


**Laboratorium Ogrzewnictwa Wentylacji Klimatyzacji i Chłodnictwa**  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Krakowskiej



## **Jesienne Warsztaty PZITS**

### **24.11.2023**


*Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków*

Dr inż. Kazimierz Wojtas

K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

1

1



*Załączona prezentacja powstała na bazie materiałów i programów udostępnionych przez:*

- *Polską Organizację Rozwoju Technologii Pomp Ciepła (PORTPC)*
- *firmę Vaillant*
- *firmę NIBE*

*oraz wykorzystano w niej dane techniczne urządzeń innych producentów dostępne w serwisach internetowych*

K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

2

2



# POMPA CIEPŁA

## Co należy wiedzieć?

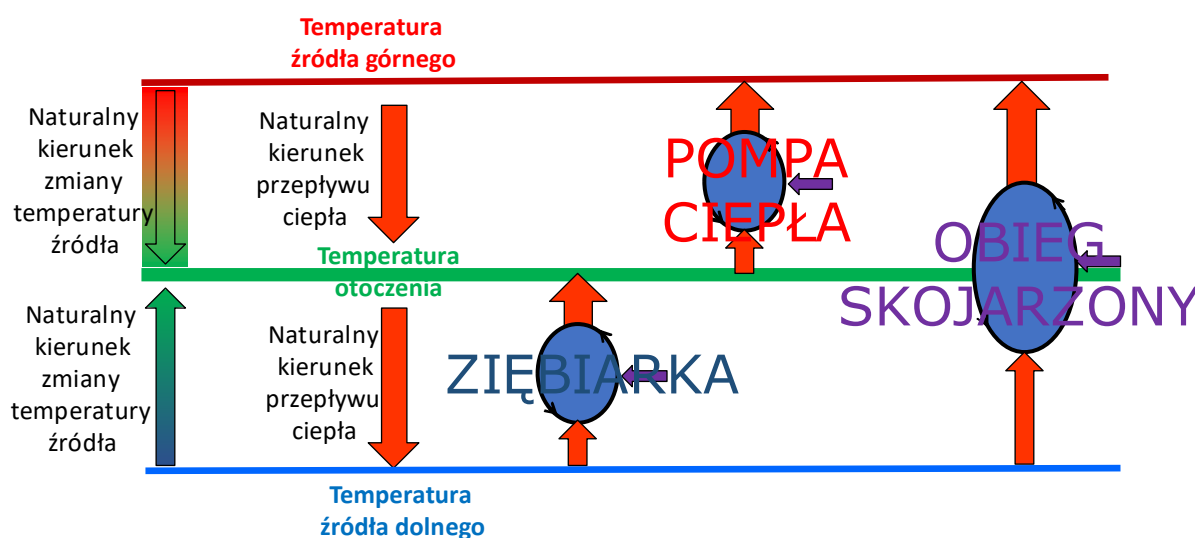
K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

3

3



## „Naturalne i nienaturalne przepływy ciepła” Obiegi lewobieżne



K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

4

4

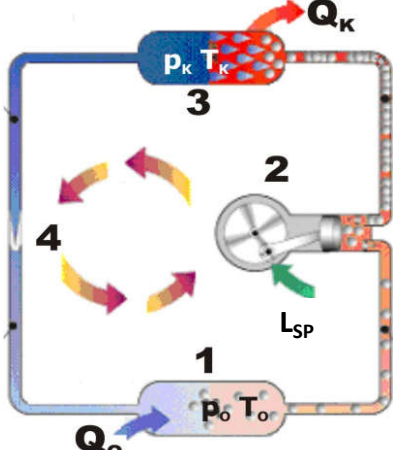
**Lewobieżny obieg ziębniczy (Lindego)**

**Zasada działania sprężarkowego urządzenia chłodniczego / pompy ciepła w oparciu o obieg Lindego**

1. Parowanie
2. Sprężanie
3. Skraplanie
4. Rozprężanie

$$Q_o + L_{SP} = Q_k$$

**Bilans ENERGII w urządzeniu sprężarkowym realizującym lewobieżny obieg termodynamiczny (ziębniarka / pompa ciepła)**

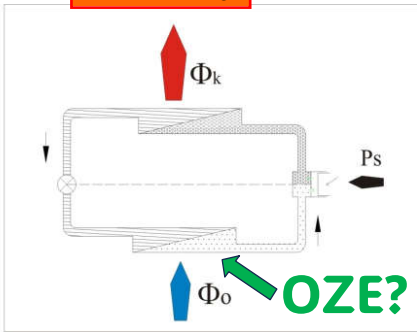


K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

5

**Ziębniarka/pompa ciepła – bilans energii**

**$COP = \frac{\Phi_k}{P_s}$**



**$\frac{\Phi_k}{P_s} = \frac{\Phi_o}{P_s} + \frac{P_s}{P_s} \rightarrow COP = EER + 1$**

**Bilans strumieni ciepła w sprężarkowej pompie ciepła**

Wskaźnik efektywności energetycznej COP w odniesieniu do strumienia energii pierwotnej (wyrażony „współczynnikiem nakładu”  $w_{el}$ )

$$PER = \frac{\Phi_{PC}}{E_p} = \frac{\Phi_{PC}}{P_{el} \cdot w_{el}} = \frac{COP}{w_{el}}$$

K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

6



## Sprężarka sprężająca strumień pary przegrzanej czynnikaziębniczego to „serce pompy ciepła”



**Chwilowa wydajność grzewcza sprężarkowej pompy ciepła jest funkcją:**

- 1) Strumienia objętościowego czynnika przetłaczanego przez sprężarkę ( $V_s$ ) czyli wielkości sprężarki i jej prędkości obrotowej)
- 2) Gęstości czynnika na ssaniu sprężarki ( $\rho_{ss}$ ) zależnej od rodzaju czynnika oraz ciśnienia czynnika na ssaniu (jako funkcji temperatury parowania)
- 3) Rodzaju czynnikaziębniczego (obiegowego, chłodniczego) w szczególności utajonego ciepła skraplania ( $q_k$ )

$$\Phi_o = \dot{m}_z \cdot q_o = \dot{V}_s \cdot \rho_{ss} \cdot q_o$$

gdzie:

$\dot{m}_z$  - strumień masowy czynnikaziębniczego, [kg/s]

$\dot{V}_s$  - wydajnośćskokowa sprężarki [m<sup>3</sup>/s]

$\rho_{ss}$  - gęstość pary czynnikaziębniczego na ssaniu sprężarki [kg/m<sup>3</sup>]

$q_o$  - przyrost entalpii właściwej czynnikaziębniczego parującego w parowaczu [kJ/kg]

K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

7

7



## Ziębiarka/pompa ciepła – podstawowe cechy urządzenia



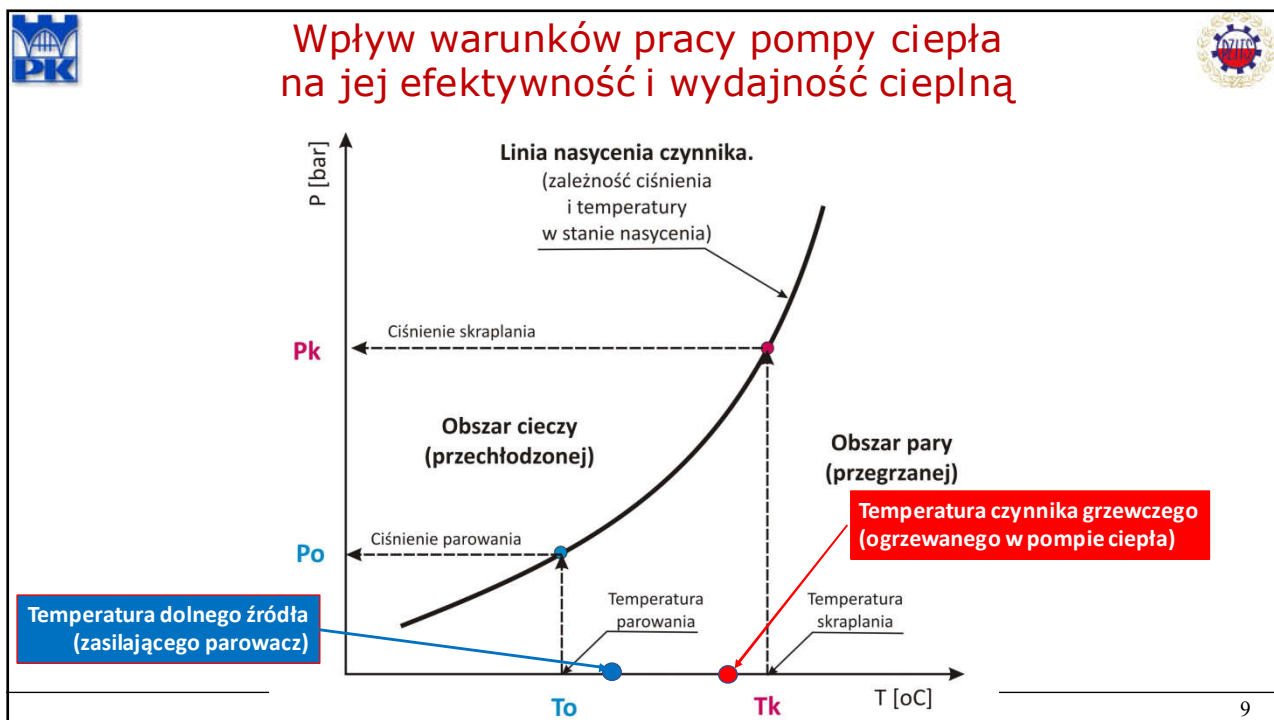
### Podstawowe zasady pracy sprężarkowych agregatówziębnicznych i pomp ciepła

1. Im wyższa temperatura odparowania czynnika obiegowego tym większa efektywność energetyczna oraz wydajność cieplna (chłodnicza/grzewcza) urządzenia sprężarkowego
2. Im niższa temperatura skraplania czynnika obiegowego tym większa efektywność energetyczna oraz wydajność cieplna (chłodnicza/grzewcza) urządzenia sprężarkowego

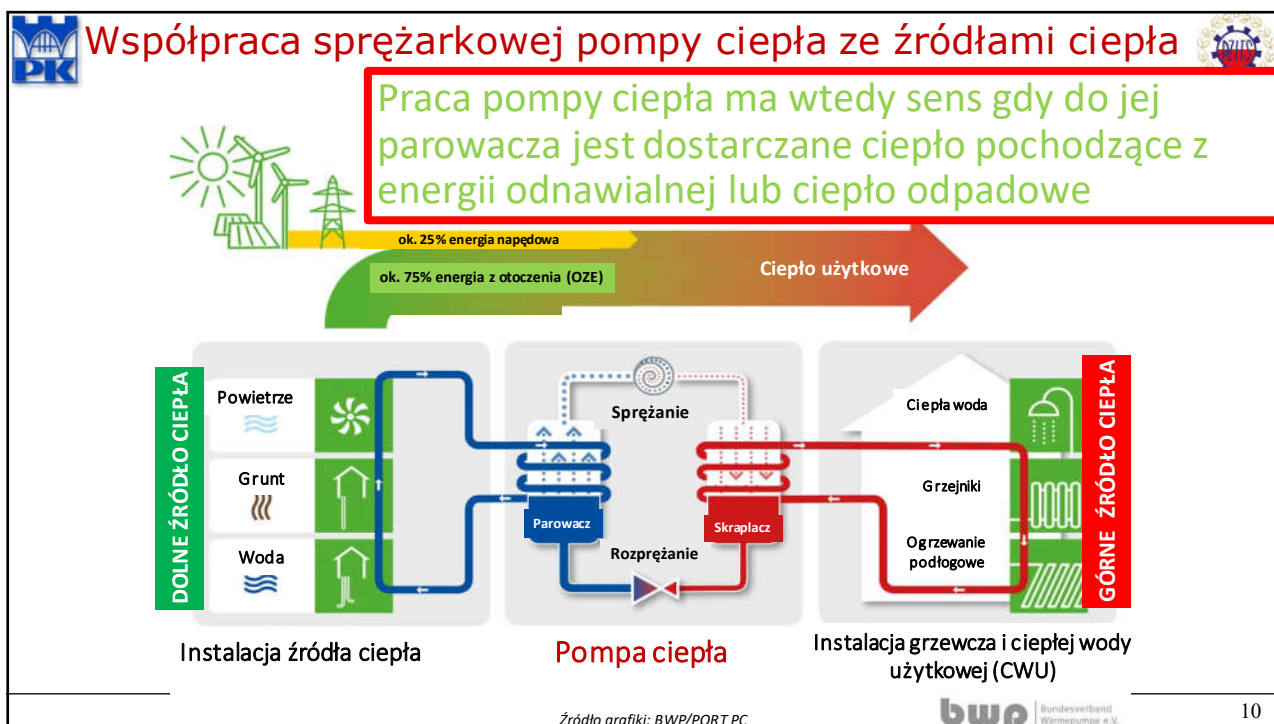
K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

