



Projektowanie systemów chłodzenia budynków z dyrektywą F-gazową w tle

Autor: dr inż. K. Wojtas (POLITECHNIKA KRAKOWSKA)
Współpraca: dr Piotr Domański (NIST Gaithersburg, MD)
dr inż. Piotr Bartkiewicz (POLITECHNIKA WARSZAWSKA)
mgr inż. Bożena Komerska (INSTALATOR Sp z o.o.)
mgr inż. Witold Skrzypulec (SWEGON Sp z o.o.)



O czym chciałbym powiedzieć:

- Przepisy i wymagania dotyczące instalacji chłodzenia budynków
- Kierunki rozwoju czynników ziębniczych
- Porównanie agregatów ziębniczych na wybranym przykładzie budynku
- Możliwości wykorzystania ciepła w produkcji energii chłodniczej



PROLOG

PZITS_2018_WAWA_Projektowanie systemów chłodzenia budynków z Dyrektywą F-gazową w tle
MATERIAŁY POUFNE. Copyright: K. Wojtas

3



„EKO-BUDYNEK” - CO TO TAKIEGO ?



- ✓ Budynek o minimalnym zużyciu energii (i końcowej i pierwotnej !), przy jednoczesnym jak największym udziale energii odnawialnej
- ✓ Budynek w którym zastosowano materiały nieszkodliwe dla zarówno dla człowieka jak i środowiska naturalnego
- ✓ Budynek generujący niskie koszty

czyli
przede wszystkim
budynek przyjazny
dla użytkownika !



PZITS_2018_WAWA_Projektowanie systemów chłodzenia budynków z Dyrektywą F-gazową w tle
MATERIAŁY POUFNE. Copyright: K. Wojtas

4



Instalacja chłodzenia w „eko-budynku”



- jest nieodzownym elementem instalacji klimatyzacyjnej zapewniającej komfort (IEQ),
- zużywa dużo energii, głównie elektrycznej, szczególnie cennej w polskim systemie energetycznym (bardzo duży udział nieodnawialnej energii pierwotnej),
- zawiera substancje szkodliwe do środowiska i człowieka, które podlegają restrykcyjnej kontroli.



Systemy chłodzenia budynków Wymagania (prawne, certyfikaty, inne...)



1) „Rozporządzenie o F-gazach” [1,2]:

- Rozporządzenie UE nr 517/2014 z dnia 16 kwietnia 2014 r. w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych (PL: Ustawa z dnia 12 lipca 2017 r.)

2) „Rozporządzenie o ekoprojekcie [3]”:

- ROZPORZĄDZENIE UE 2016/2281 z dnia 30 listopada 2016 r. w dotyczące wymogów dla produktów związanych z energią w odniesieniu do produktów do ogrzewania powietrznego, ..., wysokotemperaturowych agregatów chłodniczych i klimakonwektorów wentylatorowych)

3) Certyfikacja budynków: (Leed, Breeam, Well)



Rozporządzenie o F-gazach i jego skutki
(eksploatacyjne)

Ilość ekwiwalentnego CO₂ (M_{CO2ekw}) dla ilości „m_{cz.z}” (masa czynnika w urządzeniu) oblicza się z zależności:

$$M_{CO2ekw} = m_{cz.z} \cdot GWP_{cz.z}$$

Obowiązkowe przeglądy urządzeń	Minimum co:
Zawartość HFC większa od 5 ton i mniejsza od 50 ton CO ₂ ekwiwalentnego	12 miesięcy
Zawartość HFC większa od 50 ton i mniejsza od 500 ton CO ₂ ekwiwalentnego	6 miesięcy
Zawartość HFC większa od 500 ton CO ₂ ekwiwalentnego	3 miesiące
W przypadku zainstalowania zdalnego czujnika wycieku czynnika powyższe okres powiększane są 2 krotnie	12 miesięcy

PZITS_2018_WAWA_Projektowanie systemów chłodzenia budynków z Dyrektywą F-gazową w tle
MATERIAŁY POUFNE. Copyright: K. Wojtas

7

Rozporządzenie o F-gazach i jego skutki
(inwestycyjne)

Daty ograniczeń wynikające z Dyrektywy:

Zakres wycofywanych urządzeń	Data
Chłodziarki domowe z HFC (GWP ekw. > 150)	1.01.2015.
Chłodziarki handlowe i komercyjne z HFC (GWP > 2500)	1.01.2020.
Chłodziarki handlowe i komercyjne z HFC (GWP > 150)	1.01.2022.
Przenośne klimatyzatory z HFC (GWP > 150)	1.01.2020.
Klimatyzatory typu split zawierające mniej niż 3 kg HFC (GWP > 750)	1.01.2025.
Systemy ziębnicze dla zastosowań komercyjnych o wydajności większej niż 40 kW z HFC (GWP >150). Nie dotyczy jednostek chłodniczych w układzie kaskadowym w których może być używany HFC o GWP <1500)	1.01.2022.

