprężarki z układu;
- mały pobór energii elektrycznej (tylko pompy obiegowe);
- praca z naturalnymi czynnikami roboczymi (ekologiczność urządzenia).

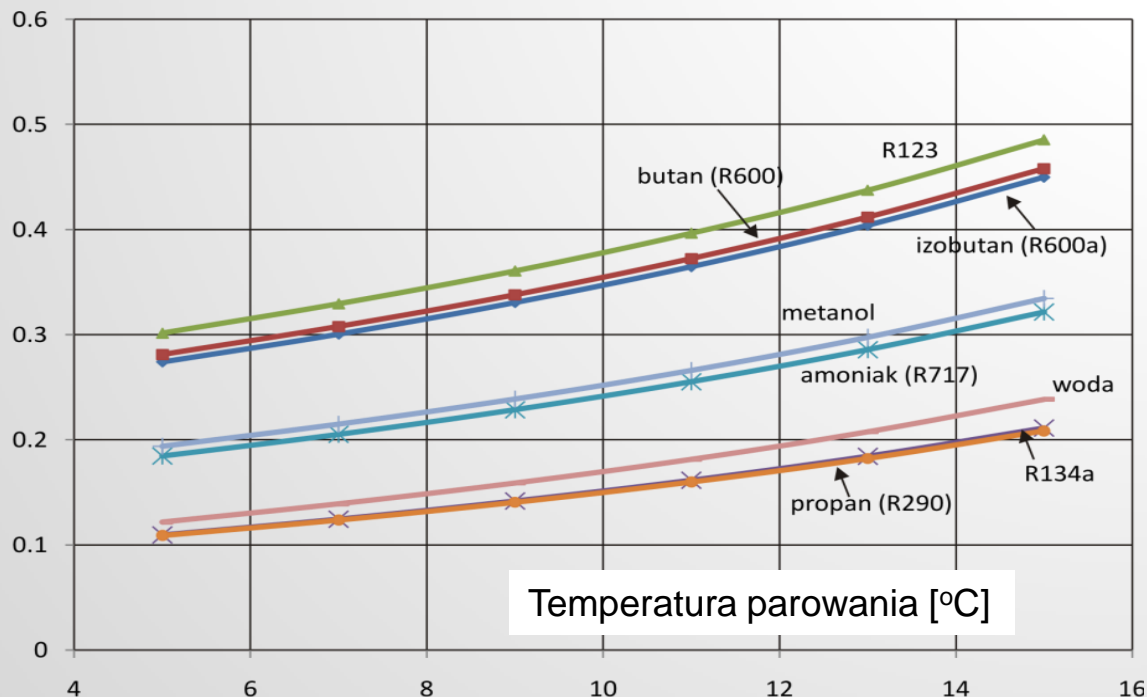
COP



$$COP = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_g + P_p}$$

Sprawność energetyczna strumieniowego urządzenia chłodniczego w zależności od temperatury napędowej czynnika roboczego

COP



Sprawność energetyczna strumieniowego urządzenia chłodniczego w zależności od temperatury parowania czynnika roboczego

Źródło:

D. Butrymowicz, J. Karwacki, K. Śmierciw, Studium zastosowania naturalnych i syntetycznych czynników roboczych w układach strumieniowych, Nr arch. IMP PAN 109/08, Gdańsk 2008