8

8



9



10

System zasilania w ciepło		Typ pompy ciepła	System odbioru ciepła z pompy ciepła	
Dolne źródło ciepła	Czynnik pośredniczący		Czynnik pośredniczący	Górne źródło ciepła
Powietrze wywiewane	powietrze	„A-A”	powietrze	powietrze wewnętrzne
Powietrze zewnętrzne		„A-W”	Woda	powietrze wewnętrzne woda grzewcza
Woda powierzchniowa	woda	„W-W”	Woda	powietrze wewnętrzne woda grzewcza
Woda głębinowa		„W-A”	powietrze	powietrze wewnętrzne
Grunt	roztwór glikolu, solanka, inna ciecz „nie zamarzająca”	„B-A”	powietrze	powietrze wewnętrzne
		„B-W”	woda	powietrze wewnętrzne woda grzewcza
	<del>„B-W”</del>	woda	powietrze wewnętrzne woda grzewcza	
	<del>„B-R”</del>	czynnik żiębniczy	powietrze wewnętrzne	

OBJAŚNIENIA: B – ciecz (inna niż woda), W – woda, A – powietrze, R – czynnik żiębniczy

11

### Wpływ warunków pracy pompy ciepła na jej efektywność i wydajność cieplną (na przykładzie parowacza)

**PRODUCENT**

Strumień żiębnika i wydajność sprężarki:

$$\Phi_o^z = \dot{m}_z \cdot (h_{z1} - h_{z4}) = \dot{m}_z \cdot q_o = \dot{V}_{SK} \cdot \rho_{z1} \cdot q_o$$

Strumień ciepła pobierany od powietrza (wydajność chłodnicza):

$$\Phi_o^{POW} = \dot{V}_p \cdot \rho_p \cdot (h_{p1} - h_{p2})$$

Strumień ciepła przekazywany w wymienniku ciepła (parowacz):

$$\Phi_o^{WC} = A_{wc} \cdot U_{wc} \cdot (t_{ps} - t_o)$$

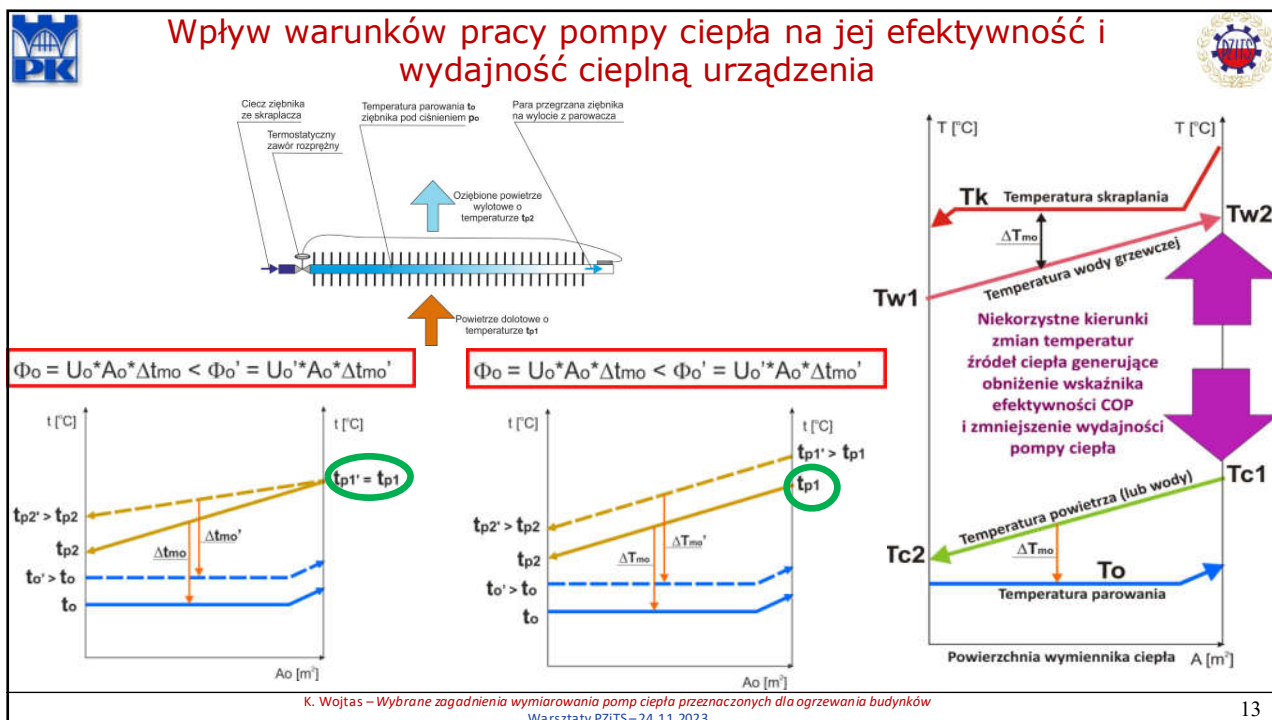
**WARUNKI EKSPLOATACJI**

**W parowaczu (jak i w skraplaczu) także musi dochodzić do zrównoważenia trzech strumieni ciepła:**

$$\Phi_o^z = \Phi_o^{POW} = \Phi_o^{WC}$$

K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

12



13

### Powietrze jako dolne źródło ciepła

**Zalety:**

- Powszechna dostępność
- Nieskończone zasoby

**Wady:**

- Bardzo niskie ciepło właściwe (wymagany duży strumień powietrza przepływającego przez wymiennik)
- Niski współczynnik wnikania ciepła (duża powierzchnia wymienników)
- Wykraplanie wilgoci i jej zamarzanie na wymienniku

• **GENERUJE NISKIE TEMPERATURY PAROWANIA W OKRESACH ZIMOWYCH (im więcej ciepła potrzebuje budynek tym niższa wydajność i efektywność pompy ciepła)**

K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

14

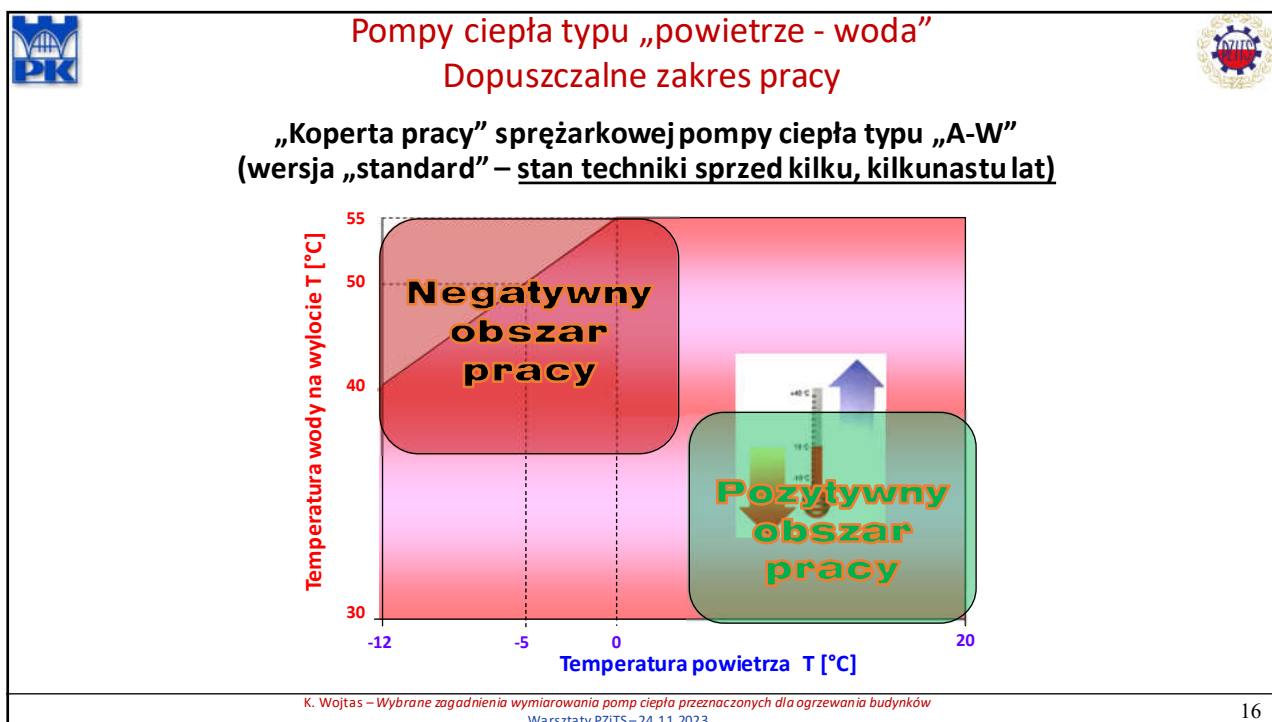


Zastosowanie	Temperatury powietrza wlotowego do parowacza		Temperatury wody podgrzewanej w skraplaczu		Oznaczenie
	Termometr suchy [°C]	Termometr mokry [°C]	Wlot [°C]	Wylot [°C]	
Niskotemperaturowa PC, klimat południowej Europy	7	6	40	45	A7(6)/W45
Niskotemperaturowa PC, klimat Europejski umiarkowany	2	1	40	45	A2(1)/W45
Niskotemperaturowa PC, klimat Europy północno-środkowej	-7	-8	40	45	A-7(-8)/W45
Ogrzewanie podłogowe, klimat południowej Europy	7	6	30	35	A7(6)/W35
Ogrzewanie podłogowe, klimat Europy północno-środkowej	-7	-8	30	35	A-7(-8)/W35
Niskotemperaturowa PC, powietrze wywiewane	20	12	40	45	A20(12)/W45
Standardowa PC, klimat południowej Europy	7	6	47	55	A7(6)/W55
Standardowa PC, klimat Europy północno-środkowej	-7	-8	47	55	A-7(-8)/W55