PZITS_2018_WAWA_Projektowanie systemów chłodzenia budynków z Dyrektywą F-gazową w tle
MATERIAŁY POUFNE. Copyright: K. Wojtas

8



Rozporządzenie o F-gazach

Czynnik ziębniczy: „mała ilość–duży problem”



Wymagania jakie musi spełniać czynnik ziębniczy:

- **BEZPIECZEŃSTWO** (minimalna palność i toksyczność)
- **EKOLOGICZNE** (ODP = 0, jak najniższe GWP)
- **WYSOKA EFEKTYWNOŚĆ** (jak najwyższe wskaźniki EER, COP, SEER SCOP – minimalizacja kosztów energii)
- **WYSOKA JEDNOSTKOWA WYDAJNOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA** (im wyższa tym mniejsza sprężarka – koszty inwestycyjne)
- **STABILNOŚĆ CHEMICZNA** (duże zmiany ciśnienia i temperatury)
- **KOMPATYBILNOŚĆ Z MATERIAŁAMI** (substancje smarne, materiały stosowane w konstrukcji urządzeń itp)
- **INNE WŁASNOŚCI FIZYCZNE** (niska lepkość, minimalne przewodnictwo elektryczne, ciśnienie w temperaturze otoczenia > 1 bar,)
- **NISKI KOSZT WYTWARZANIA**

PYTANIA:

- 1) Która z wyżej wymienionych cech powinna być dominująca?
- 2) Czy można zdefiniować „idealny czynnik ziębniczy”?



Rozporządzenie o F-gazach

Czynnik ziębniczy: „bezpieczeństwo”

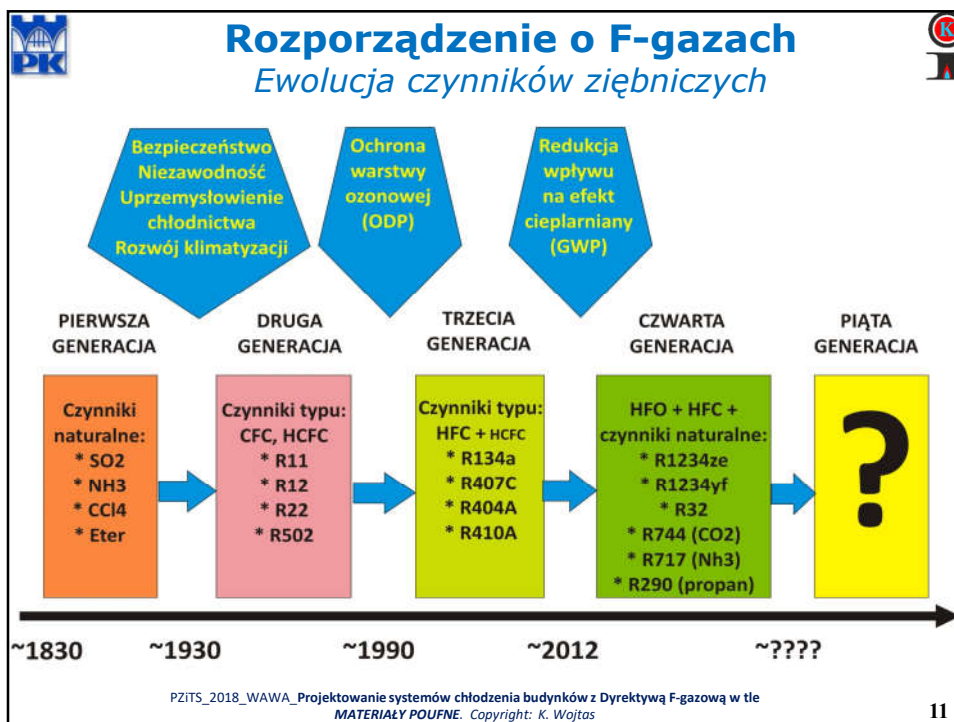


Klasyfikacja czynników ziębniczych ze względu na bezpieczeństwo.
(Norma PN-EN 378-1)

Wzrost palności ↑	Podwyższona palność	A3	B3
	Obniżona zapalność	A2	B2
	Nie podtrzymujące płomienia	A1	B1
		Obniżona toksyczność	Podwyższona toksyczność
		→ Wzrost toksyczności	

Legenda:

	L1
	L2
	L3



11

Rozporządzenie o F-gazach
Ewolucja czynników ziębniczych

Czy będzie piąta generacja czynników ziębniczych?

Jeżeli tak to jakie będą czynniki ?

