



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

AGH UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY



*II KONFERENCJA
„INNOWACJE W ODNAWIALNYCH ŹRÓDŁACH ENERGII”
30-31 MARCA 2023, AGH KRAKÓW*

INNOWACYJNE TECHNOLOGIE WYKORZYSTYWANE W POMPACH CIEPŁA

dr inż. Krzysztof Szczotka

*Katedra Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie*

Pompa ciepła (*ang. heat pump*)

Definicja:

- Urządzenie przenoszące ciepło z ośrodka o niższej temperaturze (źródło dolne) do ośrodka o wyższej temperaturze (źródło górne) przy wykorzystaniu energii z zewnątrz (w formie pracy lub ciepła).
- Proces ten przebiega wbrew naturalnemu kierunkowi przepływu ciepła i zachodzi dzięki dostarczonej z zewnątrz energii mechanicznej (w pompach ciepła sprężarkowych) lub ciepła (w pompach absorpcyjnych).

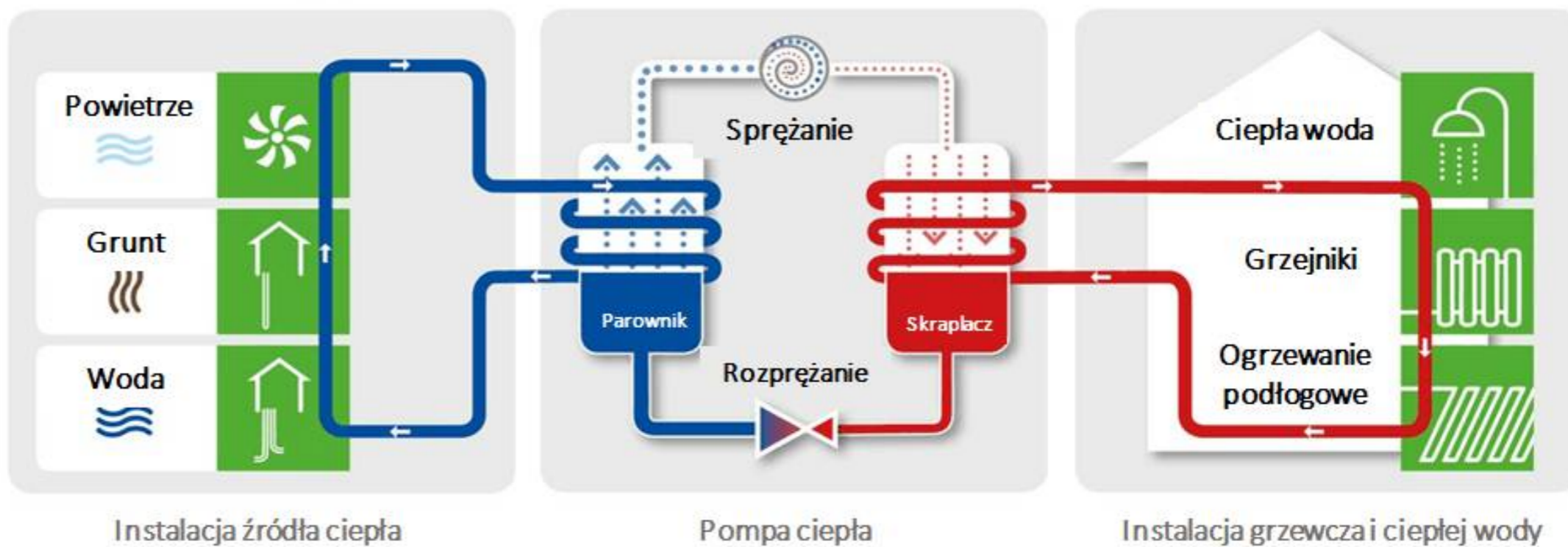
ZASADA DZIAŁANIA SPC



ok. 25% energia napędowa

ok. 75% energia z otoczenia

Ciepło użytkowe

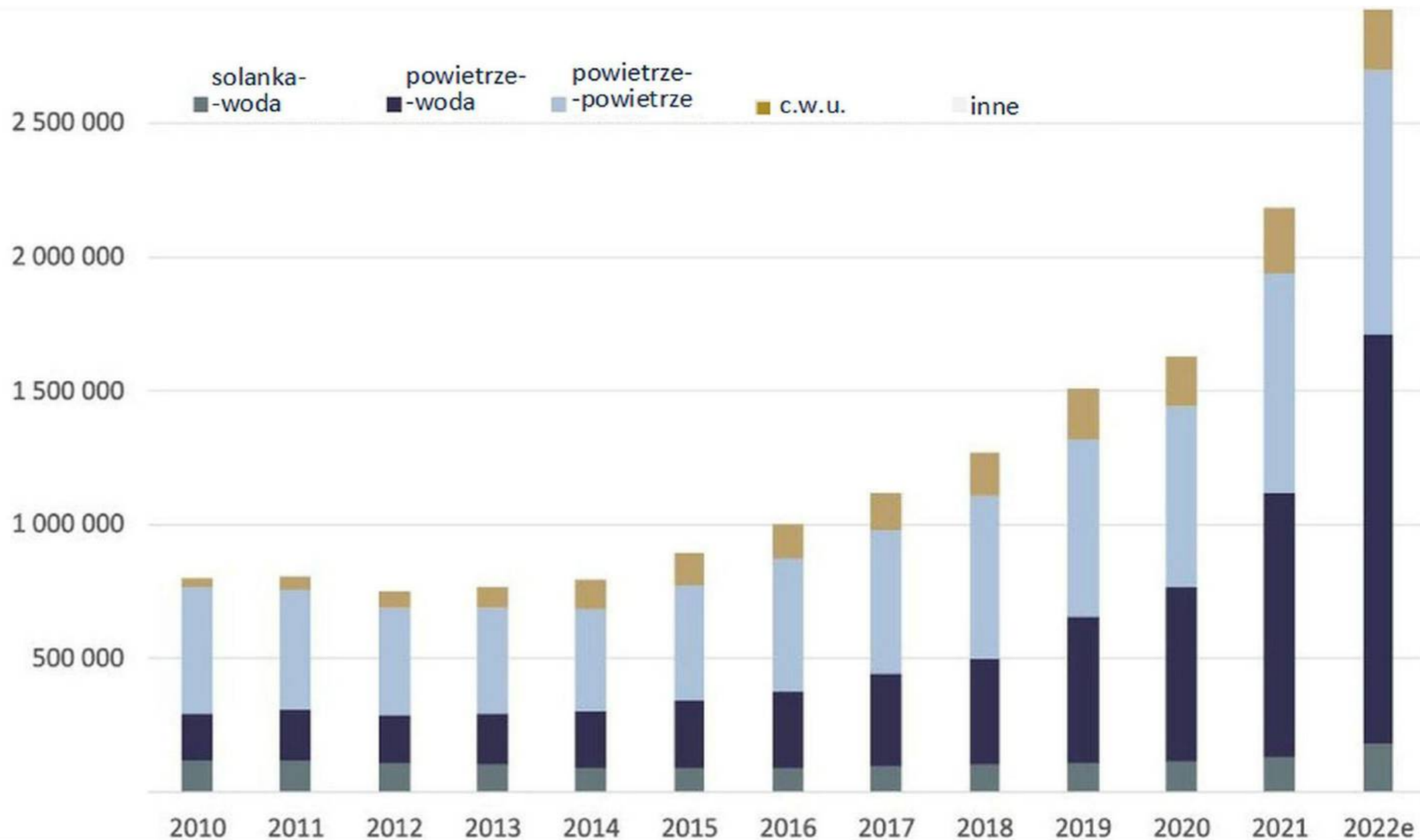


RYNEK POMP CIEPŁA

- ❑ Europejski rynek pomp ciepła pobił nowy rekord w 2022 r., według wczesnych danych z 16 rynków, z około **3 milionami sprzedanych jednostek**.