K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

15

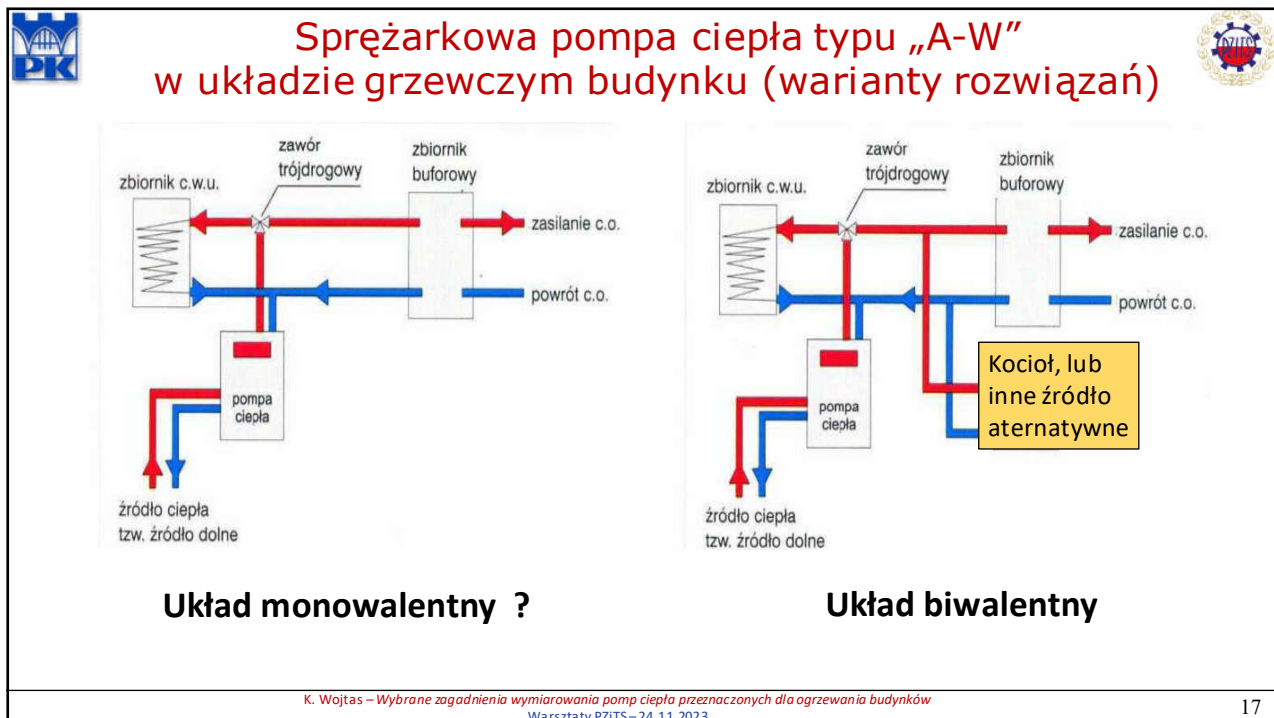
15



16

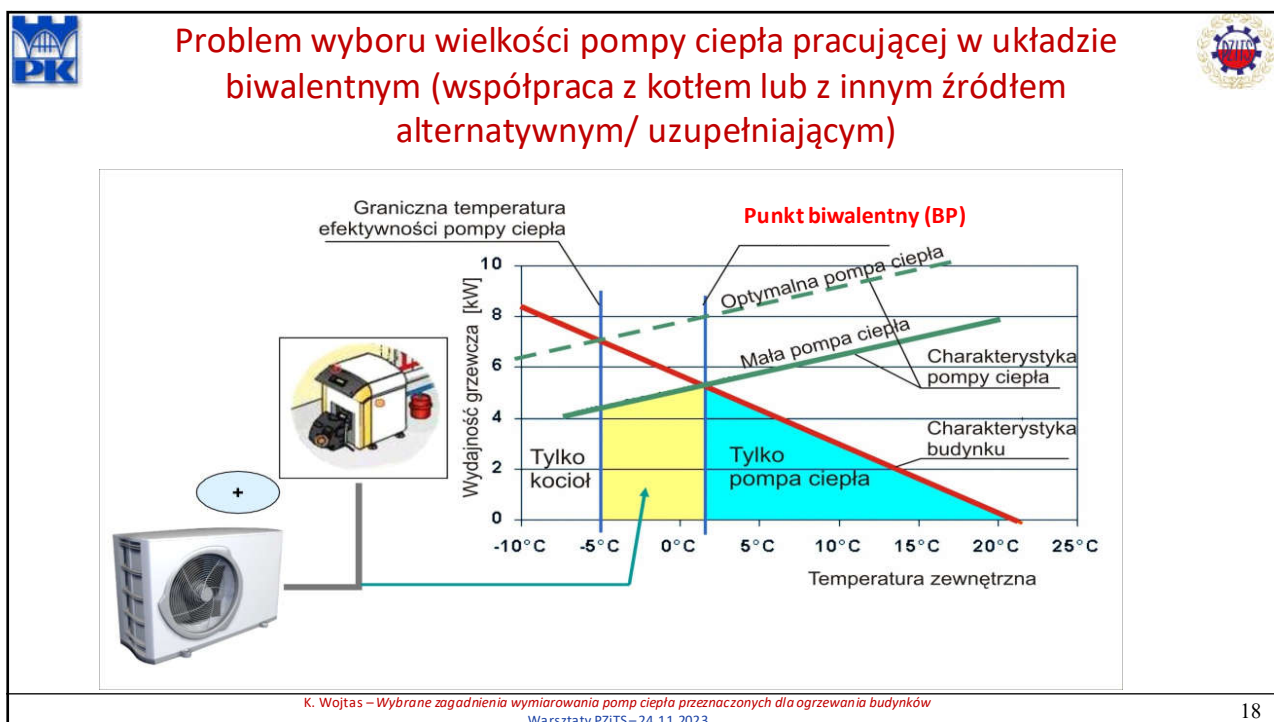
16





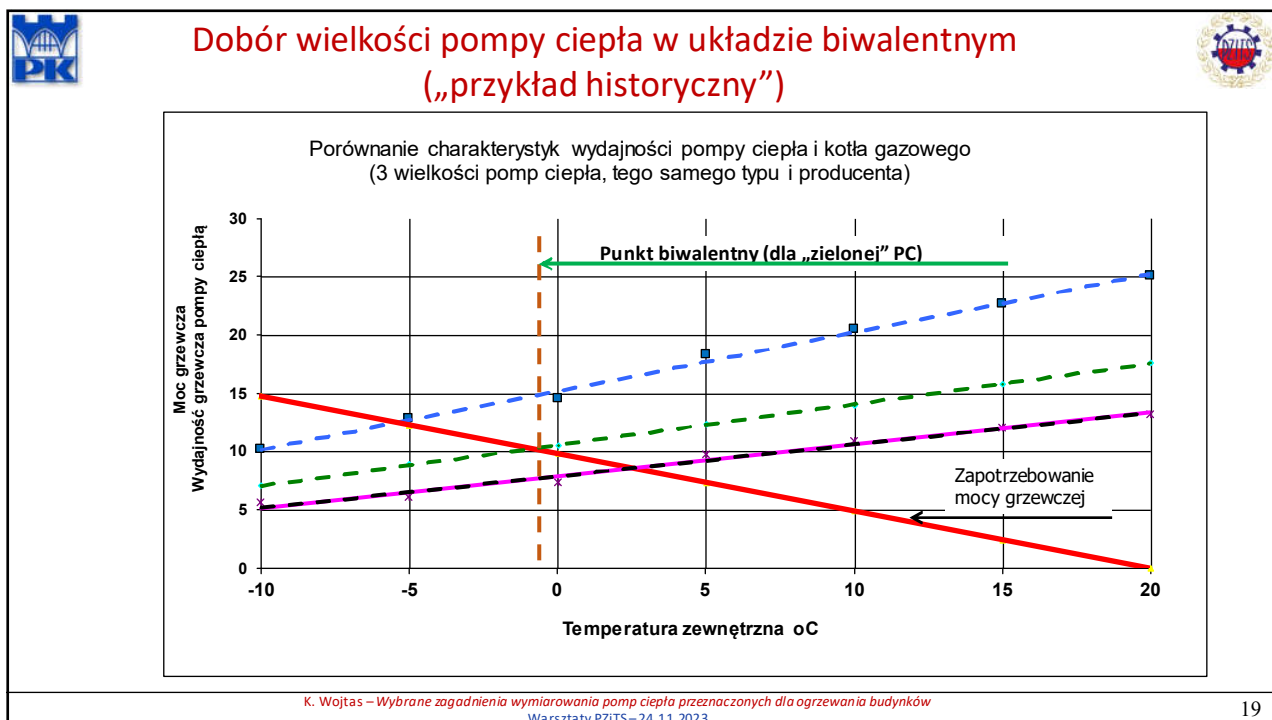
17

17



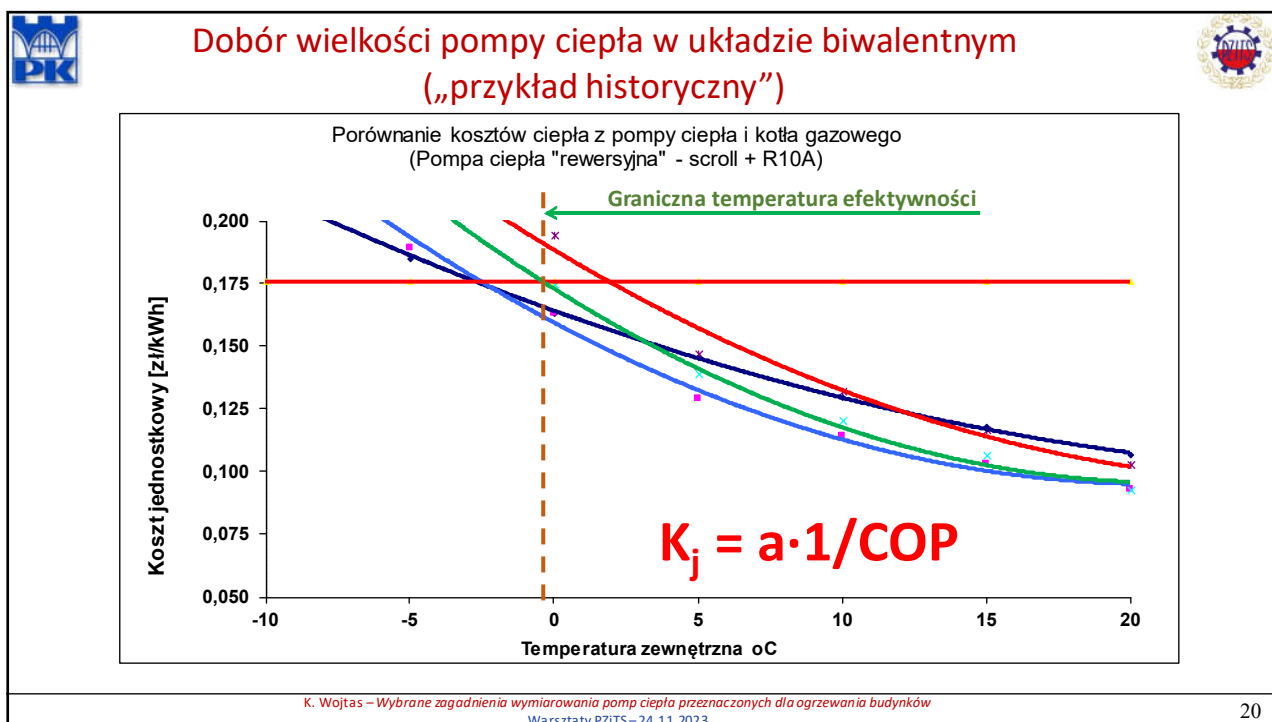
18

18



19

19



20

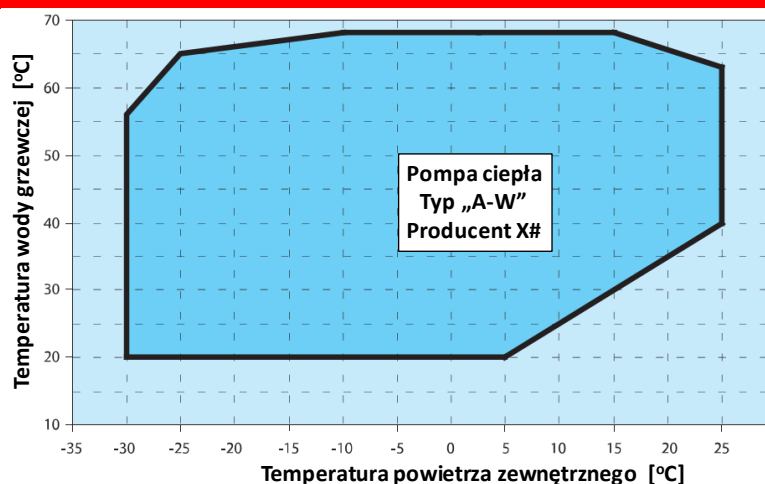
20



## Nowe technologie w produkcji sprężarek „scroll HT”



Znaczne rozszerzenie zakresu temperatur pracy  
i znaczący wzrost efektywności!!



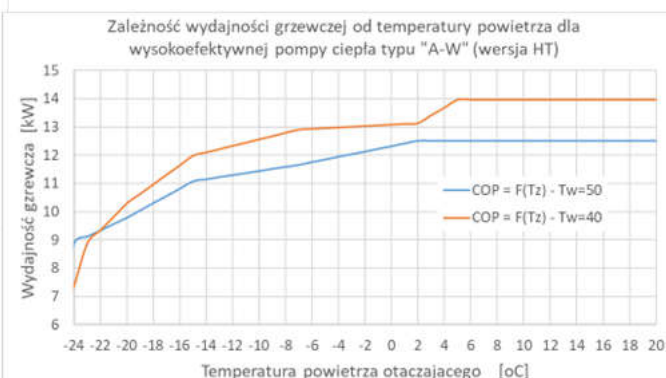
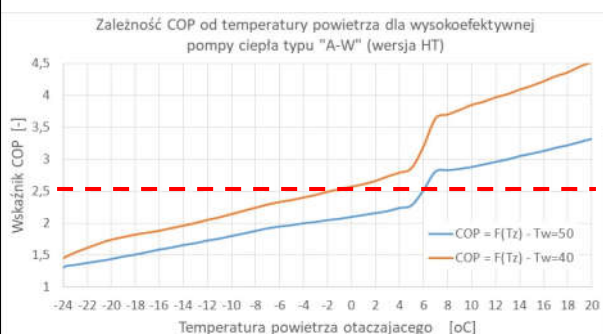
K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

21

21



## Charakterystyka energetyczna Sprężarkowej Pompy Ciepła o współczesnych rozwiązaniach konstrukcyjnych

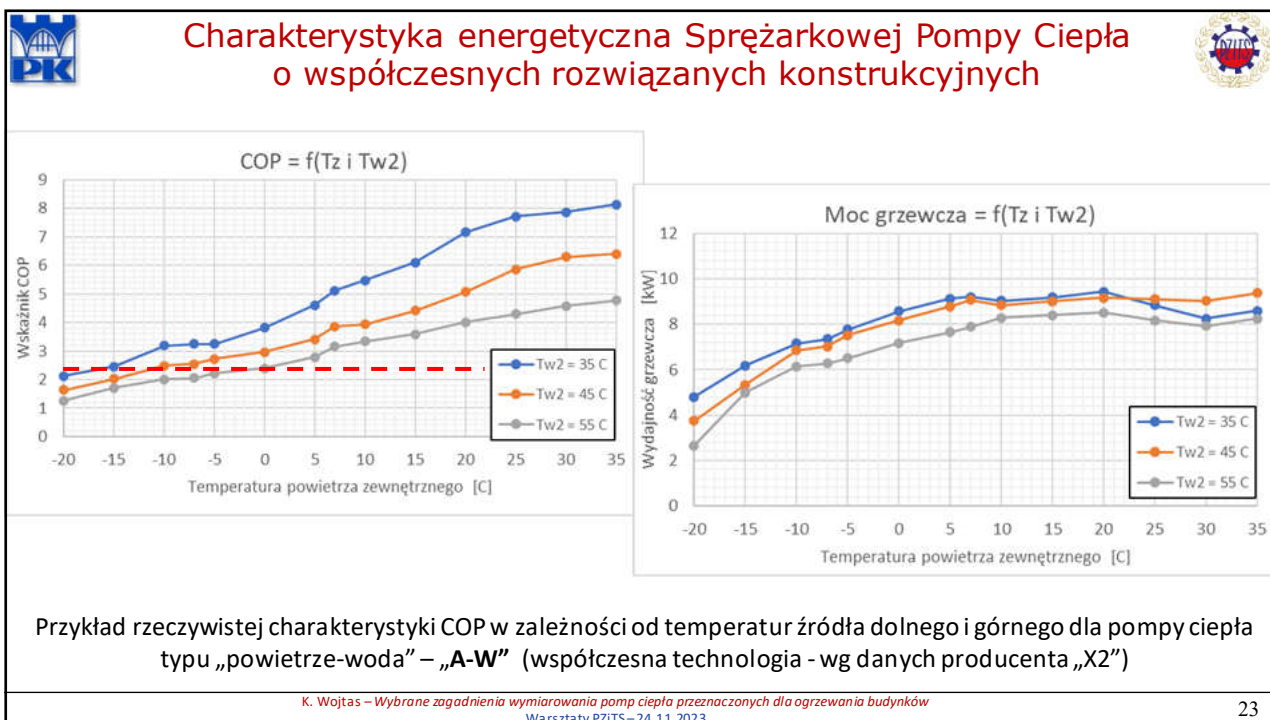


Przykład rzeczywistej charakterystyki COP w zależności od temperatur źródła dolnego i górnego dla pompy ciepła typu „powietrze-woda” – „A-W” (współczesna technologia - wg danych producenta „X1”)

K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

22

22



23

**ALGORYTM  
PROCEDURY DOBORU  
POMPY CIEPŁA  
typu POWIETRZE - WODA**

K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

24



## Ważne zasady

### przy doborze pomp ciepła typu „powietrze-woda” (A-W)



- pompy powietrzne nie zapewniają 100 % zapotrzebowania na moc,
- spadek temperatury powietrza powoduje spadek mocy grzewczej pompy,
- bardzo niskie temperatury otoczenia mogą spowodować całkowite wyłączenie,
- konieczność zastosowania drugiego (szczytowego) źródła ciepła,
- konieczność określenia punktu biwalentnego.