## Fragment stanowiska badawczego

*ekologiczny czynnik roboczy !!*





## Zespół 9 próżniowych kolektorów słonecznych – Laboratorium IMP PAN

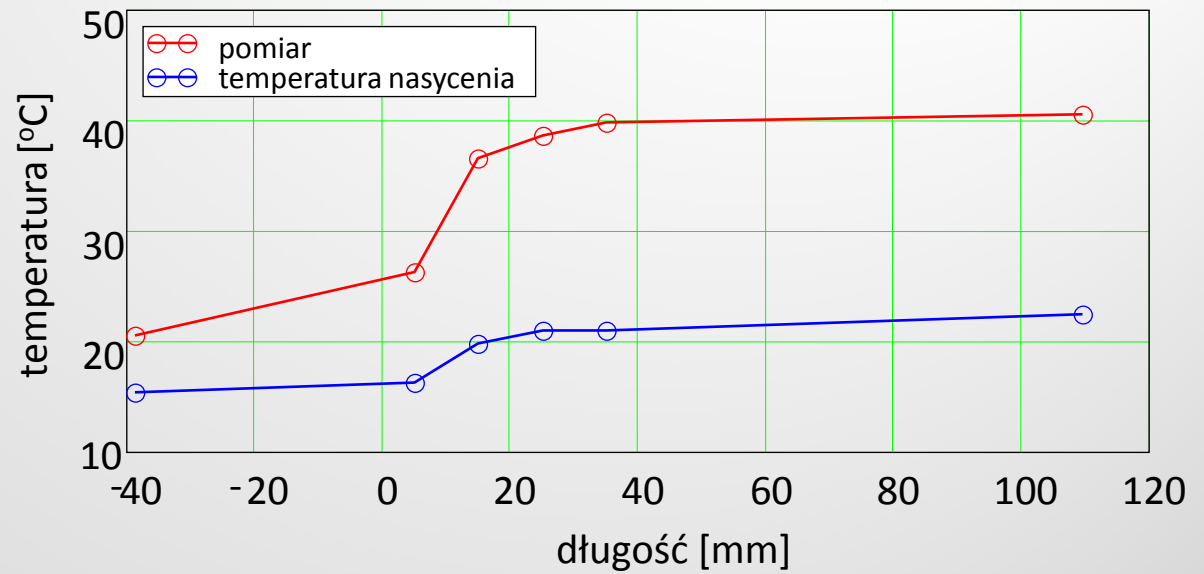
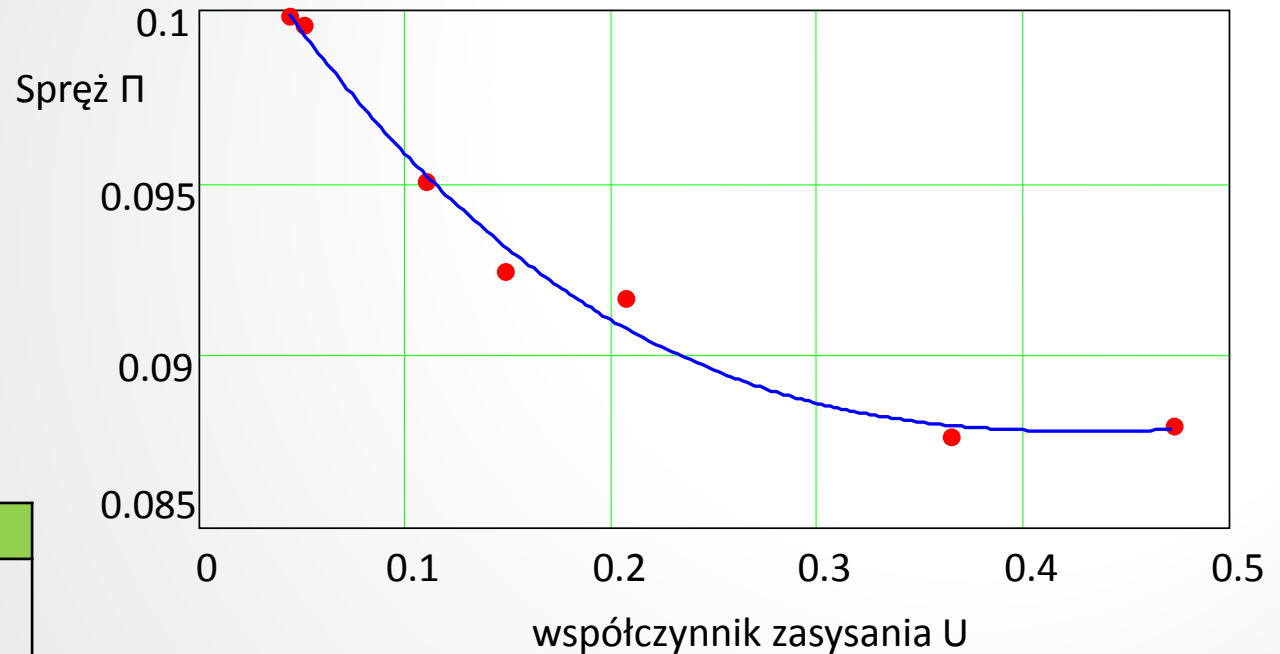