- ❑ Dane dla 2022 r. zebrane przez Europejskie Stowarzyszenie Pomp Ciepła wskazują na **wzrost o prawie 38%**, więcej niż w poprzednim roku, kiedy to bezprecedensowy **wzrost sprzedaży rocznej wyniósł 34%**.
- ❑ Łączna liczba podłączonych pomp ciepła do ogrzewania oraz do przygotowania ciepłej wody użytkowej w Europie wynosi obecnie **około 20 milionów jednostek**.
- ❑ Zapewniają one CO i CWU dla około **16%** europejskich budynków mieszkalnych i komercyjnych.



EHPA: W 2022 r. padł kolejny rekord – 3 miliony sprzedanych pomp ciepła w 2022 roku, przyczyniając się do realizacji celów REPowerEU



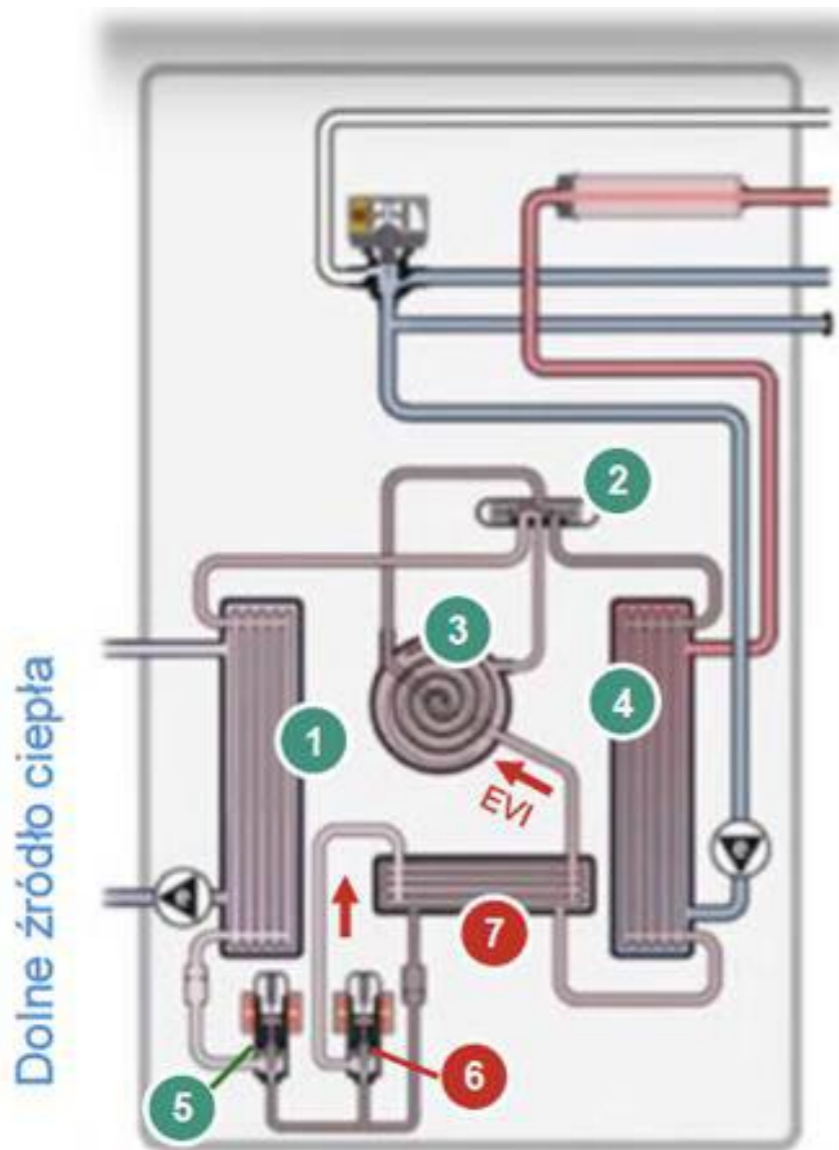
- ❑ Liczba pomp ciepła sprzedanych w 2022 roku zastępuje około **4 miliardy m³ gazu ziemnego**, co pozwala uniknąć około **8 milionów ton (Mt) emisji CO₂**.
- ❑ Cały europejski zasób pomp ciepła pozwala obecnie **uniknąć 54 Mt CO₂** – co odpowiada mniej więcej rocznym emisjom Grecji.
- ❑ Ten nadzwyczajny wzrost będzie prawdopodobnie kontynuowany, biorąc pod uwagę potrzebę **dekarbonizacji** w świetle zagrożenia klimatycznego i **odejścia od paliw kopalnych**, jak określono w planie REPowerEU.