**Punkt biwalentny** (nazywany również: *temperaturą biwalentną*, *temperaturą dwuwartościową*) to graniczna (najniższa temperatura otoczenia), do której pompa ciepła jest w stanie samodzielnie w całości pokryć zapotrzebowanie ciepła bez użycia dodatkowego źródła energii. Poniżej punktu biwalentnego uruchamia się dodatkowe „szczytowe” źródło ciepła.

K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

25

25



## Zalecany algorytm wymiarowania PC typu A-W



1. Poznanie charakterystyki cieplnej budynku (zależność zapotrzebowania mocy grzewczej jako funkcji temperatury zewnętrznej)
  - a) Określenie strefy klimatycznej
  - b) Obliczeniowe zapotrzebowanie mocy grzewczej
  - c) Obliczeniowe zapotrzebowanie mocy grzewczej na potrzeby CWU
2. Wyznaczenie temperatury biwalentnej (punktu biwalentnego)
3. Określenie parametrów wody zasilającej (system ogrzewania, cechy budynku)
4. Wybór wariantu pompy ciepła (typoszeregu, producenta, ...)
5. Wybór rodzaju czynnika żiębniczego (obiegowego)
6. Wybór wielkości PC (definicja „rzeczywistego” punktu biwalentnego – konieczność znajomości charakterystyki mocy wybranej PC)
7. Wybór schematu hydraulicznego oraz wyposażenia dodatkowego (bufor, zasobnik CWU)

K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

26

26



## 1. Charakterystyka cieplna budynku

### a) Zapotrzebowanie mocy grzewczej na pokrycie strat i wentylację (wg PN-12831)



Strefa klimatyczna (wg PN-12831)		I	II	III	IV	V
Obliczeniowa (projektowa) temperatura powietrza zewnętrznego	°C	-16	-18	-20	-22	-24

- Obliczeniowe (projektowe) zapotrzebowanie mocy cieplnej (nazywane potocznie „obciążeniem cieplnym” jest sumą obliczeniowego zapotrzebowania na pokrycie strat przez przenikanie i wentylację (CO) oraz zapotrzebowania mocy na podgrzewanie ciepłej wody użytkowej (CWU)
- Zapotrzebowanie mocy na CO zmienia się liniowo wraz ze zmianami temperatury powietrza zewnętrznego
- Zapotrzebowanie mocy na CWU przyjmuje stałą wartość w ciągu całego roku

$$\Phi_H = \Phi_T + \Phi_V + \Phi_{CWU} = (H_T + H_V) \cdot (T_{w,obl} - T_{z,obl}) + \Phi_{CWU} \quad [W]$$



Strefy klimatyczne na obszarze Polski (wg PN-12831: 2006), [2])

K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

27

27



## 1. Charakterystyka cieplna budynku

### b) Zapotrzebowanie mocy grzewczej na podgrzanie CWU



Zapotrzebowanie na obliczeniową moc grzewczą na potrzeby CWU ( $\Phi_{CWU}$ ) zależy głównie od:

- wielkości dobowego rozbioru samej wody,
- przyjętych wskaźników dobowego zapotrzebowania CWU (w zależności od rodzaju i przeznaczenia budynku, najczęściej odniesione albo do ilości osób – użytkowników, albo do powierzchni użytkowej wyrażanej w m<sup>2</sup>)
- wielkości zasobnika CWU (w obliczeniach uwzględnia się jego wpływ za pomocą „współczynnika akumulacyjności”  $\Phi$  wyrażanego jako stosunek pojemności zasobnika do dobowego rozbioru wody)

**W przypadku dużych obiektów (budynki wielorodzinne, użyteczności publicznej, itp.) należy uwzględnić również:**

- straty ciepła (zarówno zasobnika jak i instalacji cyrkulacyjnej),
- profile dobowe zapotrzebowania CWU

K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

28

28





## 1. Charakterystyka cieplna budynku

### b) Zapotrzebowanie mocy grzewczej na podgrzanie CWU



Przykład obliczeń zapotrzebowanie na obliczeniową moc grzewczą na potrzeby CWU ( $\Phi_{CWU}$ ) dla domu jednorodzinnego, który zamieszkuje 4 osoby przeprowadzonych zgodnie z wytycznymi polskich norm:

Zapotrzebowanie na moc na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej; PN-92/B-01706 Instalacje wodociągowe. Wymagania w projektowaniu			
Jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody: „ $V_{CW}$ ”		dm <sup>3</sup> /(os·d)	110
Ilość użytkowników: „ $L$ ”		osób	4
Czas użytkowania instalacji ciepłej wody: $\tau$		h	18
Średnie dobowe zapotrzebowanie na c.w.u. w budynku	$q_{d,śr} = L \cdot V_{CW} / 1000$	m <sup>3</sup> /doba	0,44
Średnie godzinowe zapotrzebowanie na c.w.u. w budynku:	$q_{h,śr} = L \cdot V_{CW} / (18 \cdot 1000)$	m <sup>3</sup> /h	0,024
Współczynnik godzinowej nierównomierności rozbioru c.w.u.	$N_h = 9,32 \cdot L^{-0,244}$	---	6,6
maksymalne godzinowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę	$q_{h,max} = q_{h,śr} \cdot N_h$	m <sup>3</sup> /h	0,16
Zapotrzebowanie na ciepło na ogrzanie 1 m <sup>3</sup> wody	$Q_{CWjed} = c_w \cdot \rho_w \cdot (\theta_{CW} - \theta_0) / 10^6$	GJ/m <sup>3</sup>	28,166
Współczynnik akumulacyjności (udział zasobnika w pokryciu mocy grzewczej): „ $\phi$ ”		-	0,5
Współczynnik redukcji mocy	$\gamma = 1 / ((N_h - 1) \cdot \phi + 1)$	-	0,3
Temperatura ciepłej wody na potrzeby mocy: $t_z$		°C	60,0
Temperatura zimnej wody na potrzeby mocy: $t_{CWU}$		°C	5,0
Średnia moc cieplna (dobowa)	$\Phi_{śr,h} = q_{h,śr} \cdot c_w \cdot \rho \cdot (t_{CWU} - t_z) / 3,6$	kW	1,56
Moc cieplna wymiennika wg PN-92/B-01706	$\Phi_{max,h} = q_{h,max} \cdot c_w \cdot \rho \cdot (t_{CWU} - t_z) / 3,6$	kW	10,42
<b>Zredukowana moc na potrzeby c.w.u.</b>	<b><math>\Phi_{CWU} = \gamma \cdot \Phi_{max,h}</math></b>	<b>kW</b>	<b>2,73</b>

29



## 1. Charakterystyka cieplna budynku

### b) Zapotrzebowanie mocy grzewczej na podgrzanie CWU



Wskaźniki zapotrzebowania dobowego ciepłej wody użytkowej (CWU) odniesione do powierzchni użytkowej w zależności od przeznaczenia budynku (zgodne z [5])

Rodzaj budynku		$k_R$	$V_{wi}$ [dm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> doba)]
Mieszkalny	wielorodzinny	0,90	2,00 (ryczałt) 1,60 (wg zużycia)
	jednorodzinny	0,90	1,40
Użyteczności publicznej	biurowy	0,70	0,35
	przeznaczony na potrzeby: oświaty, szkolnictwa wyższego, nauki	0,55	0,80
	przeznaczony na potrzeby opieki zdrowotnej	1,00	6,50
	przeznaczony na potrzeby gastronomii	0,80	2,50
	przeznaczony na potrzeby sportu	0,33÷0,50	0,25
	przeznaczony na potrzeby handlu, usług	0,78	0,60
Zamieszkania zbiorowego		0,60	3,75
Magazynowy		0,70	0,10
Produkcyjny		w zależności od produkcji	

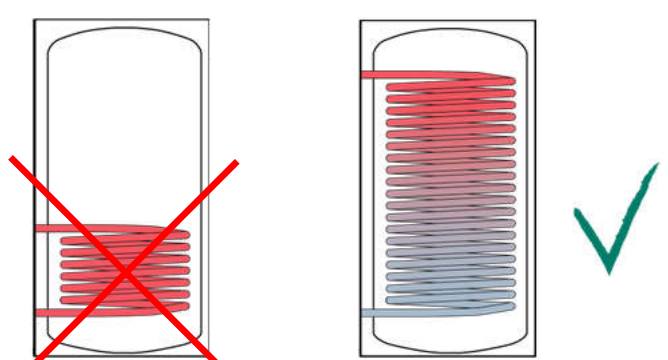
30



**1. Charakterystyka cieplna budynku**

b) Zapotrzebowanie mocy grzewczej na podgrzanie CWU

**UWAGA:**  
Zasobnik powinien posiadać odpowiednio dużą powierzchnię wymiennika ciepła:  $> 0,2 - 0,25 \text{ m}^2 / \text{kW}$  mocy pompy ciepła



K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

31

**1. Charakterystyka cieplna budynku**  
Obliczenia uproszczone

- W przypadku braku projektu budynku i dokładnych wyliczeń obliczeniowego (projektowego) zapotrzebowania mocy grzewczej przez budynek, dla budynków mieszkalnych można **oszacować** wartość  $\Phi_{CO}$  postępując się wskaźnikami obciążenia cieplnego na  $\text{m}^2$  powierzchni użytkowej budynku (zamieszczonymi w tabeli, wg materiałów PORTPC):

Strefa klimatyczna (wg PN 12831):	I	II	III	IV	IV
	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>
Budynek (przed 2000 rokiem)	110	115	120	125	130
Budynek (2000-2017)	50	55	60	65	70
Budynek (2017-2021) z rekuperacją	35	37,5	40	42,5	45
Budynek nowy (po 2021) z rekuperacją	25	27,5	30	32,5	35

$$\Phi_{CO,obl} = q_{CO,m2} \cdot A_{Uz} \quad [W]$$

- Na podobnej zasadzie można **oszacować** wartość zapotrzebowania mocy grzewczej na potrzeby CWU  $\Phi_{CWU}$  w zależności o ilości mieszkańców (przy założeniu, że zasobnik CWU ma pojemność połowy dobowego zużycia ciepłej wody użytkowej), zgodnie z tabelą (*szacunki autora*):

Ilość mieszkańców	Moc grzewcza dla CWU [kW]
2	1,4
4	2,7
6	4,0

K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

32



## 1. Charakterystyka cieplna budynku



### c) Częściowe zapotrzebowanie mocy grzewczej budynku

- Dobór pompy ciepła typu „powietrze – woda” w przeciwieństwie do innych źródeł ciepła w budynku, oprócz obliczeniowego obciążenia cieplnego wymaga wyznaczenia charakterystyki częściowego zapotrzebowania mocy grzewczej przy innych temperaturach powietrza zewnętrznego niż wartości obliczeniowe (temperatura „punktu biwalentnego”).
- Mimo, iż obliczeniowe zapotrzebowanie mocy jest wyznaczone przy założonej temperaturze w pomieszczeniu na poziomie +20 °C, to jednak w praktyce przyjmuje się, że wraz ze wzrostem temperatury zewnętrznej udział „naturalnych zysków ciepła” (np. promieniowanie słoneczne) w pokryciu zapotrzebowania na moc grzewczą rośnie. W związku z tym „źródło ciepła” przestaje grać już przy temperaturze zewnętrznej około +15 °C (norma [2], sugeruje przyjmowanie tej wartości na poziomie +16 °C)
- Z uwagi na powyższe charakterystyka częściowego obciążenia cieplnego budynku jest (z wyłączeniem  $\Phi_{CWU}$ ) jest funkcją liniową, którą można przedstawić zależnością:

$$\Phi_{CO,i} = \Phi_{CO,obl} \cdot \frac{16 - T_{z,i}}{16 - T_{z,obl}} \quad [W]$$