Moc cieplna kolektorów: Około 20 kW

przykładowa charakterystyka  $\Pi = f(U)$  strumienicy parowej

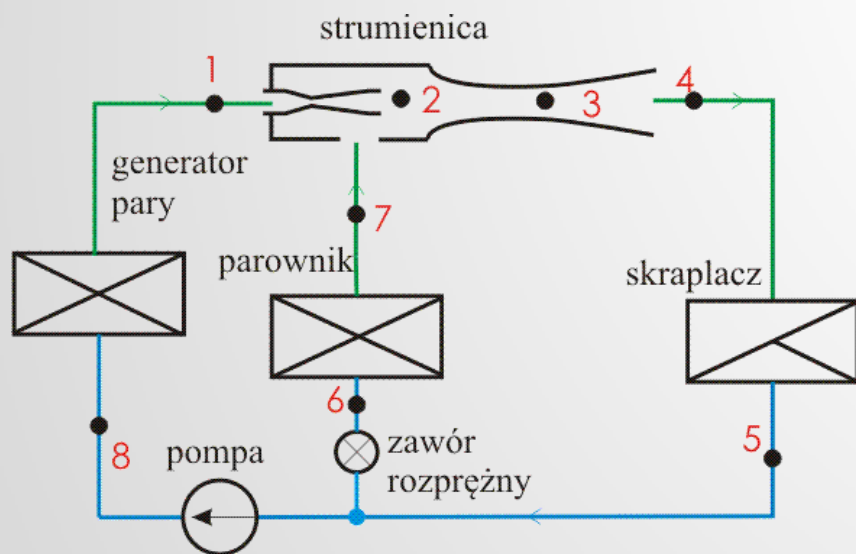
$$\Pi = \frac{p_c - p_e}{p_g - p_e}$$

$$U = \frac{\dot{m}_e}{\dot{m}_g}$$

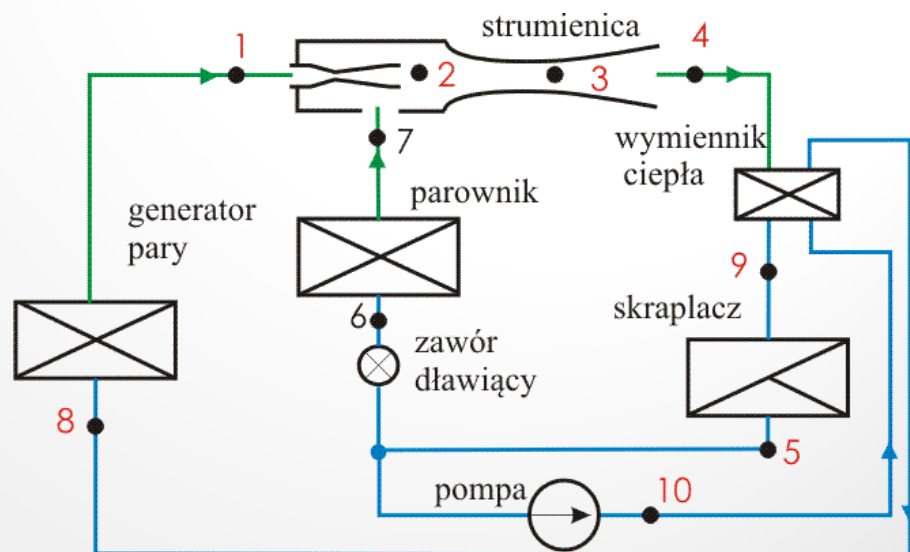


## Łatwy i tani sposób poprawy efektywności urządzenia strumienicowego

*układ strumienicowy podstawowy*

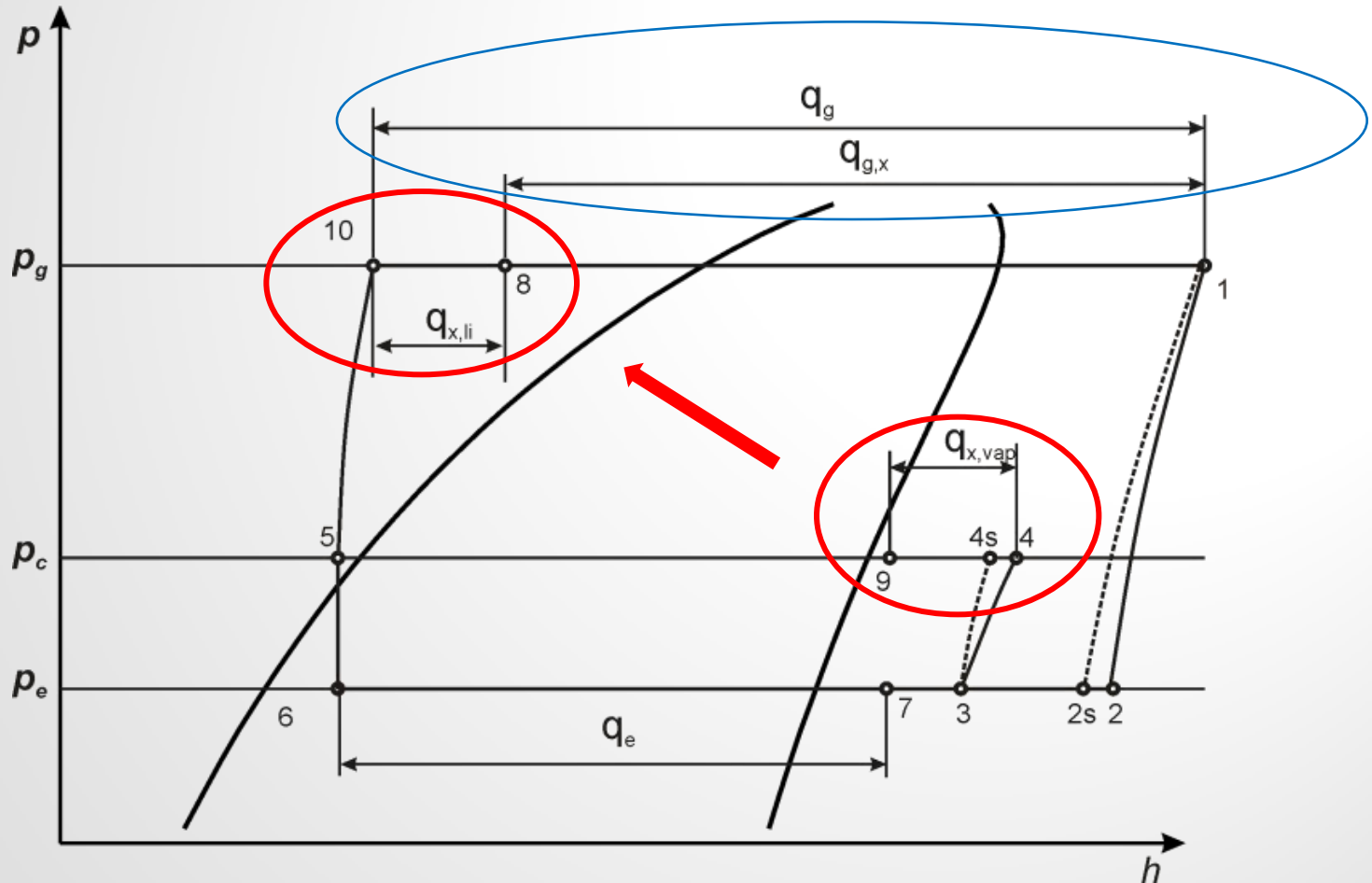


*układ strumienicowy zmodyfikowany  