Liczba sprzedanych pomp ciepła w Polsce w latach 2010-2022



- ❑ System EVI w sprężarkach spiralnych (scroll) pozwolił na szeroki zakres zastosowania pomp ciepła.
- ❑ Aby osiągnąć podwyższoną temperaturę zasilania (nawet do 125°C), pompa ciepła jest wyposażona w sprężarkę specjalnej konstrukcji.
- ❑ Przykładem jest sprężarka spiralna (scroll) firmy Copeland™, w której zmodyfikowano obieg czynnika chłodniczego.
- ❑ Technologia EVI (Enhanced Vapor Injection) tzw. zoptymalizowanego wtrysku par pozwala uzyskiwać zwiększone ciśnienie i temperaturę czynnika na wyjściu ze sprężarki.

Innowacje w pompach ciepła – technologia EVI

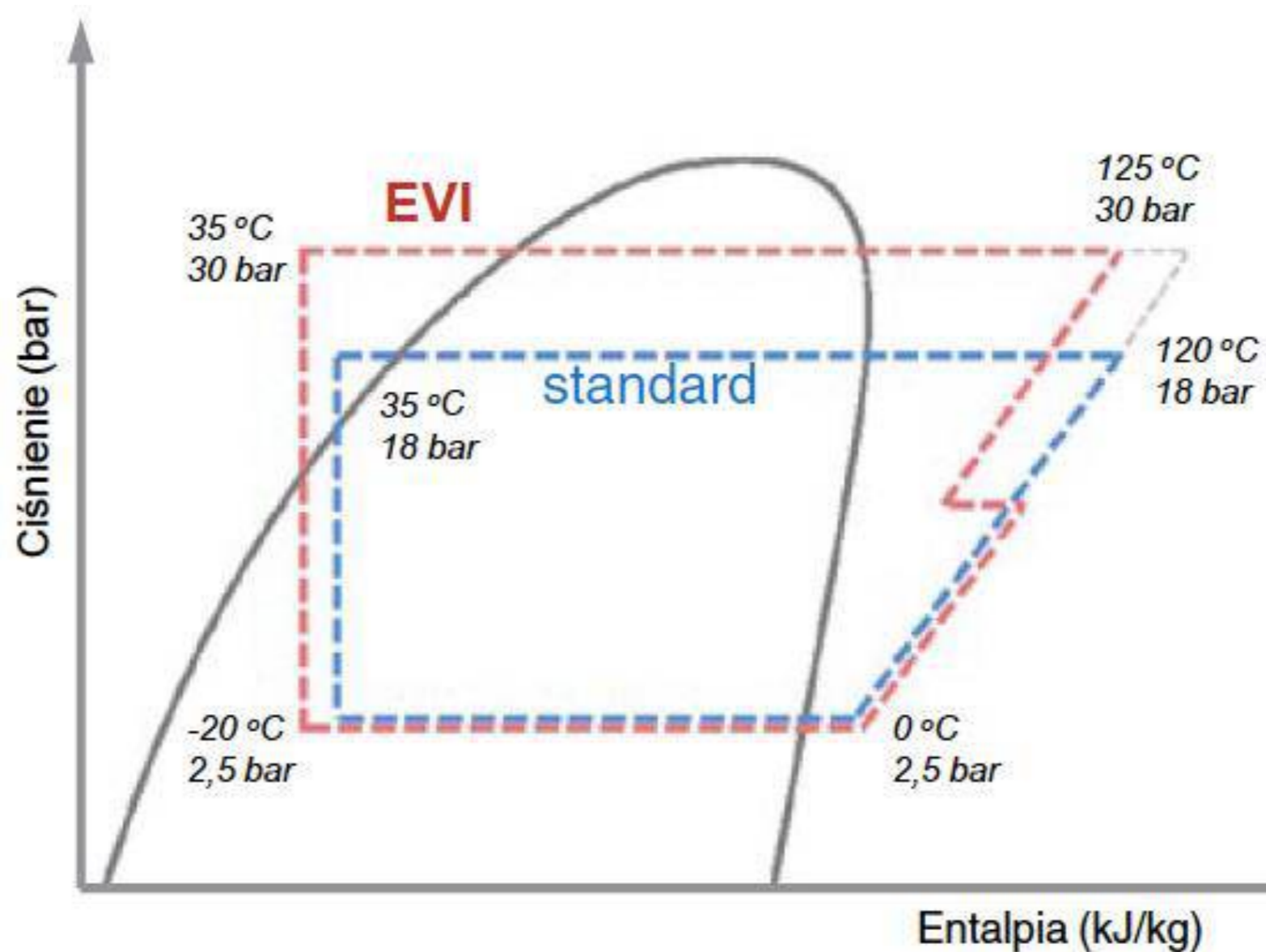


Woda grzewcza

Czynnik chłodniczy odbiera ciepło z dolnego źródła ciepła w parowniku (1). Przez zawór 4-drogowy (2) dociera do sprężarki (3). Po podniesieniu ciśnienia i temperatury czynnik trafia do skraplacza (4), gdzie oddaje ciepło do wody grzewczej. Zawór rozprężny (5) powoduje obniżenie temperatury i ciśnienia, a czynnik w stanie ciekłym ponownie trafia do parownika (1).

Różnicą w budowie pompy ciepła ze sprężarką korzystającą z technologii Scroll EVI, jest zastosowanie **dodatkowego zaworu rozprężnego (6)**, który część czynnika chłodniczego kieruje do dodatkowego elementu obiegu – **wymiennika ciepła (7)**. Następuje w nim odparowanie czynnika, który zostaje następnie wprowadzony bezpośrednio **do sprężarki (3)**.