K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

33

33

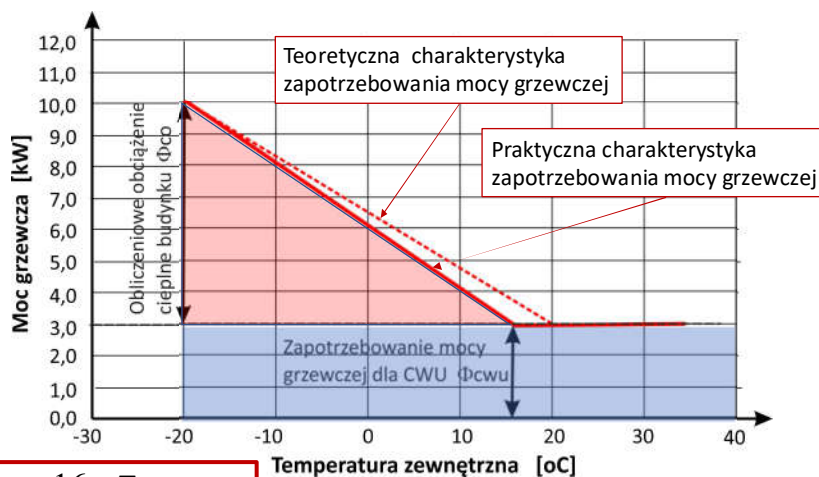


## 1. Charakterystyka cieplna budynku



### d) Częściowe zapotrzebowanie mocy grzewczej budynku

- Ponieważ obliczeniowa moc grzewcza na potrzeby CWU ( $\Phi_{CWU}$ ) jest niezmienna w ciągu całego roku i nie zależy od temperatury zewnętrznej, sumaryczne częściowe zapotrzebowanie mocy grzewczej źródła wynosi:

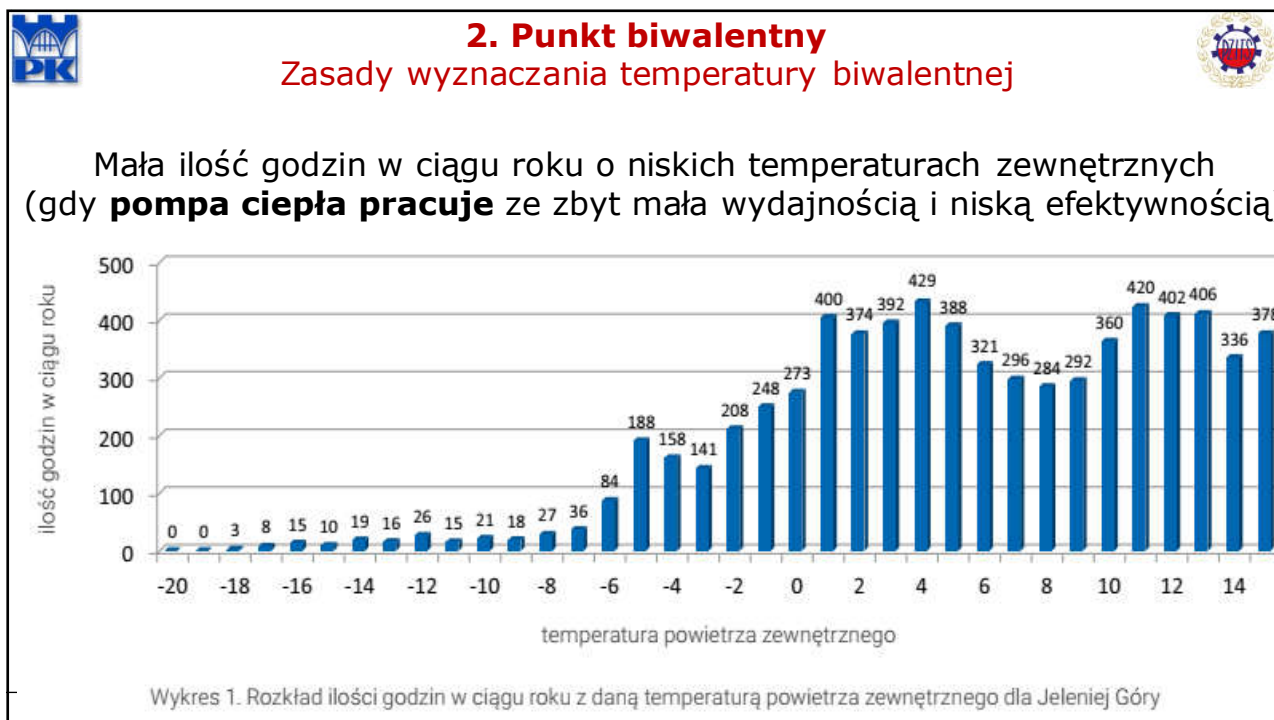


$$\Phi_{H,i} = \Phi_{CWU} + \Phi_{CO,i} = \Phi_{CWU} + \Phi_{CO,obl} \cdot \frac{16 - T_{z,i}}{16 - T_{z,obl}} \quad [W]$$

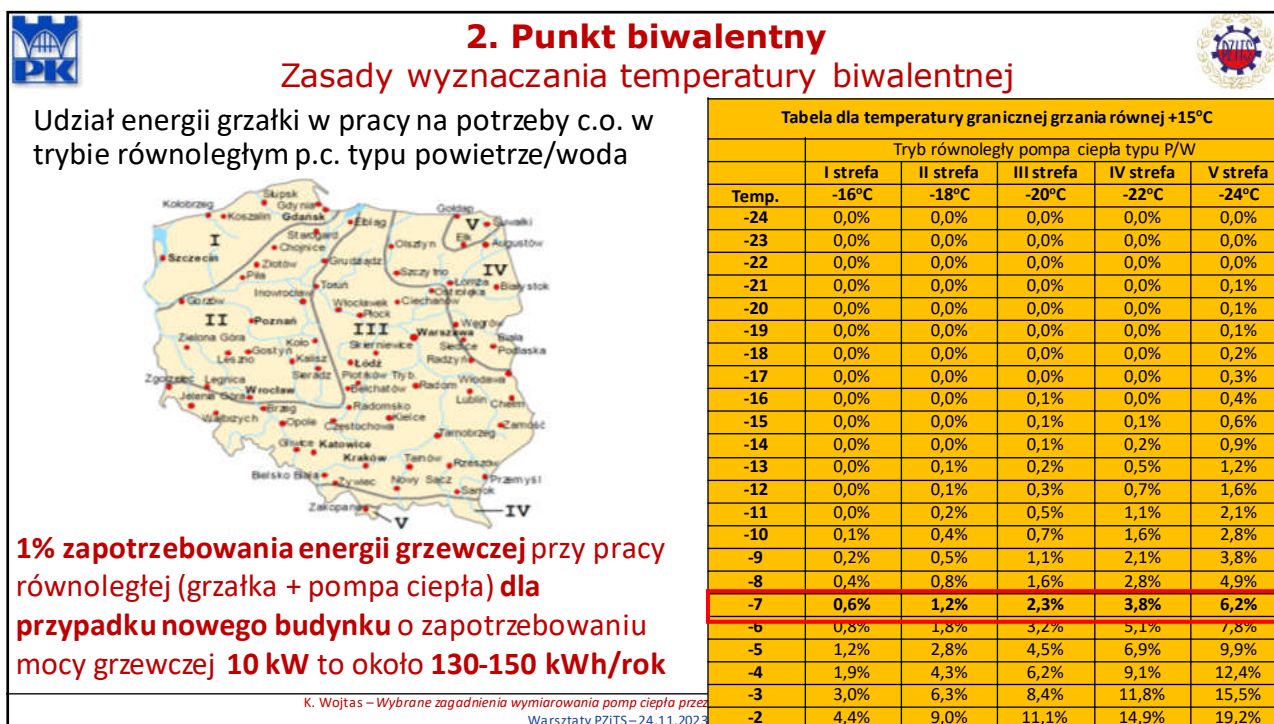
K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

34

34



35



36



## 2. Punkt biwalentny

### Zasady wyznaczania temperatury biwalentnej



#### Punkt biwalentny:

- powinien uwzględniać zarówno charakterystykę klimatu (ilości godzin występowania poszczególnych temperatur zewnętrznych) jak i przebieg charakterystyki wydajności pompy ciepła w zależności od tej temperatury
- W przypadku bardziej zaawansowanych obliczeń zaleca się uwzględnić również indywidualną charakterystykę wskaźnika COP pompy ciepła w zależności od temperatury zewnętrznej (???)
- w przypadkach „domowych pomp” ciepła zakłada się, że uzupełniającym źródłem ciepła jest grzałka elektryczna i punkt biwalentny powinien prowadzić do minimalnego zużycia „sumarycznego” energii elektrycznej

STREFA KLIMATYCZNA	Punkt biwalentny
Strefa I - 16 °C	od - 4 °C do - 7 °C
Strefa II - 18 °C	od - 5 °C do - 8 °C
Strefa III - 20 °C	od - 6 °C do - 9 °C
Strefa IV - 22 °C	od - 7 °C do - 10 °C
Strefa V - 24 °C	od - 8 °C do - 11 °C

#### Zasady ogólne wyznaczania punktu biwalentnego:

- Czas pracy grzałki (ilość godzin poniżej temperatury biwalentnej) nie powinien przekraczać około 5% sezonu grzewczego)
- moc grzewcza PC powinna zawierać się w przedziale: 70 – 90 % zapotrzebowania obliczeniowej mocy grzewczej budynku

*mp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków*  
15-24.11.2023

37

37

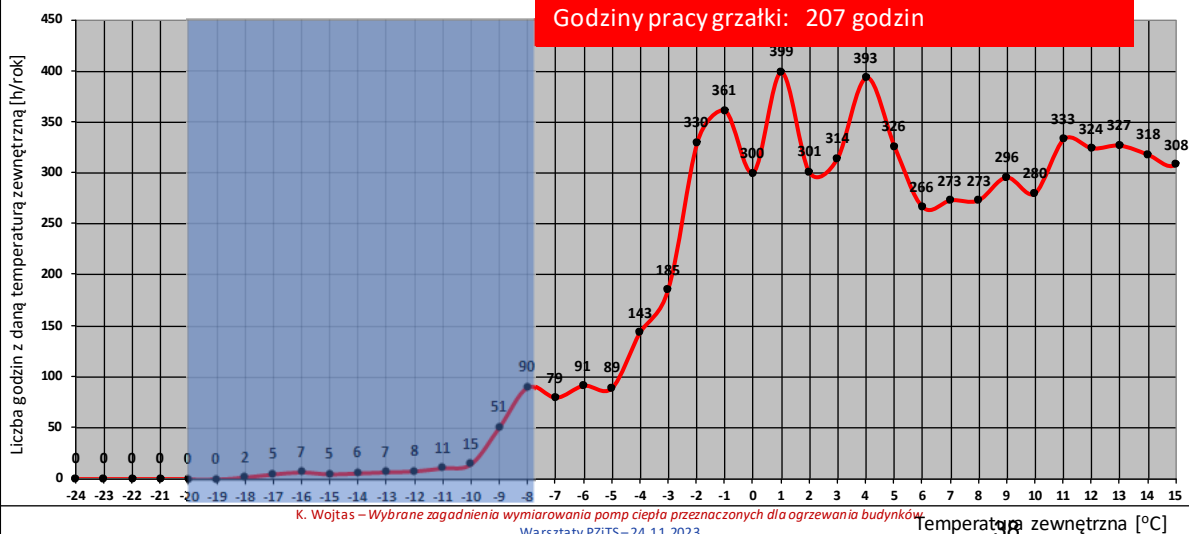


## 2. Punkt biwalentny

### Zasady wyznaczania temperatury biwalentnej (przykłady)



Stacja Katowice DOT= -20°C - III strefa klimatyczna,  
Sugerowany punkt biwalentny:  $T_{biv} = -8^{\circ}\text{C}$   
Godziny pracy grzałki: 207 godzin