(o wyższej efektywności energetycznej)*



# Poprawa współczynnika *COP* urządzenia strumienicowego poprzez wymiennik regeneracyjny - Propozycja IMP PAN

*mniejszy strumień ciepła napędowego !*

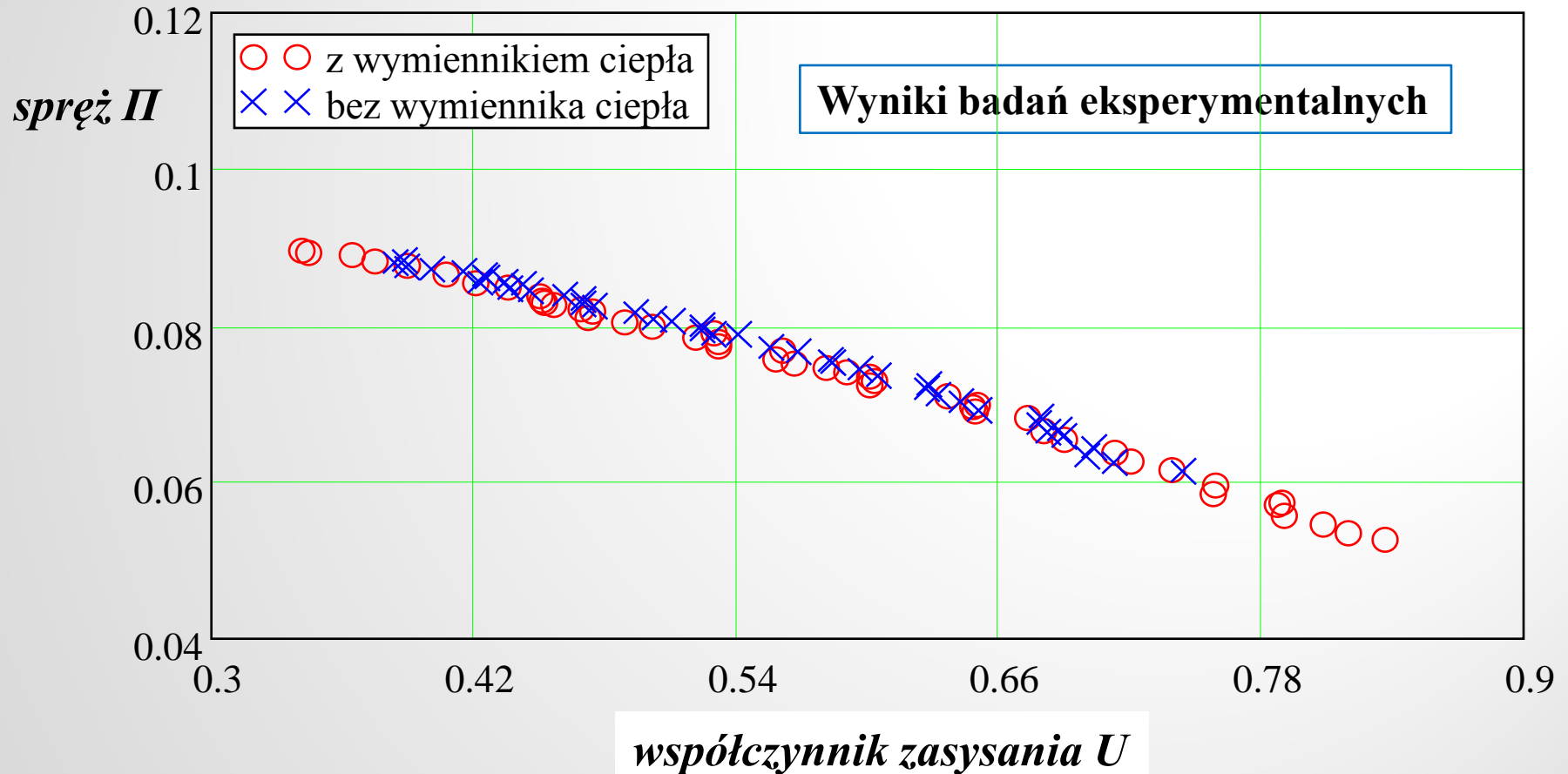


$$\dot{q}_{g''} = h_1 - h_8 < \dot{q}_g = h_1 - h_{10} \quad COP = \frac{m_e \cdot q_e}{m_g \cdot q_{g''}} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_{g''}} > \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_g}$$