Innowacje w pompach ciepła – technologia EVI



ZALETY:

- ❑ **większa wydajność (min o 25%) oraz wyższa sprawność (min o 10%), szczególnie przy wyższych stosunkach ciśnień, w porównaniu z rozwiązaniem standardowym;**
- ❑ **mniejsze rozmiary sprężarki dla uzyskania tej samej wydajności grzewczej: mniejszy koszt, waga, hałas oraz wibracje;**
- ❑ **mniejsze średnice rurociągu cieczowego do parownika głównego: mniejsza ilość czynnika chłodniczego w obiegu (ważne, dla tzw. ustawy f-gazowej);**
- ❑ **najszersza tzw. koperta pracy: największe możliwości zastosowania;**
- ❑ **możliwość regulacji wydajności za pomocą wtrysku par: alternatywa dla silników dwubiegowych czy przetwornic częstotliwości;**
- ❑ **wtrysk par zabezpiecza sprężarkę przed zbyt wysokimi temperaturami po stronie tłocznej.**



Innowacje w pompach ciepła – technologia EVI

WADY:

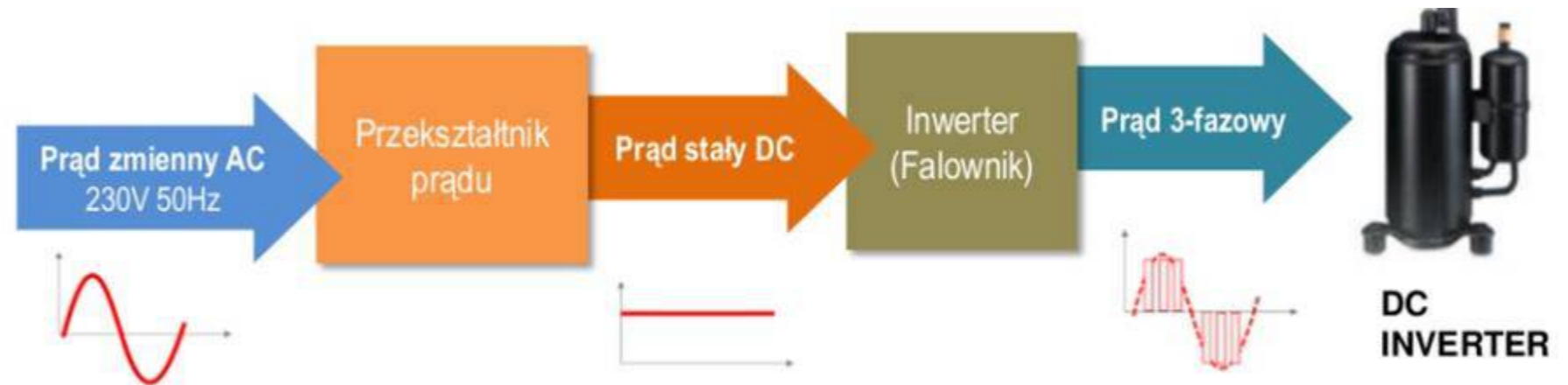
- ❑ dodatkowe elementy chłodnicze:
płytkowy wymiennik ciepła, zawór rozprężny, zawór elektromagnetyczny.

Innowacje w pompach ciepła – sprężarka inwerterowa w pompie ciepła

- Standardowe sprężarki stosowane w pompach ciepła pracują na zasadzie **włącz/wyłącz (ON-OFF)**.
- W najpopularniejszych na rynku pompach ciepła **typu powietrze-woda** taki sposób regulacji niesie za sobą jednak wiele niedogodności związanych z **większą zmiennością warunków pracy (temperatura zewnętrzna)**.
- Regulator może bowiem jedynie **włączyć lub wyłączyć** tradycyjną sprężarkę, natomiast **nie reguluje jej wydajności**.