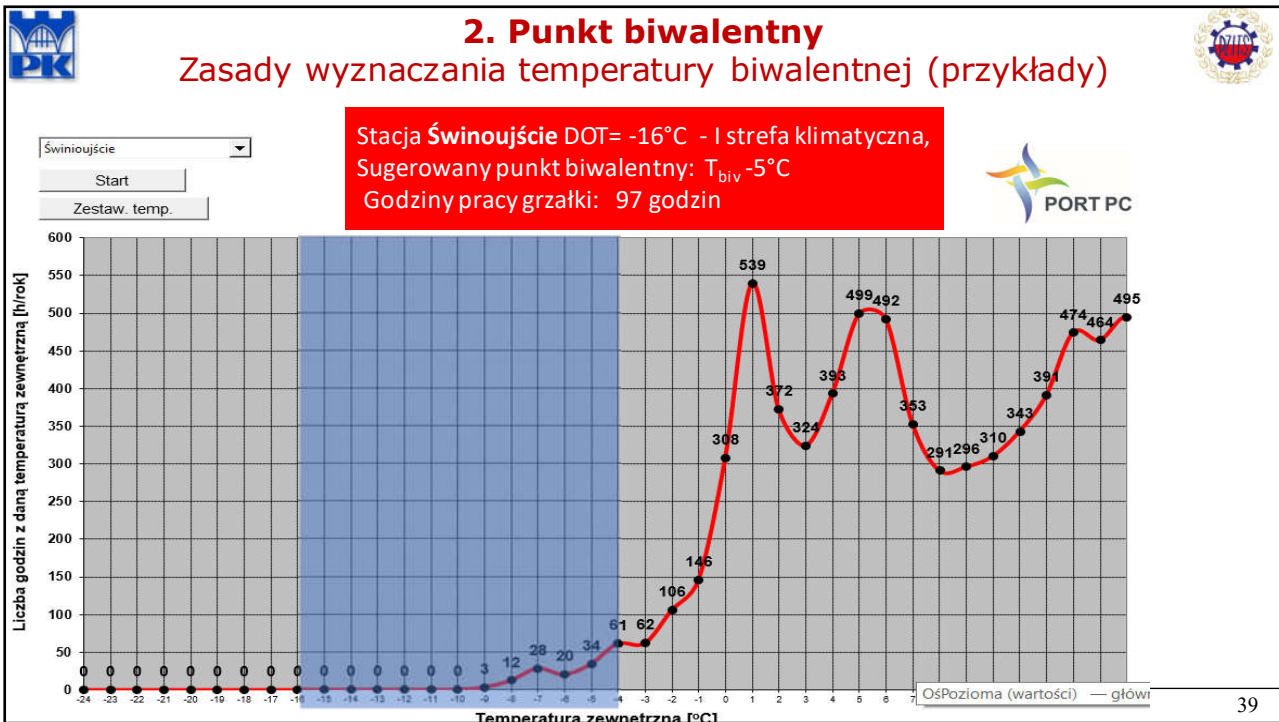


*K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków*  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

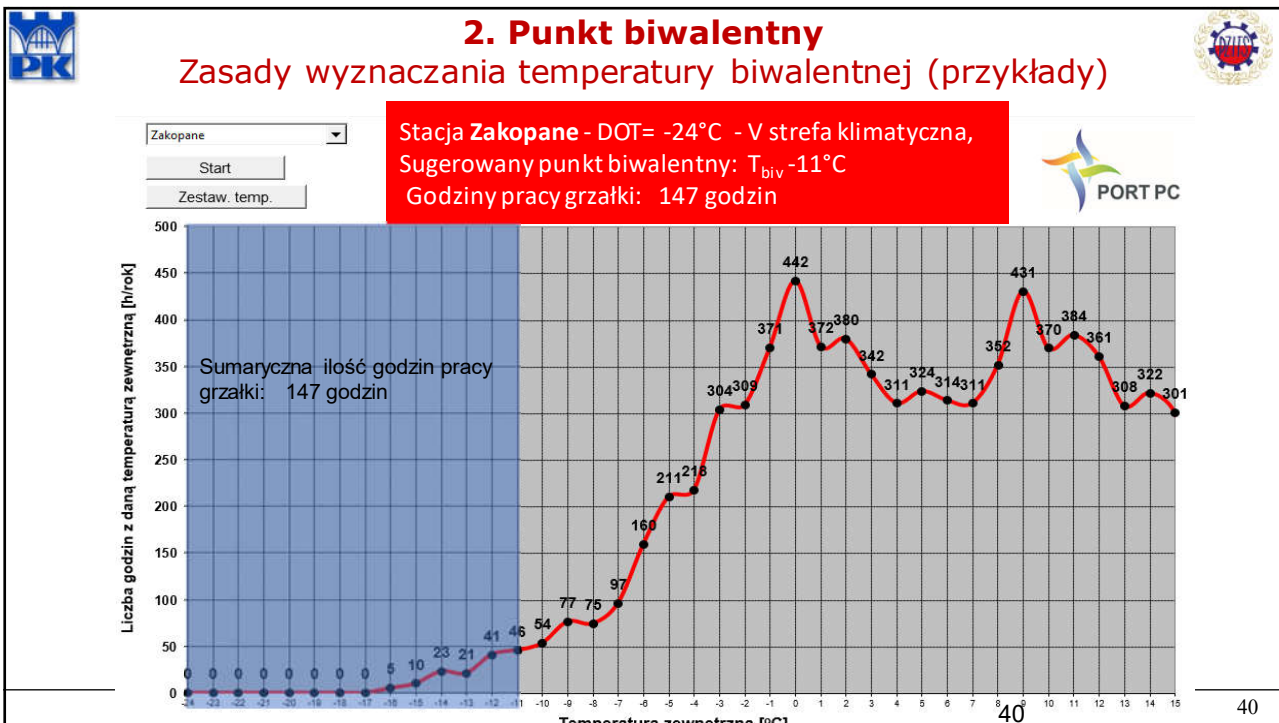
Temperatura zewnętrzna [°C]