# Wymiennik regeneracyjny nie wpływa na parametry $\Pi$ , $U$ ...

charakterystyka  $\Pi = f(U)$  urządzenia strumieniowego

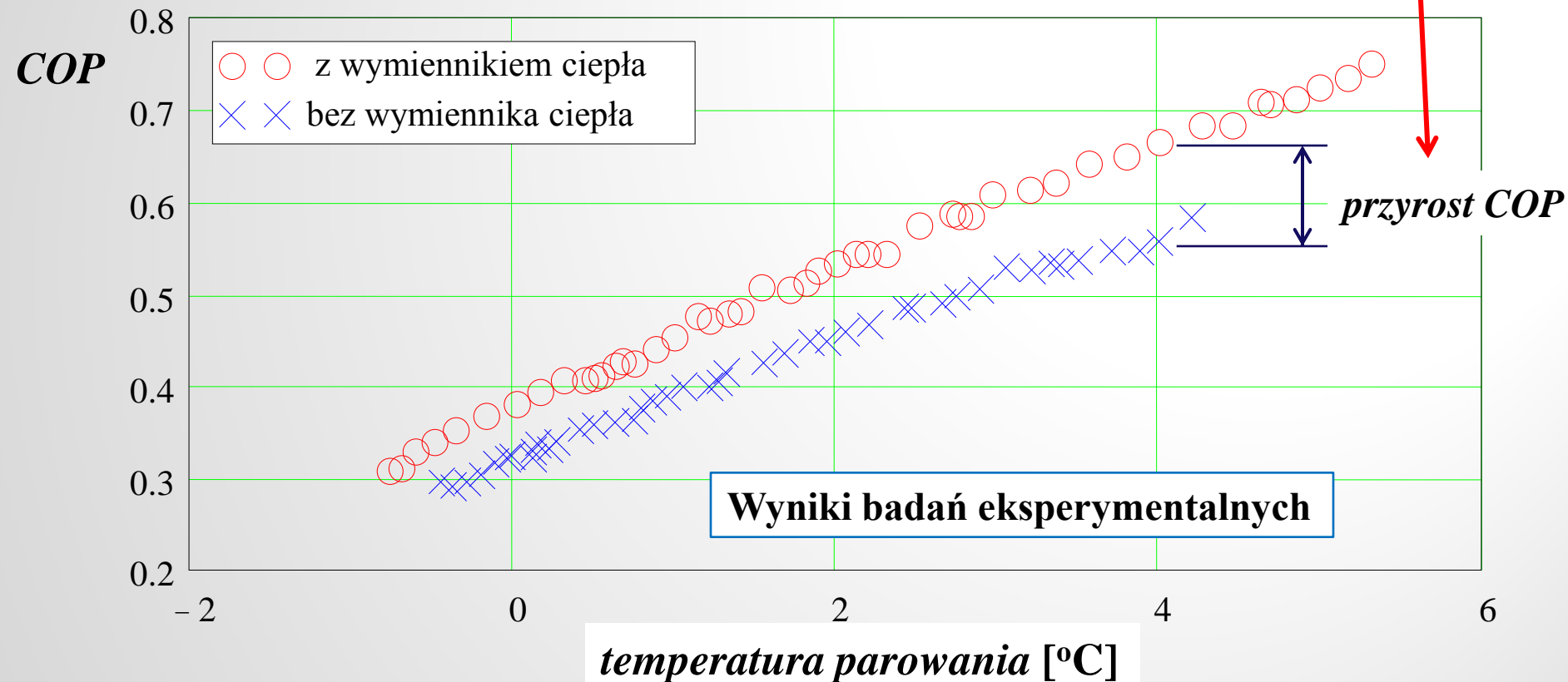


$$\Pi = \frac{p_c - p_e}{p_g - p_e}$$

$$U = \frac{\dot{m}_e}{\dot{m}_g}$$

## ...ale poprawia efektywność energetyczną urządzenia

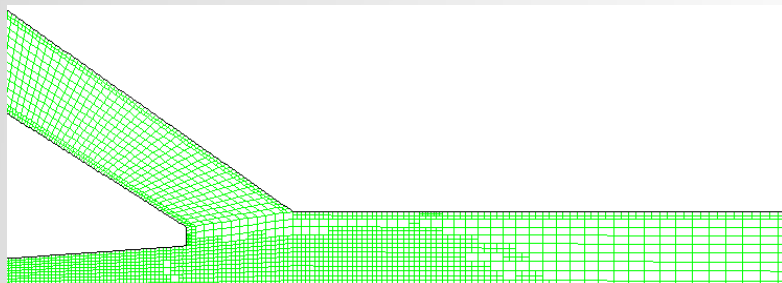
zależność  $COP = f(te)$  urządzenia strumienicowego w warunkach pracy bez i z regeneracyjnym wymiennikiem ciepła



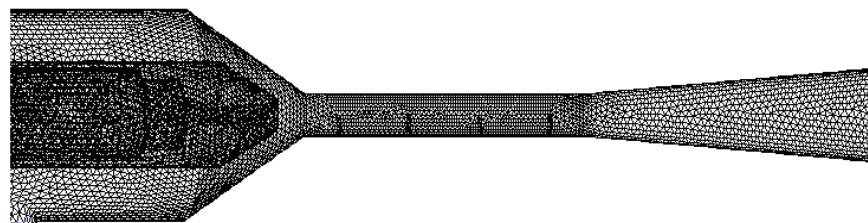
$$COP_x = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_{g,x}} > COP = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_g}$$

# Analiza numeryczna strumienicy parowej

- Rozpoznanie zjawisk fizycznych;
- Poszukiwanie optymalnych parametrów roboczych