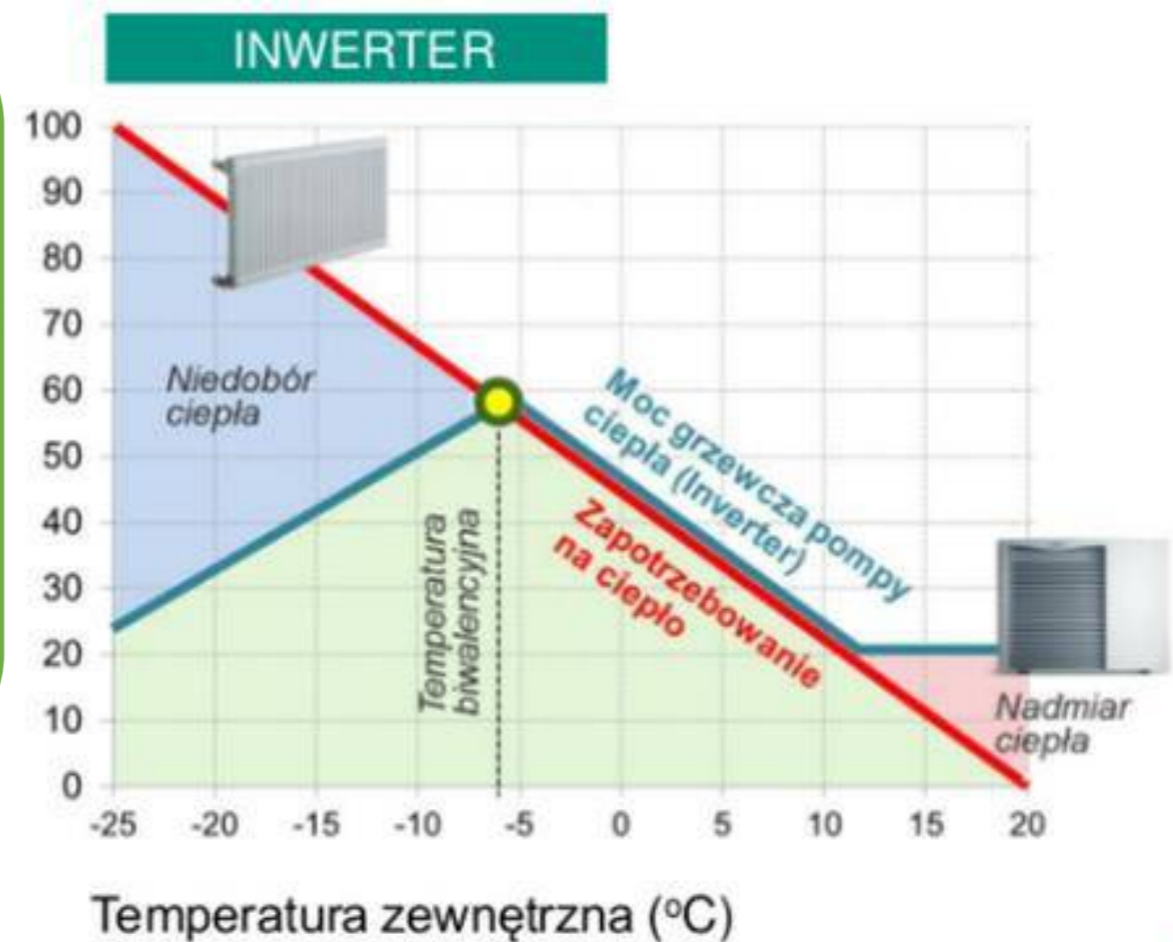
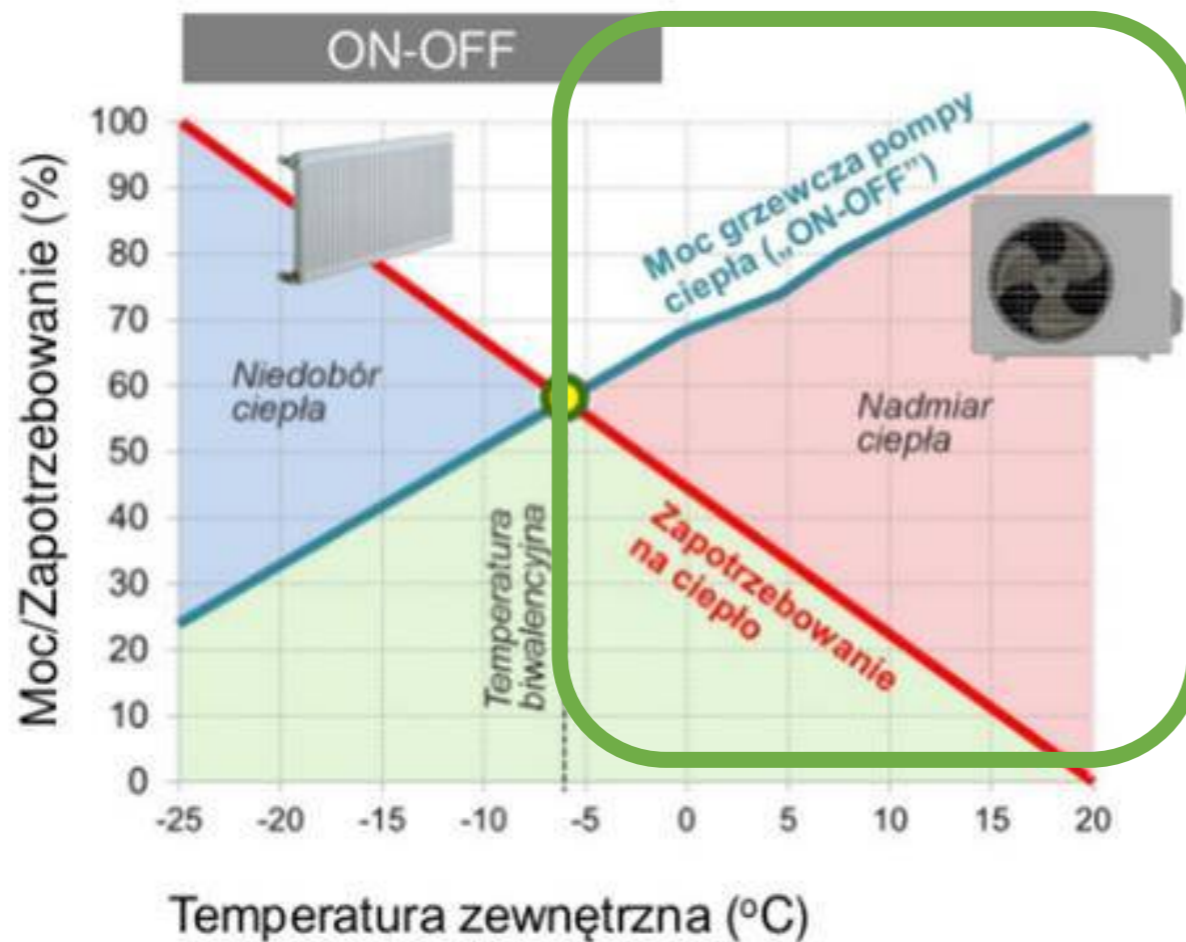
Innowacje w pompach ciepła – sprężarka inwerterowa w pompie ciepła

- ❑ Nowoczesne sprężarki inwerterowe umożliwiają płynną regulację wydajności pracy przy zachowaniu wysokiej sprawności.
- ❑ Jest to możliwe dzięki zmianie częstotliwości i amplitudy prądu.
- ❑ Tzw. przekształtnik przekształca prąd stały w prąd zmienny, a następnie inwerter zamienia go w prąd 3-fazowy.
- ❑ Ten rodzaj prądu zapewnia wymagane obroty sprężarki inwerterowej.