38

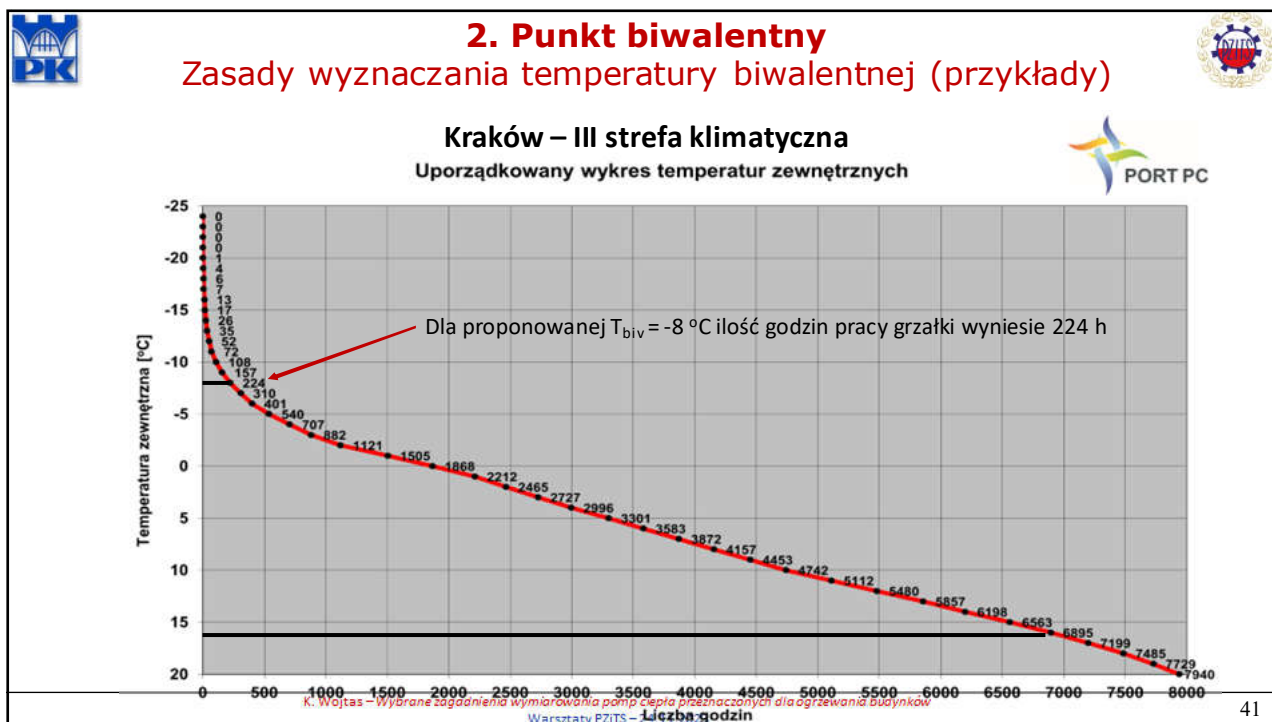
38



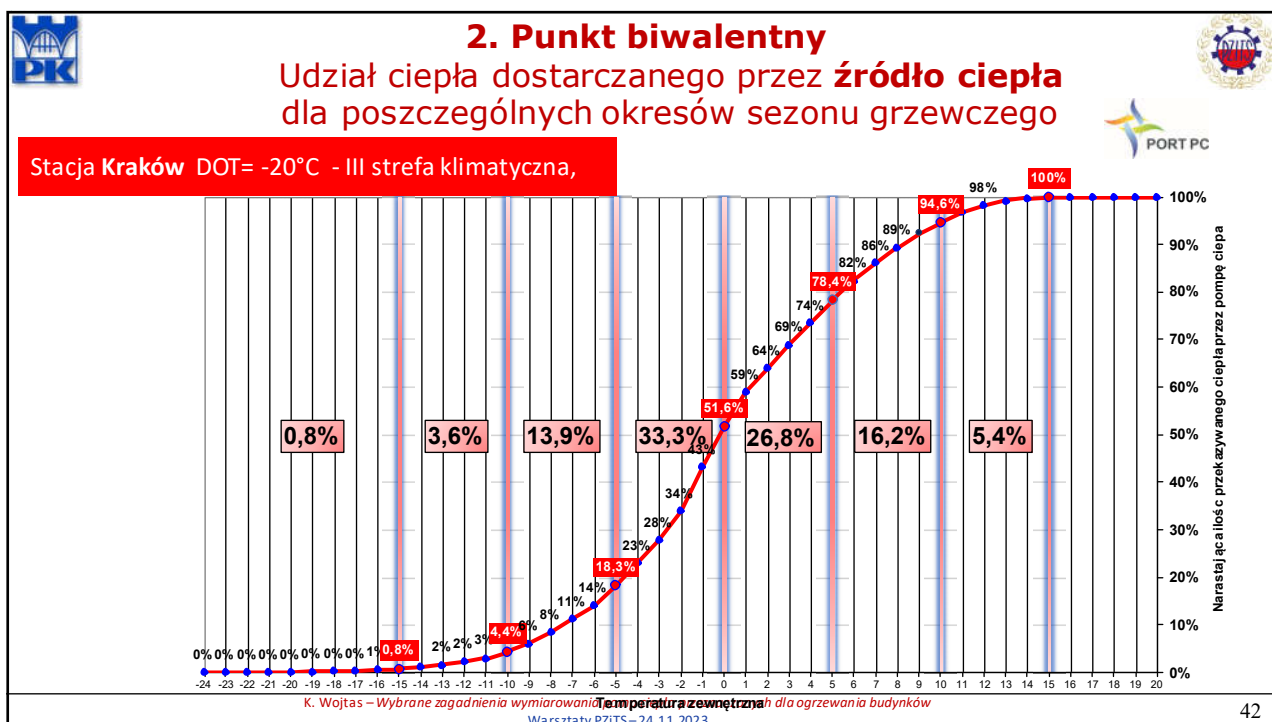
39



40

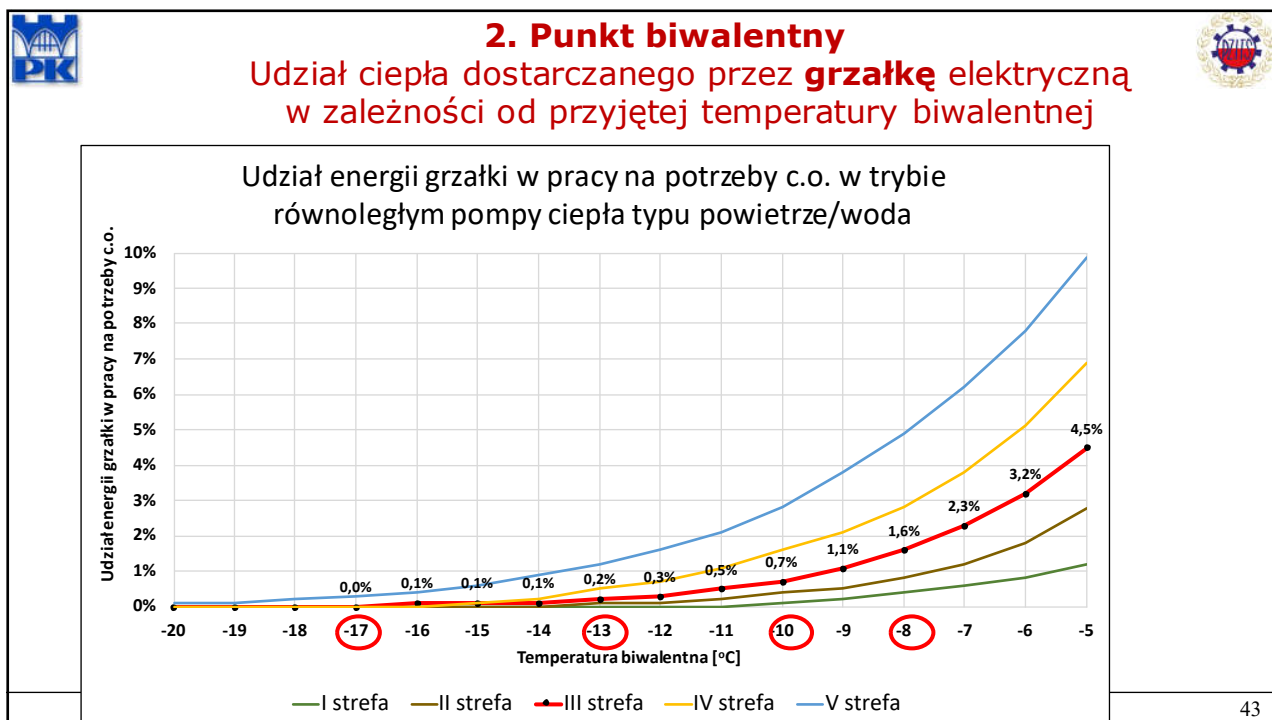


41

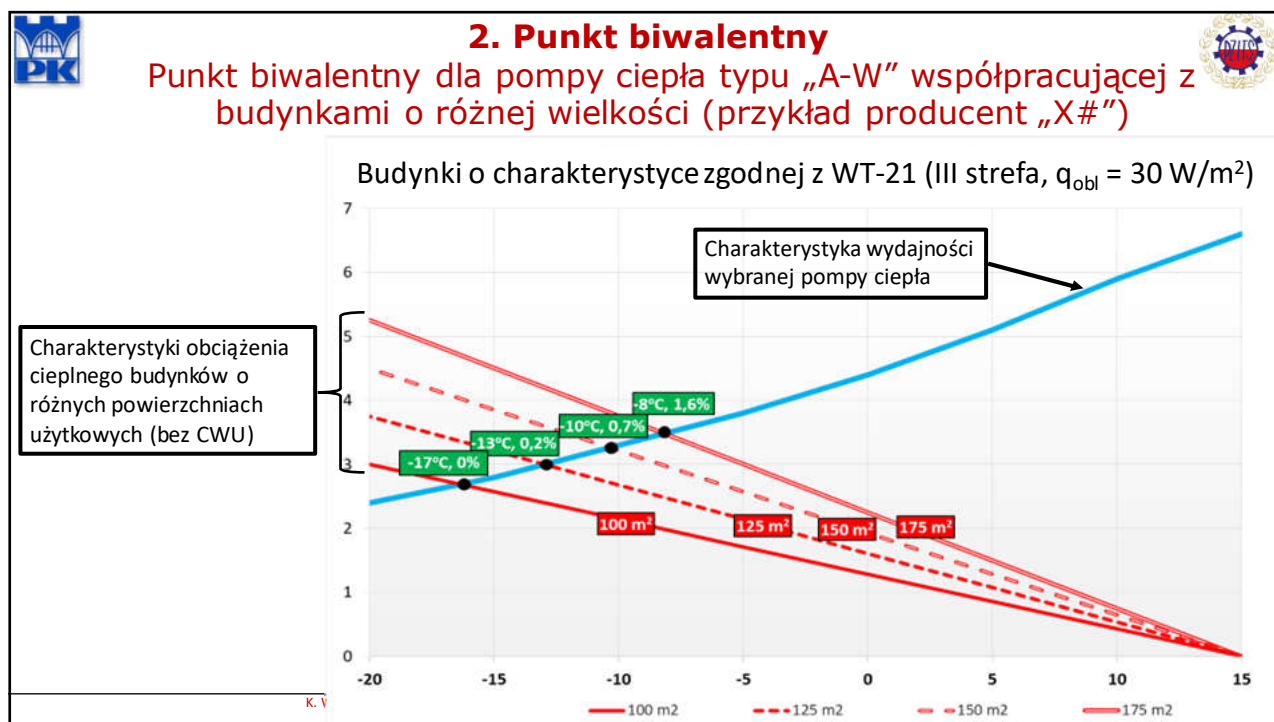


42





43



44





### 3. Wyznaczenie parametrów wody zasilającej

#### Obliczeniowa temperatura zasilania wody grzewczej dla budynku



Przy doborze pompy ciepła duże znaczenie odgrywa temperatura wody grzewczej. Przy jej wyznaczaniu należy się kierować następującymi wskazówkami:

#### 1. Określić temperaturę zasilania w warunkach obliczeniowych (projektowych):

- a) w przypadku ogrzewania podłogowego temperaturę zasilania ustala się na 35 °C
- b) w przypadku ogrzewania typu grzejnikowego (lub mieszanego) obliczeniowa temperatura zasilania zależy od wymiarowania grzejników i/lub zakresu i jakości termomodernizacji budynku istniejącego:
  - budynek nowy: zgodnie z projektem (z reguły w przedziale: 45 – 50 °C)
  - budynek istniejący (po termomodernizacji – wentylacja naturalna): 55 – 60 °C
  - budynek istniejący (po termomodernizacji – wentylacja z rekuperacją): 50 – 55 °C

**UWAGA:** Jeżeli budynek został wybudowany w ubiegłym wieku oraz nie przeszedł żadnej termomodernizacji – pompy ciepła typu „powietrze - woda” raczej „nie dotykać”

45



### 3. Wyznaczenie parametrów wody zasilającej

#### Obliczeniowa temperatura zasilania wody grzewczej dla pompy ciepła



Ponieważ **pompę ciepła wymiaruje się w punkcie biwalentnym** zaś temperatura zasilania instalacji grzewczej w budynku (CO) powinna się zmieniać w zależności od temperatury zewnętrznej (wg tzw „krzywej regulacyjnej” lub „krzywej grzewczej”) przed ostatecznym wymiarowaniem pompy ciepła **należy ustalić maksymalną („obliczeniową”) temperaturę zasilania odpowiednią dla temperatury biwalentnej wg zasad:**

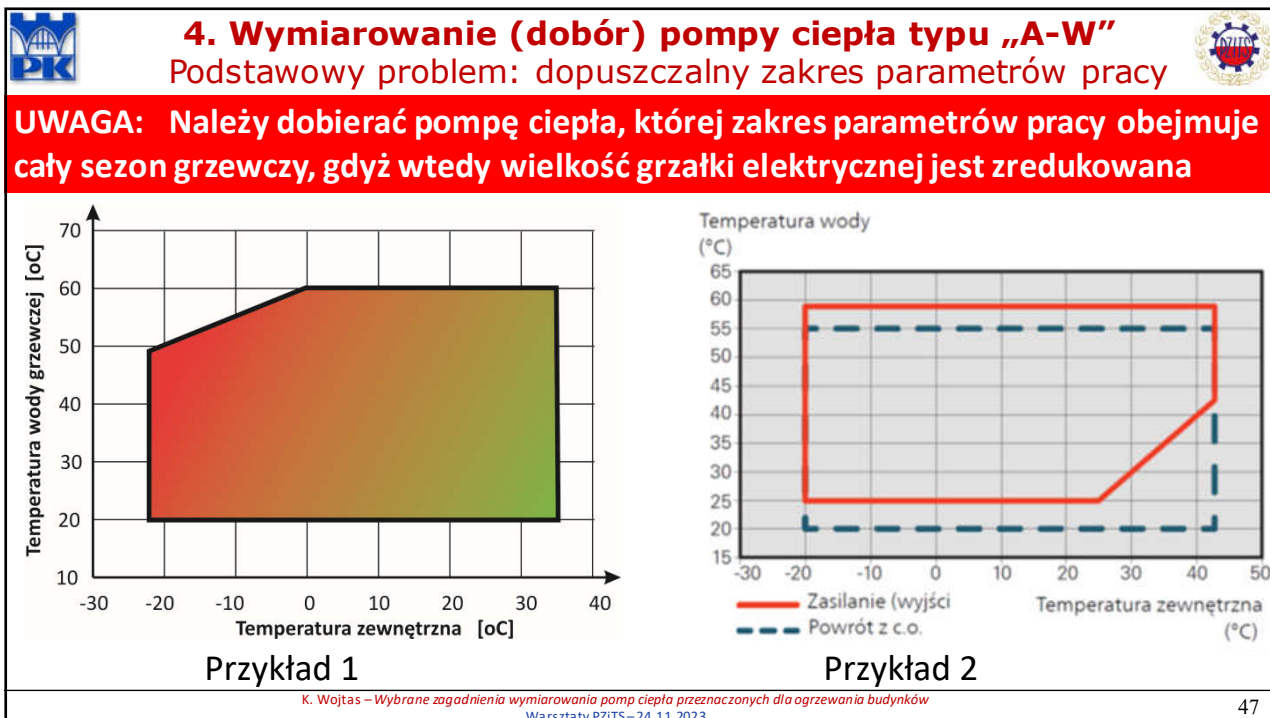
- a) w przypadku ogrzewania podłogowego temperaturę zasilania ustala się jako stałą wartość równą 35 °C (niezależnie o temperatury zewnętrznej)
- b) w przypadku ogrzewania typu grzejnikowego (lub mieszanego) obliczeniową temperaturę zasilania należy wyliczyć kierując się proporcją:

$$T_{WZ,biv} = T_{WZ,obl} - (T_{WZ,obl} - T_{WZ,min}) \cdot \frac{T_{biv} - T_{z,obl}}{16 - T_{z,obl}} \quad [^{\circ}C]$$

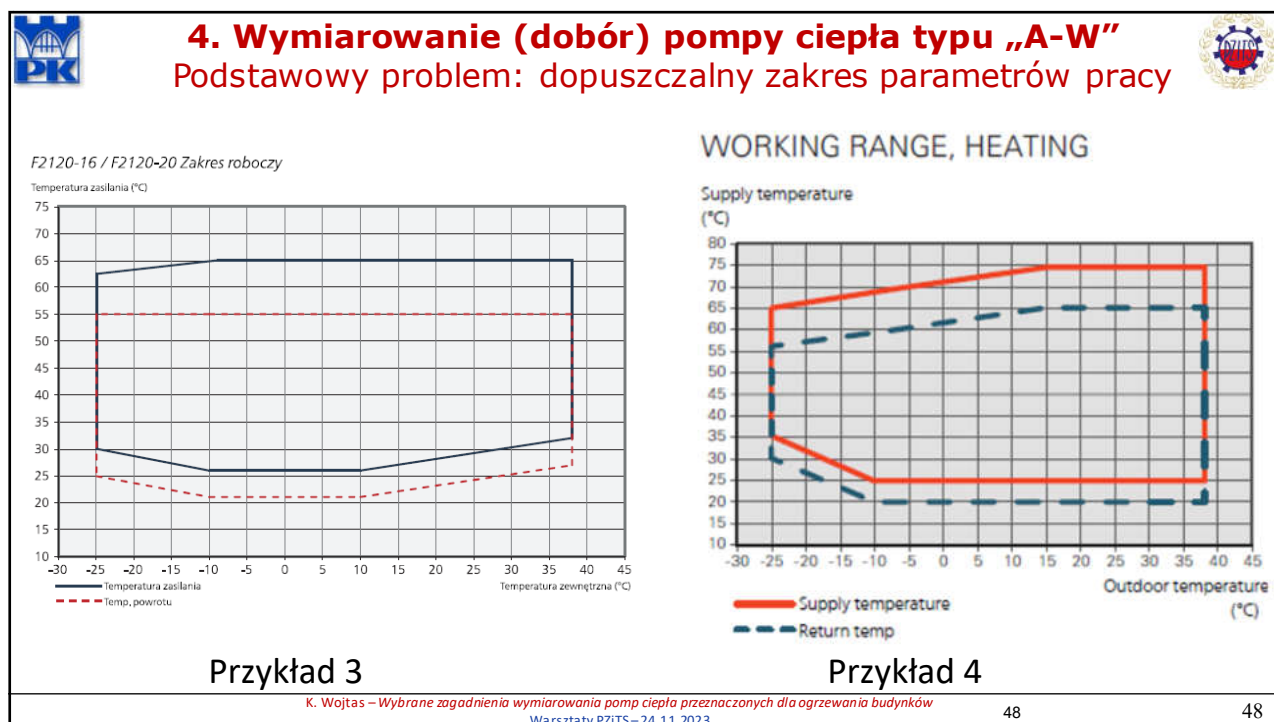
#### UWAGA:

- Takie wyznaczenie temperatury zasilania PC jest możliwe w przypadku gdy grzałka elektryczna dogrzewa wodę na zasilaniu w układzie szeregowym
- Kierując się wytycznymi PEC, można przyjąć wartość:  $T_{WZ,min} = 30 \text{ }^{\circ}C$  (dla  $T_z = +16 \text{ }^{\circ}C$ )

46



47



48

## 5. Wymiarowanie (dobór) pompy ciepła typu „A-W” (przykład)

W celu lepszego zobrazowania procedury doboru pompy ciepła typu „A-W” dalsze rozważania będą poparte przykładem, w którym do budynku o poniższej charakterystyce metodą prób i błędów usiłujemy dobrać urządzenie spośród kilku wybranych wariantów:

- budynek o powierzchni użytkowej 175 m<sup>2</sup>, użytkowany przez 5 osób, zlokalizowany w Krakowie (III strefa klimatyczna), zbudowany w latach 2017-2021
- instalacja grzewcza mieszana (częściowo ogrzewanie podłogowe, częściowo grzejniki)

Do dalszych obliczeń przyjęto:

- $T_{WZ,obl} = 55\text{ °C}$ ;  $T_{WZ,min} = 30\text{ °C}$ ;  $T_{biv} = -7\text{ °C}$ ;
- Temperatura wody grzewczej dla  $T_{biv}$  wyniesie:

$$T_{WZ,biv} = 55 - (55 - 30) \cdot \frac{-7 - (-20)}{16 - (-20)} = 45,7\text{ [°C]}$$

- (dla uproszczenia przyjęto, że  $T_{WZ,biv} = 45\text{ °C}$  (dla tej wartości temperatury na wyjściu z pompy ciepła będziemy poszukiwać jednostki, która spełni „warunek punktu biwalentnego”)
- Obliczeniowe obciążenie cieplne budynku:  $\Phi_{CO,obl} = 175\text{ m}^2 \cdot 40\text{ W/m}^2 = 7000\text{ W} = 7,0\text{ kW}$
- Obliczeniowe zapotrzebowanie mocy grzewczej:  $\Phi_{obl} = \Phi_{CO,obl} + \Phi_{CWU} = 7,0 + 3,0 = 10,0\text{ kW}$
- Moc grzewcza PC w punkcie biwalentnym:

$$\Phi_{PC,biv} = \Phi_{CWU} + \Phi_{CO,biv} = 3,0 + 7,0 \cdot \frac{16 - (-7)}{16 - (-20)} = 7,1\text{ [kW]}$$