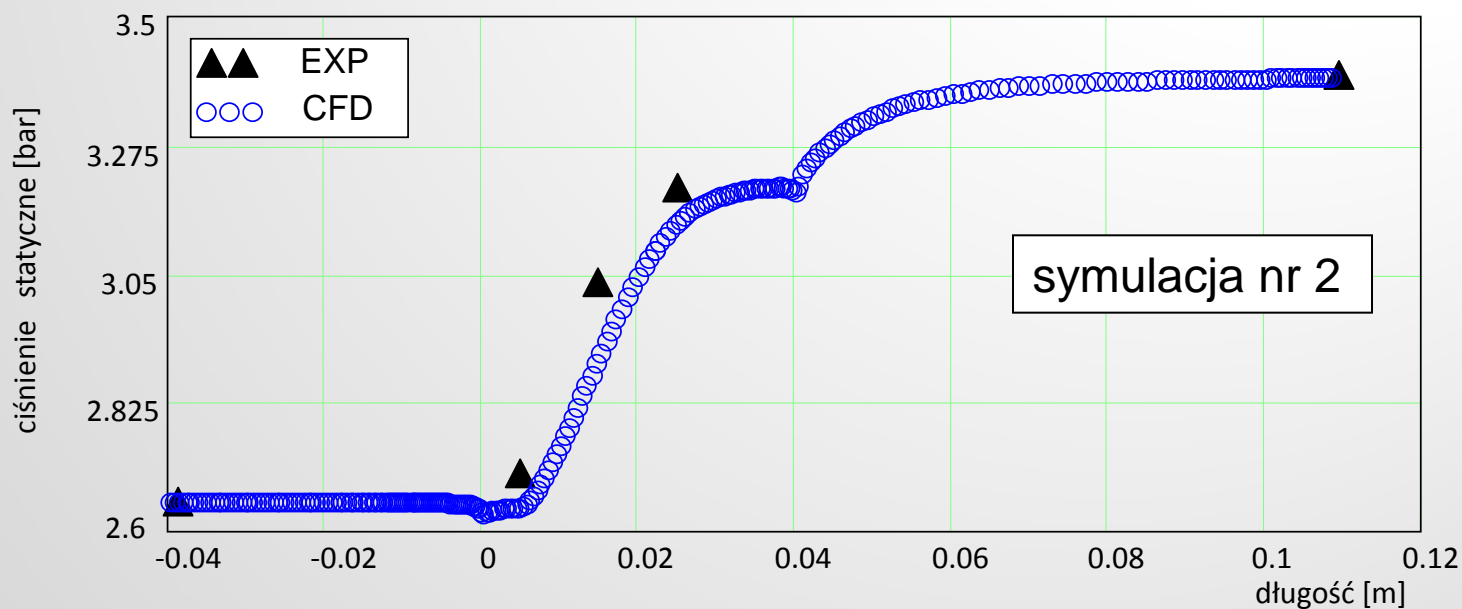
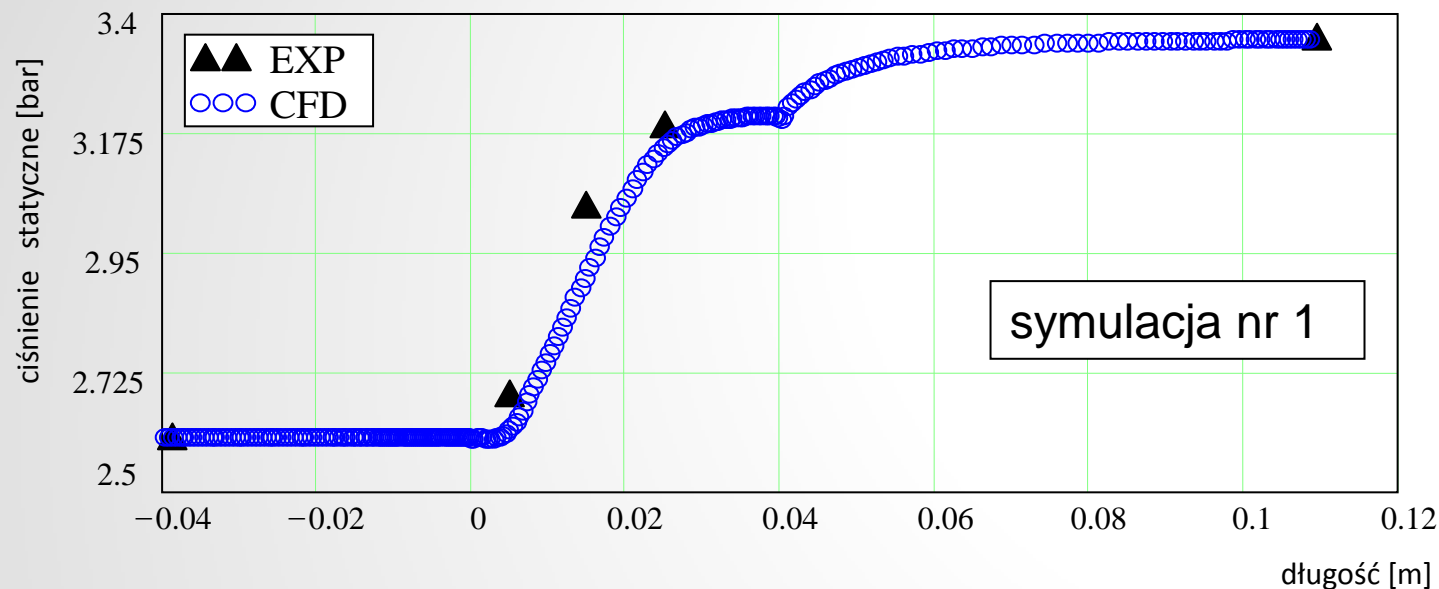
Fragment siatki obliczeniowej 2D