PROJEKT BADAWCZY REALIZOWANY PRZEZ „NIST”
(National Institute of Standards & Technology, USA) [4,5]:

- Zespół złożony z termodynamików i chemików pod kierunkiem dr P. A. Domańskiego;
- Wszechstronnej analizie poddano 60 milionów możliwych do uzyskania związków chemicznych;
- 3 etapy selekcji.

PZITS_2018_WAWA_Projektowanie systemów chłodzenia budynków z Dyrektywą F-gazową w tle
MATERIAŁY POUFNE. Copyright: K. Wojtas

12



Rozporządzenie o F-gazach

Ewolucja czynników żiębicznych



ZAKRES PRAC PROJEKTU REALIZOWANEGO w „NIST” [4,5]:

Wszechstronna analiza znanych związków chemicznych pod kątem:

- cząsteczki składające się z nie więcej niż 18 atomów (C, H, N, O, S, F, Cl, Br),
- $GWP_{100} < 1000$,
- temperatura krytyczna w zakresie od 320 do 420 K,
- toksyczność, palność nie wyższa niż klasa L2,
- stabilność analizowana indywidualnie (z uwagi na brak wskaźników),
- jednostkowa wydajność objętościowa nie mniejsza niż 33% wartości dla R410A (symulacje z wykorzystaniem „CYCLE-DX” w różnych konfiguracjach)

EFEKT KOŃCOWY:

**POWYŻSZE (STOSUNKOWO MAŁO RESTRYKCYJNE)
WARUNKI I WYMAGANIA SPEŁNIA TYLKO 27
ZNANYCH ZWIĄZKÓW CHEMICZNYCH !!!!**



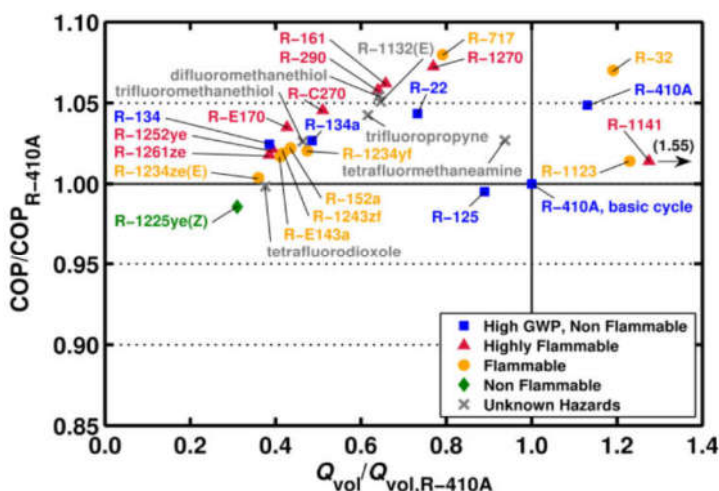
Rozporządzenie o F-gazach

Ewolucja czynników żiębicznych



WYNIKI PROJEKTU REALIZOWANEGO w „NIST” [4,5]

Rezultaty symulacji obiegu żiębniczego z tzw. ekonomizerem
(wtryskiem międzystopniowym) za pomocą „CYCLE-D_HX”



14



Rozporządzenie o F-gazach i jego konsekwencje



Nałożone na branżę chłodniczą ograniczenia i prawne uwarunkowania powodują:

- wzrost różnorodności czynników ziębnych na rynku (zarówno czynniki jednorodne jak i mieszaniny) co jest dużym utrudnieniem zarówno na etapie projektowania, wykonawstwa jak i eksploatacji,
- podwyższone wymagania bezpieczeństwa dla urządzeń ziębnych (brak wycieków, ograniczenie dostępu, procedury, itp.),
- zintensyfikowanie poszukiwań innych sposobów pozyskiwania energii chłodniczej (odejście od lewobieżnych obiegów ze sprężarką mechaniczną).



Rozporządzenie o F-gazach i jego konsekwencje



KONIECZNOŚĆ zastępowania czynników HFC o wysokim wskaźniku GWP (R410A, R134a, R404A) czynnikami naturalnymi (CO₂, NH₃, R290, R600, ...) lub substytutami o niskiej wartości GWP (R32, HFO lub ich mieszaninami)

Przykłady substytutów R410A

(GWP = 2088)