K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

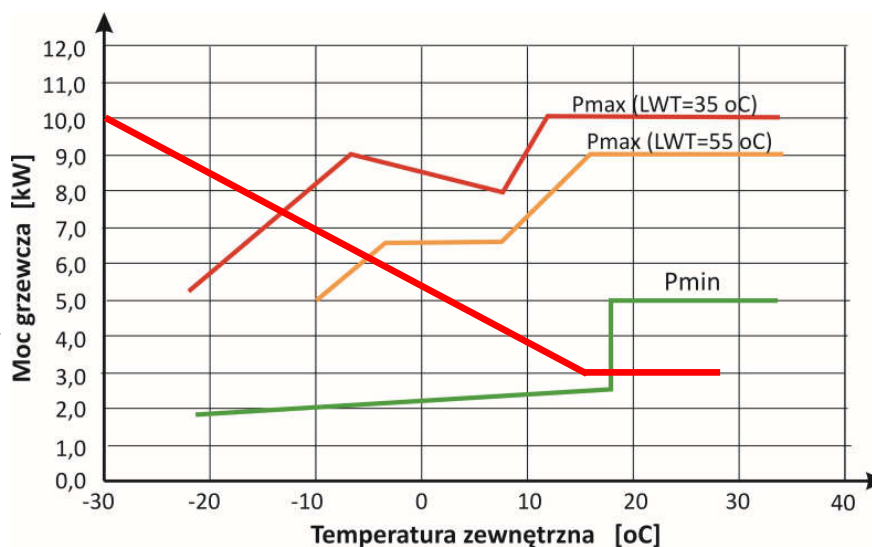
49

## 5. Wymiarowanie (dobór) pompy ciepła typu „A-W” (przykład)

### Charakterystyki wydajności cieplnej urządzenia (producent X#)

UWAGA:

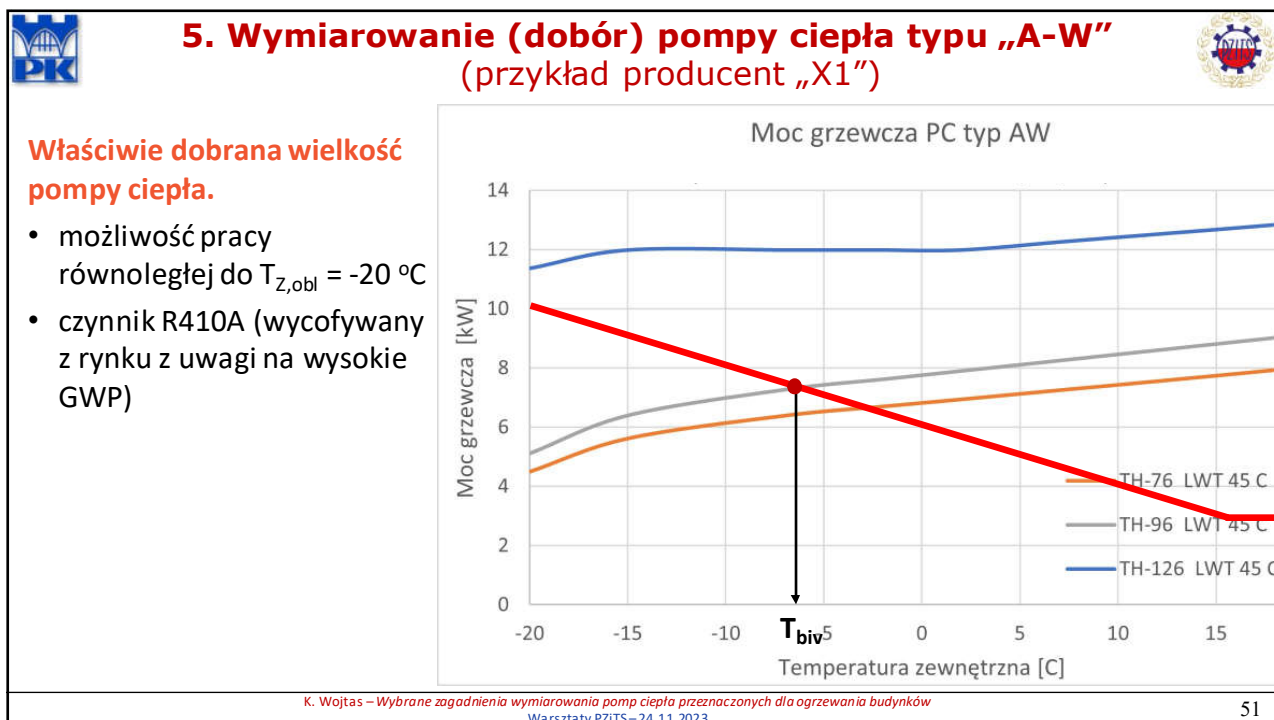
Z uwagi na powszechne zastosowanie sprężarek inwerterowych producent w swoich materiałach może zadeklarować charakterystyki urządzenia ( $P_{rated}$  i  $COP_{rated}$ ) przy dowolnych obrotach sprężarki (z zakresu pomiędzy „min” i „max” dozwolonych przez producenta sprężarek) patrz rysunek obok



K. Wojtas – Wybrane zagadnienia wymiarowania pomp ciepła przeznaczonych dla ogrzewania budynków  
Warsztaty PZITS – 24.11.2023

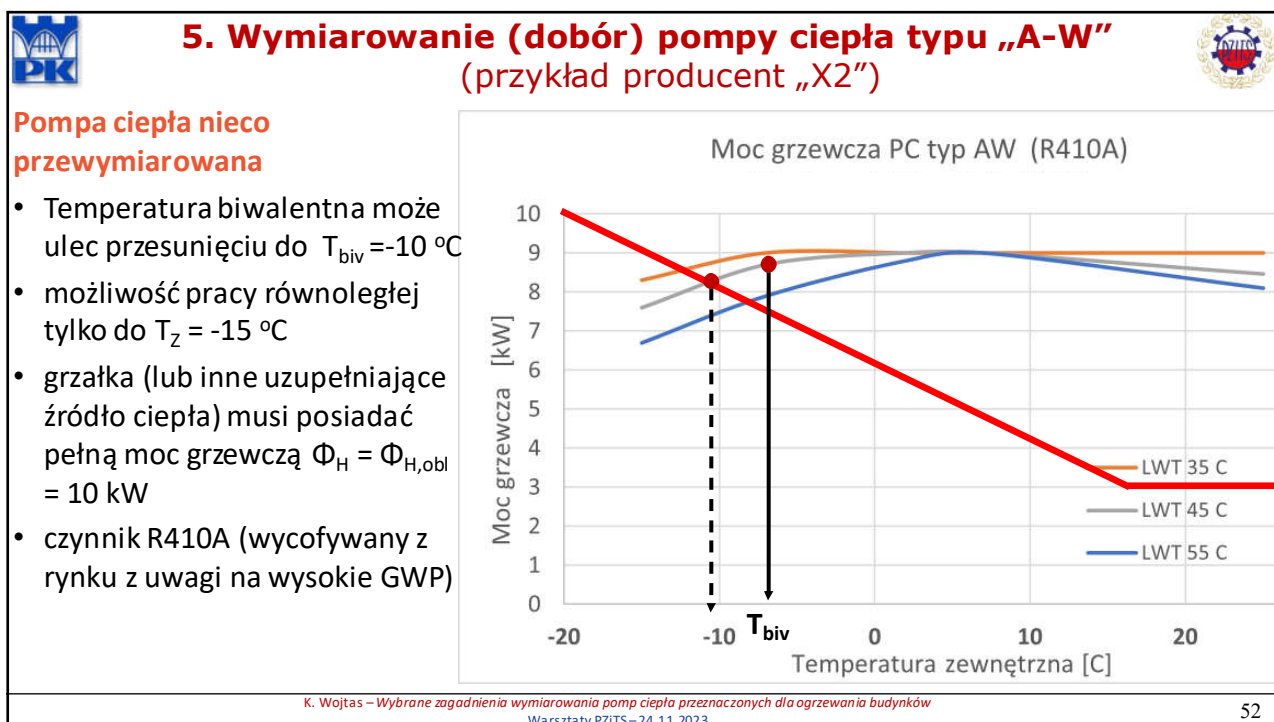
50

50



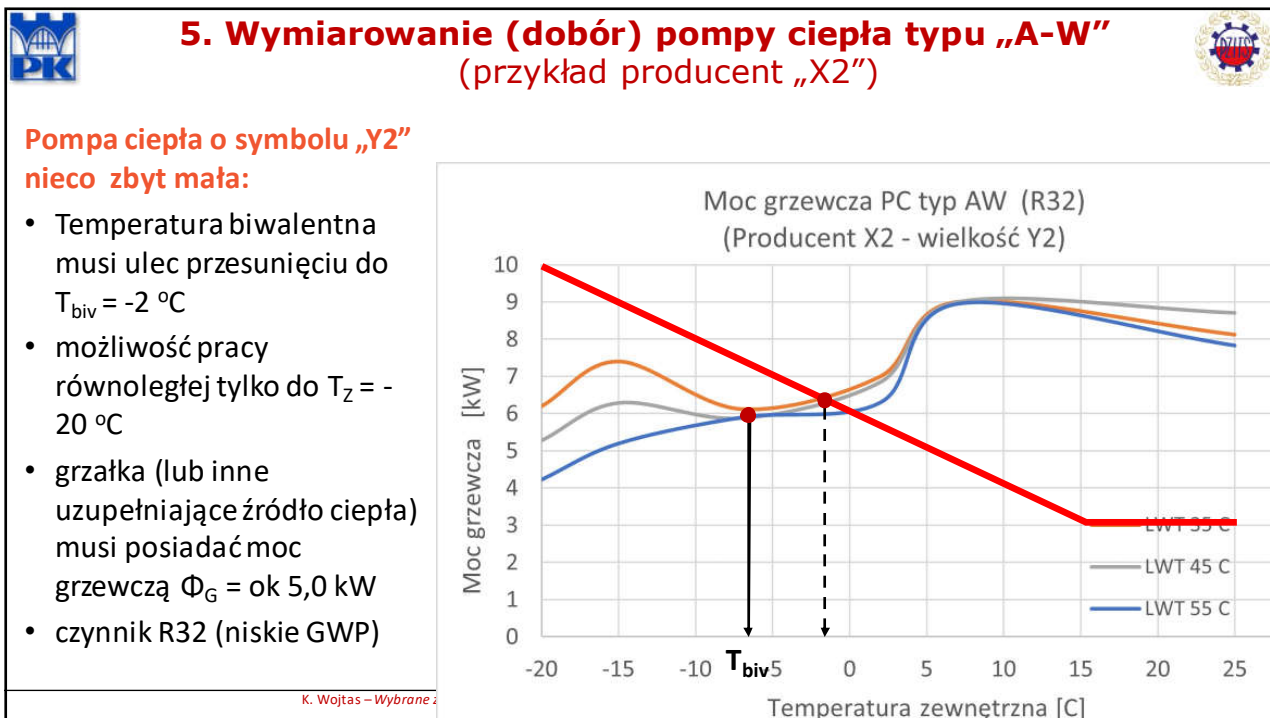
51

51



52

52



53



54



## Literatura



1. PN-EN 14511-2 2022 – Klimatyzatory, agregaty chłodzące ciecz i pompy ciepła do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń oraz agregaty procesowe ze sprężarkami o napędzie elektrycznym – warunki badań
2. PN-EN 14825-2012 „Klimatyzatory, agregaty ziębnicze i pompy ciepła ze sprężarką mechaniczną z napędem elektrycznym wykorzystywane do celów chłodzenia i grzania. Badania charakterystyk w warunkach częściowego obciążenia oraz obliczenia sezonowych wskaźników efektywności.
3. PN-EN 12831: 2006 – Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
4. Strzeszewski M, - „Norma PN-EN 12831. Nowa metoda obliczania obciążenia cieplnego” – Materiały szkoleniowe
5. Rozporządzenie Ministra infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej
6. Rozporządzenie Ministra Gospodarki nr 75 z dnia 12.04.2002: „Warunki techniczne jakim muszą odpowiadać obiekty budowlane...” – wraz z późniejszymi zmianami
7. Rozporządzenie UE 813/2013 w sprawie wykonania Dyrektywy PE i RE 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla ogrzewaczy pomieszczeń i ogrzewaczy wielofunkcyjnych
8. Narowski P. - *Analiza porównawcza typowych lat meteorologicznych Polski wyznaczonych na podstawie danych źródłowych z lat 2001–2020*, „Instal” 10/2022, s. 11–25,
9. Praca zbiorowa – Pompy ciepła 2023. Ekologiczne i tanie ogrzewanie i ciepła woda. – Rynek Instalacyjny.pl, 2023
10. Miara M, - *Pompy ciepła w istniejących budynkach. Poradnik* - PORTPC, 2021