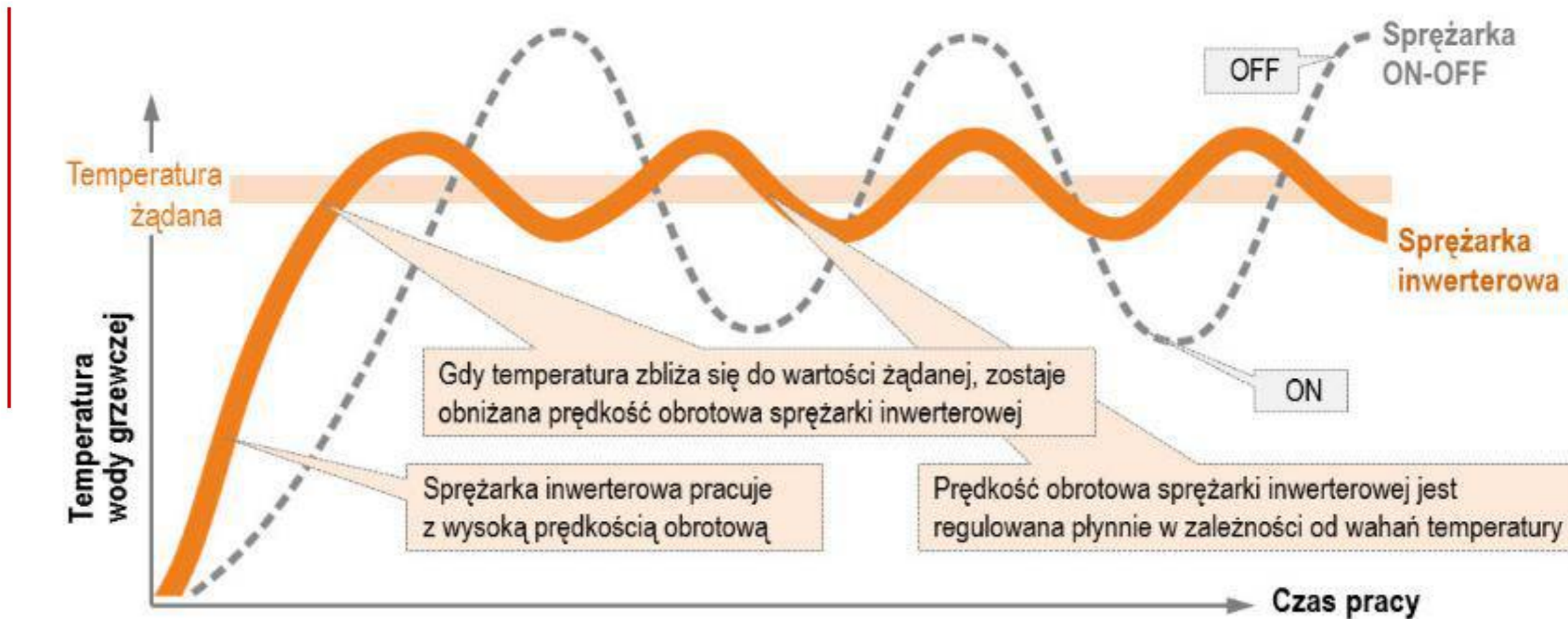


Innowacje w pompach ciepła – sprężarka inwerterowa w pompie ciepła

- ❑ Sprężarka inwerterowa pozwala dostosować moc grzewczą pompy do chwilowego zapotrzebowania na ciepło.



Innowacje w pompach ciepła – sprężarka inwerterowa w pompie ciepła



Innowacje w pompach ciepła – elektroniczny zawór rozprężny (EEV)

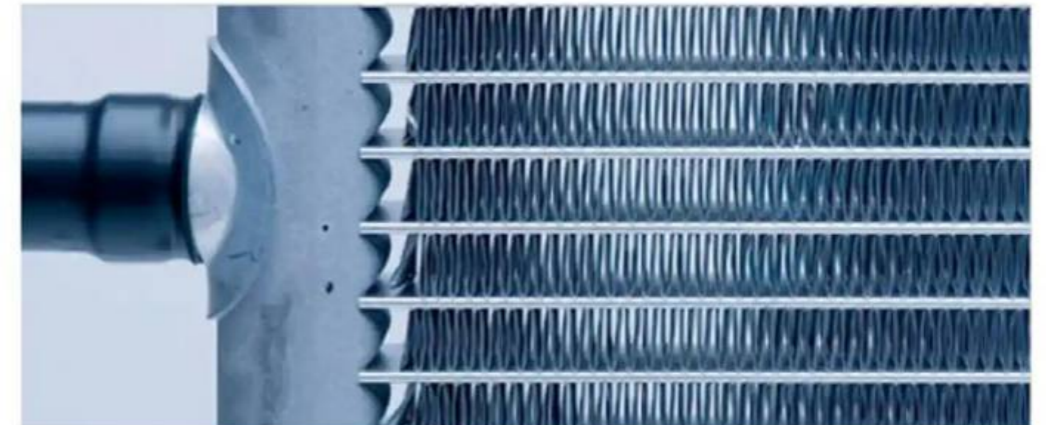
- ❑ Zawór rozprężny to urządzenie, które służy do kontrolowania przepływu czynnika chłodniczego ze skraplacza do parownika w precyzyjnych ilościach.
- ❑ Obecnie zawory rozprężne występują w dwóch różnych typach.
- ❑ Pierwszy typ to **termostatyczny lub termiczny zawór rozprężny (TEV)**, a drugi to **elektroniczny zawór rozprężny (EEV)**



- ❑ **EEV jest wysoce niezawodny i może być zintegrowany z centralną jednostką sterującą w celu automatyzacji i optymalizacji sterowania w zasadzie dowolnym czynnikiem chłodniczym (kompatybilność ze wszystkimi typami czynnika chłodniczego) w całym obwodzie chłodniczym.**
- ❑ **Utrzymuje on wydajność sprężarki na „prawie” stałym poziomie, niezależnie od obciążenia parownika.**
- ❑ **Zawór EEV precyzyjniej kontroluje proces termodynamiczny i docelowo pozwala oszczędzić zużycie energii w zakresie 15-20%**

Innowacje w pompach ciepła – wymiana ciepła

- ❑ Wzrost efektywności pomp ciepła wynika również z tego, że w systemach parownika i skraplacza oraz także w dolnych i górnych źródła ciepła poszukiwane są **systemy wysoce wydajnych, kompaktowych, a jednocześnie niezwykle stabilnych wymienników ciepła.**
- ❑ Stosowane są specjalne konstrukcje rur i przewodów, które posiadają znacznie wyższe współczynniki przenikania ciepła niż rury gładkie.



Innowacje w pompach ciepła – sterowanie i nadchodząca „inteligencja” pomp ciepła

- ❑ **Działanie systemu grzewczego pomp ciepła jest tym wydajniejsze, im precyzyjniejszą automatykę w nim zastosujemy.**
- ❑ **Tzn. analizując sytuację pogodową na zewnątrz oraz temperaturę panującą wewnątrz budynku – co przekłada się na zapotrzebowanie na ciepło budynku.**
- ❑ **Do tego - to właśnie dzięki automatyce instalacje stają się bezobsługowe, a to zwiększa nasz komfort.**
- ❑ **Samoregulacja i samooptymalizacja będą dopasowywać działanie urządzenia i instalacji do oczekiwań odbiorcy indywidualnego - dotyczące kosztów eksploatacji, redukcji CO₂ oraz oszczędności, które ma przynieść działanie pompy ciepła.**