Fragment siatki obliczeniowej 3D

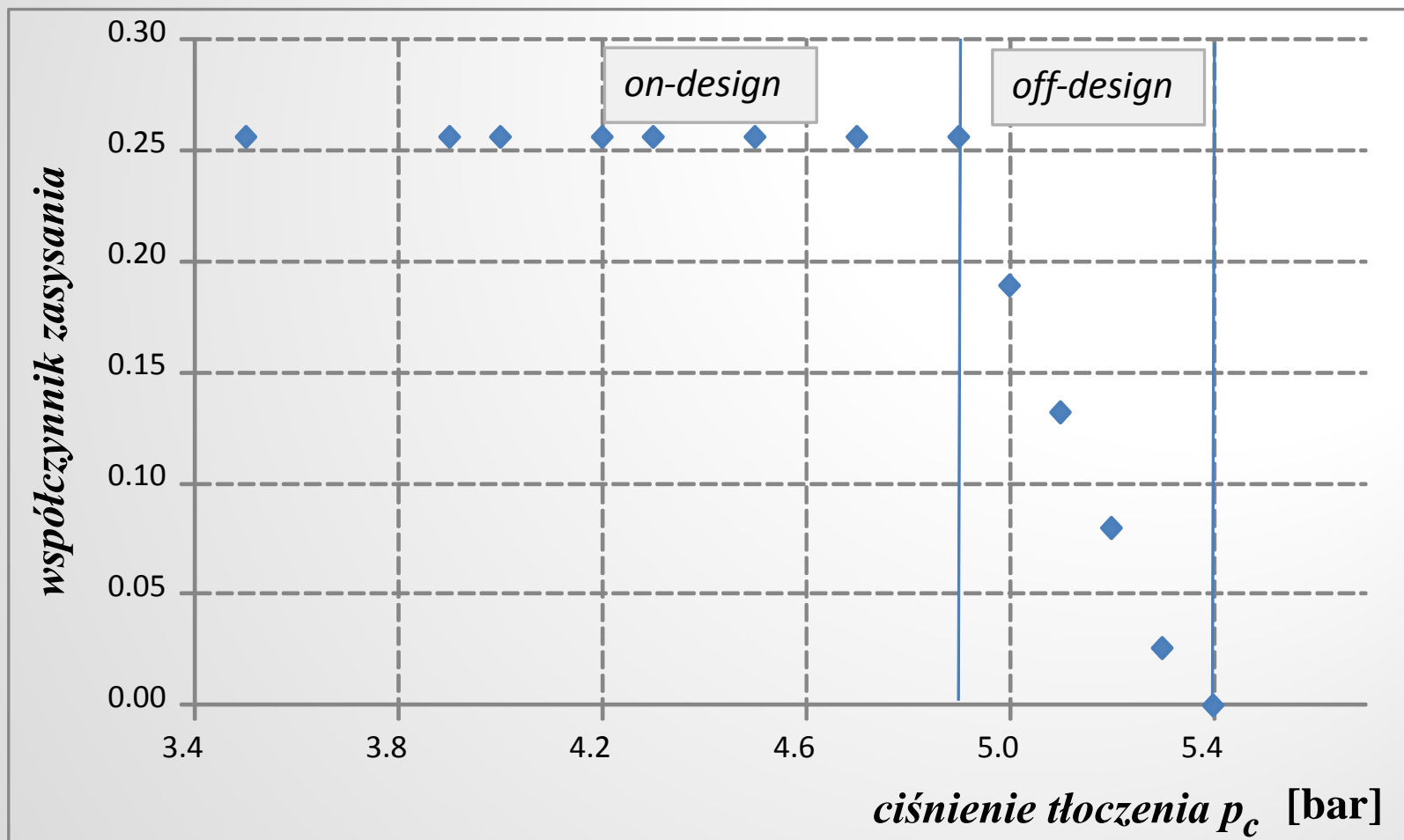
l.p.	$p_g$ [bar]	$t_g$ [°C]	$p_e$ [bar]	$t_e$ [°C]	$p_c$ [bar]	$t_c$ [°C]	strumień pary napędowej $m_g$ [kg/h]		strumień pary zasysanej $m_e$ [kg/h]	
							EXP	CFD	EXP	CFD
<b>1_2D</b>	10.68	78.9	2.65	20	3.4	54.3	35.2	35.5	15.3	18.8
<b>2_2D</b>	10.37	76.2	2.60	15.5	3.35	54.4	33.8	34.6	13.9	12.6
<b>3_3D</b>	8.96	90.7	1.76	5.7	2.20	38.4	29.5	26.6	21.9	18.7
<b>Wyniki symulacji</b>										
<b>symulacja 1</b>		<b>symulacja 2</b>					<b>symulacja 3</b>			
$U - \text{exp} = 0.43$		$U - \text{exp} = 0.41$					$U - \text{exp} = 0.74$			
$U - \text{CFD} = 0.53$		$U - \text{CFD} = 0.36$					$U - \text{CFD} = 0.70$			