ZAKRES PRZEPROWADZONYCH BADAŃ SPRĘŻARKOWEJ POWIETRZNEJ POMPY CIEPŁA

- ❑ Proces termodynamiczny zachodzący w sprężarkowych pompach ciepła typu powietrze-woda, opisany za pomocą szczegółowo doprecyzowanych i określonych zmiennych (informacje o parametrach termodynamicznych i fizycznych procesu tj.: temperatury, różnice temperatur, entalpie, gęstości, ciśnienia, natężenia przepływu i inne istotnie wpływających na efektywność energetyczną urządzenia), **można poddać procesowi optymalizacji, względem ściśle określonych kryteriów (maksymalizacja współczynników efektywności energetycznej: COP).**

MODEL MATEMATYCZNY PROCESU, METODYKA BADAŃ, METODA PLANOWANIA DOŚWIADCZEŃ

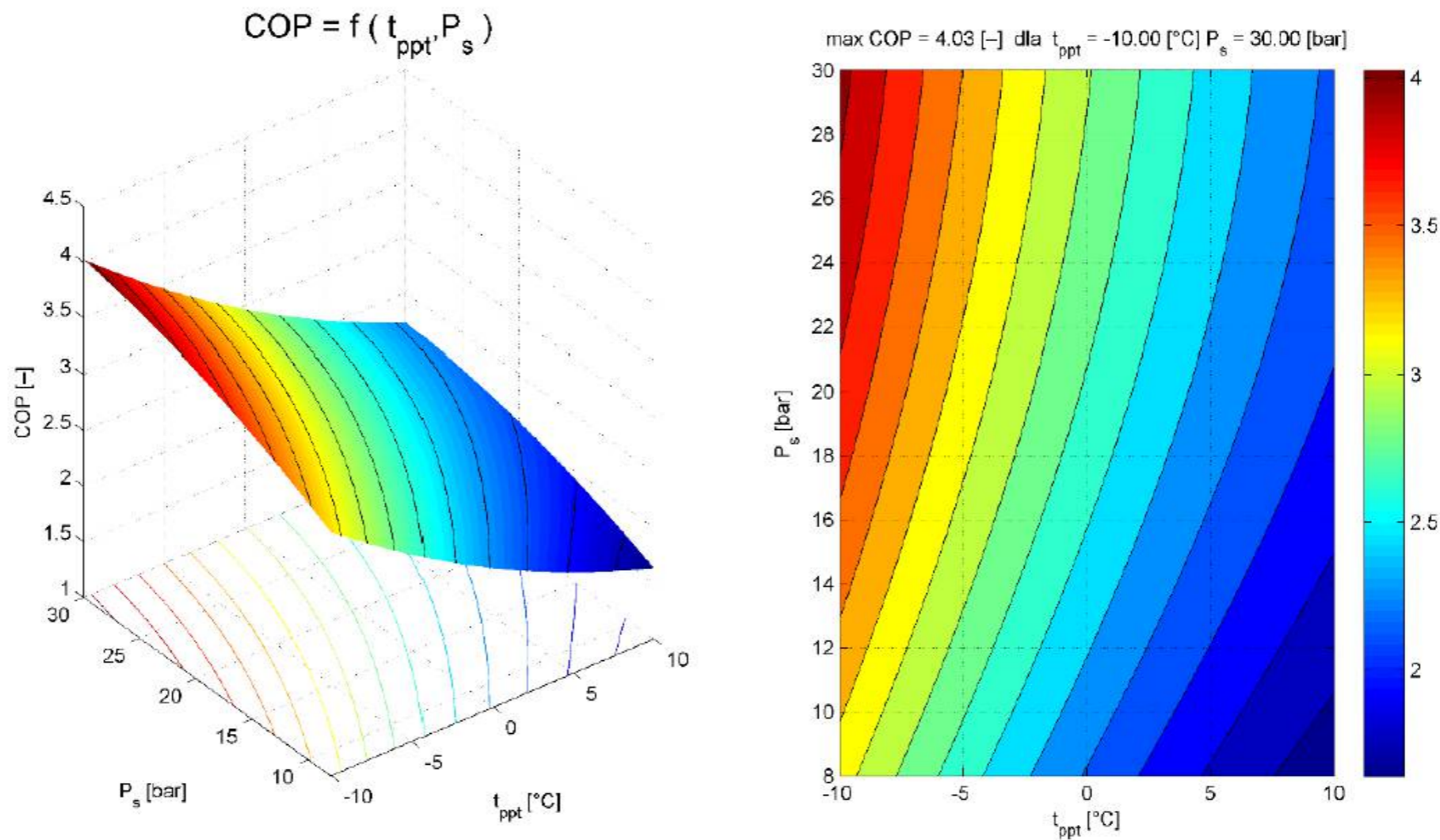
Na podstawie przedstawionej powyżej zależności, można uporządkować czynniki badane X_i według istotności ich wpływu liniowych na parametr optymalizowany Y_1 (COP) (tabela 4.)

Tabela 4. Uszeregowanie czynników badanych X_i według istotności ich wpływów liniowych na Y_1

Kolejność istotności wpływu	Czynnik badany	Wartości kodowane współczynników równania regresji	Udział procentowy czynników badanych
1.	X_1	- 0,088	57,89 %
2.	X_2	+ 0,042	27,63 %
3.	X_3	- 0,012	7,44 %
4.	X_4	+ 0,010	6,58 %
5.	X_5	+ 0,002	0,46 %

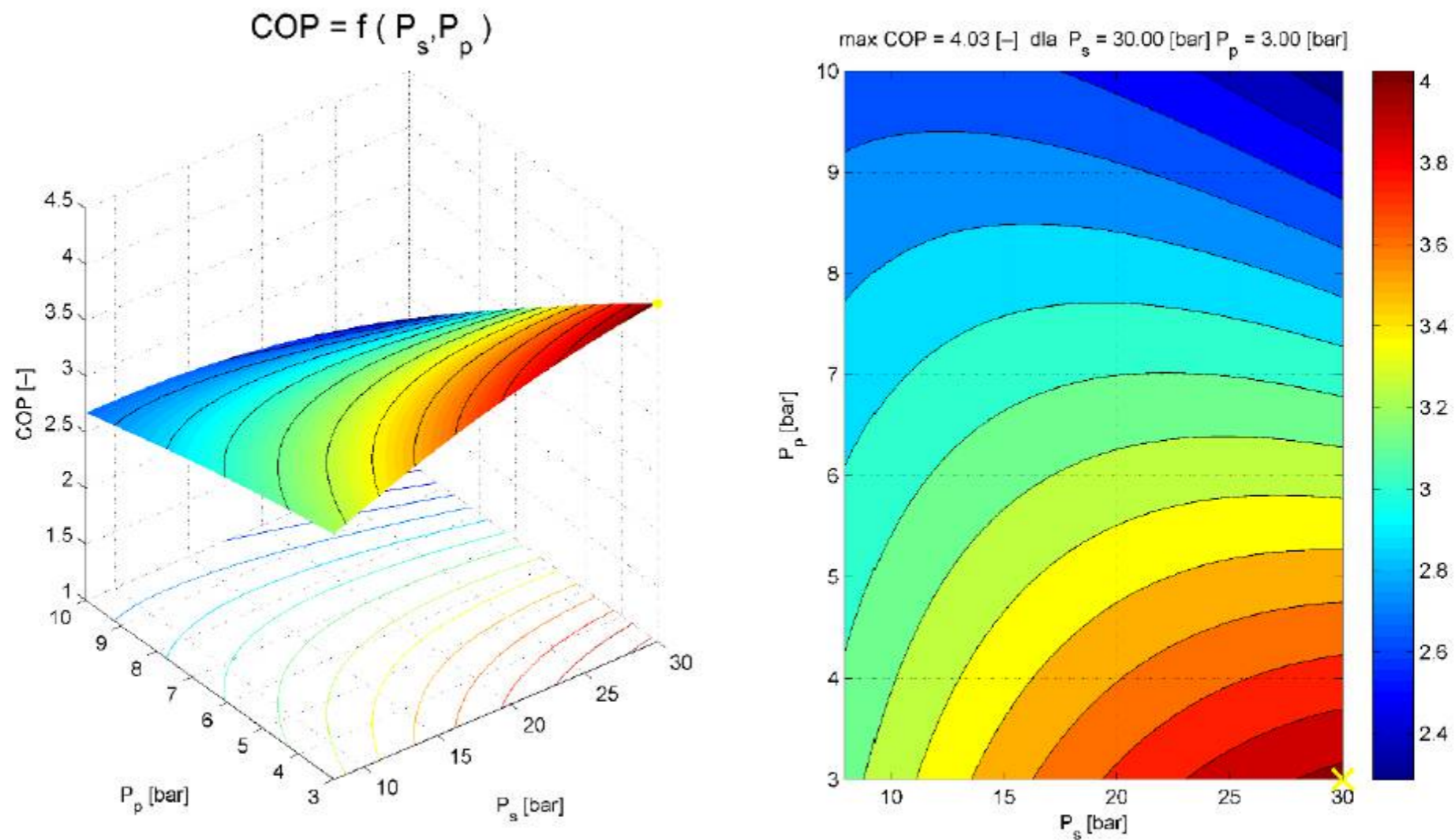
Znak „+” przy współczynnikach liniowych zmiennych X_2 , X_4 oznacza dodatni kierunek oddziaływania czynnika badanego na parametr wyjściowy optymalizowany Y_1 ($X_2 = +0,042$, $X_4 = +0,010$, $X_5 = +0,002$), natomiast znak „-” oznacza ujemny kierunek oddziaływania czynnika badanego na parametr optymalizowany Y_1 ($X_1 = - 0,088$, $X_3 = -0,012$).

MODEL MATEMATYCZNY PROCESU, METODYKA BADAŃ, METODA PLANOWANIA DOŚWIADCZEŃ



Rys.7. Zależność współczynnika efektywności energetycznej COP (Y_1) od t_{ppt} (X_2) i od p_s (X_3)

MODEL MATEMATYCZNY PROCESU, METODYKA BADAŃ, METODA PLANOWANIA DOŚWIADCZEŃ



Rys.9. Zależność współczynnika efektywności energetycznej COP (Y_1) od p_s (X_3) i od p_p (X_4)

MODEL MATEMATYCZNY PROCESU, METODYKA BADAŃ, METODA PLANOWANIA DOŚWIADCZEŃ

- ✓ Optymalizacja jednokryterialna:

$$Y_1 = f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) \rightarrow \max \quad (10)$$

Dla tak sformułowanego zadania optymalizacyjnego - maksymalizacja wartości współczynnika efektywności energetycznej sprężarkowej powietrznej pompy ciepła - wyniki podano w tabeli 5. poniżej.

Tabela 5. Wynik optymalizacji jednokryterialnej

L. p.	Czynnik badany X_i	Wartości kodowana	Wartości rzeczywista	Jednostka
1.	t_{pps}	- 2	35	[°C]
2.	t_{ppt}	- 2	- 10	[°C]
3.	p_s	+ 2	30	[bar]
4.	p_p	- 2	3	[bar]
5.	\dot{V}_{pp}	+2	5500	[m ³ /h]
	$COP_{(max)}$	-	4,03	[-]

Wniosek: maksymalną wartość współczynnika efektywności energetycznej powietrznej pompy ciepła $COP = 4,03$ można uzyskać dla skrajnych wartości przyjętych czynników badanych X_i w określonych obszarach zmienności ($X_1, X_2, X_4 = -2$; $X_3, X_5 = +2$).

PODSUMOWANIE EFEKTÓW BADAŃ

Zastosowanie:

- sprężarki inwerterowej z systemem EVI,
- odpowiednich konstrukcji wymienników ciepła,
- elektronicznych zaworów rozprężnych EEV,
- dedykowanego sterowania i automatyki,

współczynnik efektywności energetycznej urządzenia z wartości COP = 3,15 przy doborze odpowiednich w/w sterowalnych parametrów pracy, pozwolił osiągnąć wartość COP = 4,03 co zwiększa efektywność energetyczną pompy ciepła o 21,84⁰%



II KONFERENCJA
„INNOWACJE W ODNAWIALNYCH ŹRÓDŁACH ENERGII”
30-31 MARCA 2023, AGH KRAKÓW

INNOWACYJNE TECHNOLOGIE
WYKORZYSTYWANE W POMPACH CIEPŁA



dr inż.
Krzysztof Szczotka

Katedra Systemów Energetycznych
i Urzędzeń Ochrony Środowiska
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

Akademia Górniczo-Hutnicza
im. St. Staszica w Krakowie

30-059 Kraków, Al. A. Mickiewicza 30/B3/206

tel.: +48 604 968 380

e-mail: szczotka@agh.edu.pl

www.agh.edu.pl