# Porównanie wyników CFD z eksperymentem



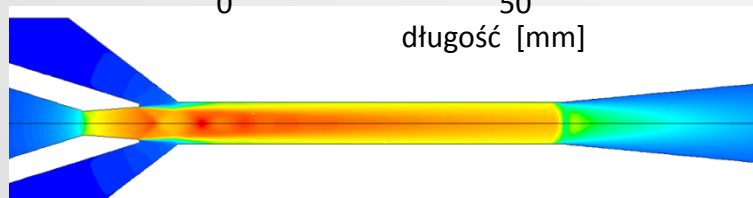
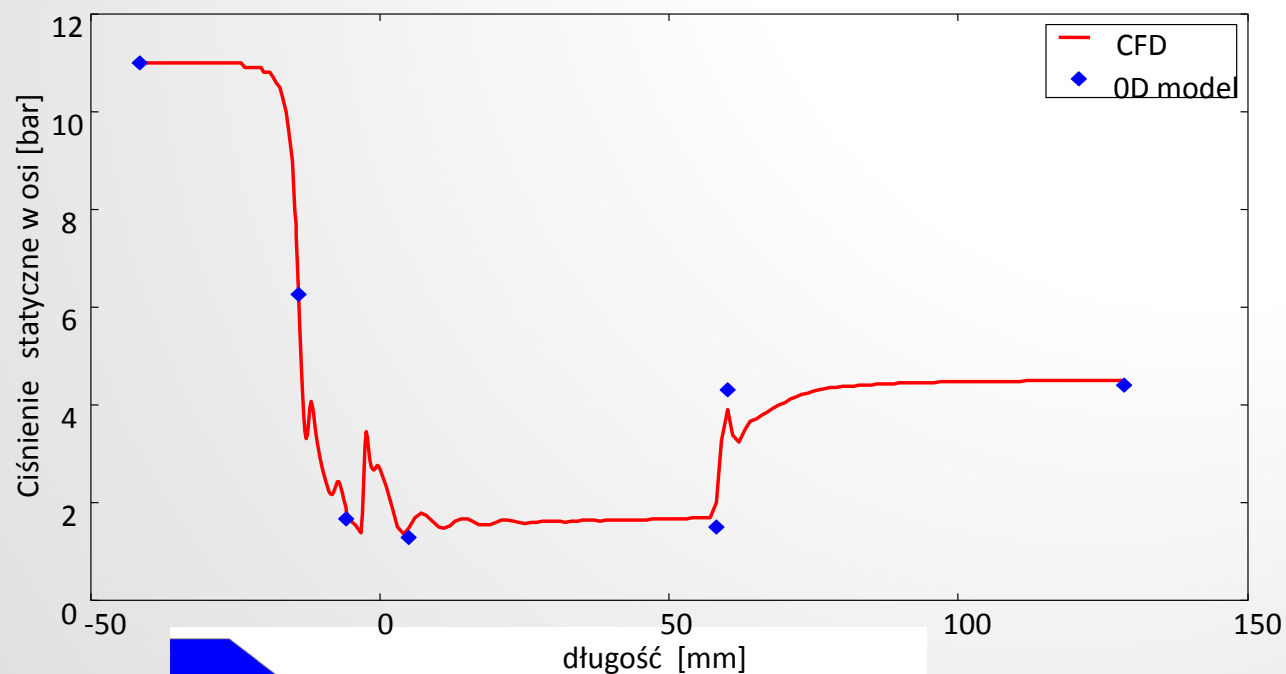
# Wyniki symulacji numerycznych

Zależność  $U = f(p_c)$  strumienicy parowej dedykowanej do pracy w warunkach klimatyzacji solarnej



# Wyniki symulacji numerycznych

warunki brzegowe				Wynik			
$p_g$	$t_g$	$p_e$	$t_e$	U		$\Pi$	
[bar]	[°C]	[bar]	[°C]	CFD	0D	CFD	0D
11	90	2.2	10	0.257	0.257	0.260	0.251



Rozkład liczby Macha

0.00 0.06 0.12 0.18 0.24 0.30 0.36 0.42 0.48 0.54 0.60 0.66 0.72 0.78 0.84 0.90 0.96 1.02 1.08 1.14 1.20 1.26 1.32 1.38 1.44 1.50 1.56 1.62 1.68 1.74 1.80 1.86 1.92 1.98

## Podsumowanie i wnioski

- I. Pokazano, że układ strumienicowy może być rozwiązaniem konkurencyjnym i bardziej atrakcyjnym względem urządzeń absorpcyjnych w technice klimatyzacyjnej
- II. Przeprowadzono pierwsze w kraju badania eksperymentalne strumienicowego urządzenia klimatyzacyjnego pracującego z izobutanem;
- III. Wykazano, że użycie regeneracyjnego wymiennika ciepła poprawia współczynnik COP, uzyskano wzrost COP nawet o 20%;
- IV. Pokazano, że modelowanie numeryczne strumienicy parowej z dobrą dokładnością przewiduje jej parametry robocze i dlatego może być wykorzystywany do projektowania strumienic.
- V. Wykazano, że z uwagi na osiągnane parametry robocze, strumienice mogą być zastosowane w układach klimatyzacyjno-chłodniczych.