R32a

GWP = 675
Jednorodny
HFC
R32a

Honeywell

L41

GWP = 495
Mieszanina
HFC + HFO*
R32a + R1234yf



DR-5

GWP = 490
Mieszanina
HFC + HFO*
R 32a + 1234yf



Rozporządzenia o ekoprojekcie
Ewolucja pojęcia efektywności agregatu

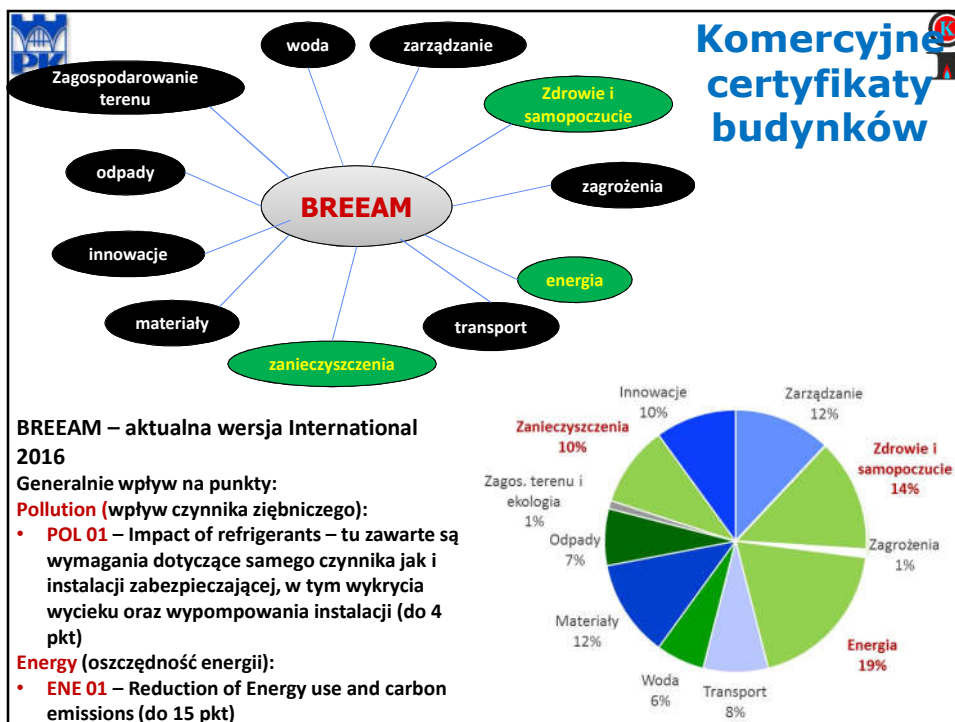
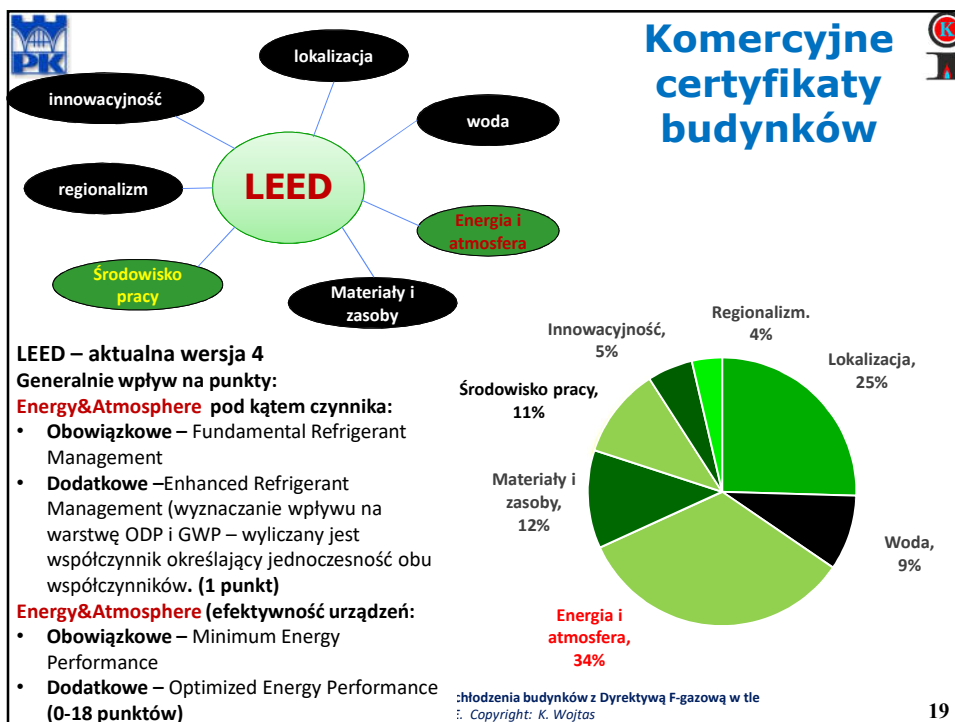
Rozporządzenie UE 2281/2016 wprowadza dodatkowe kategorie urządzeń chłodniczych dla klimatyzacji przy zróżnicowanych definicjach „sezonowego wskaźnika efektywności:

- **SEER 12/7** (agregaty dla klimatyzacji standardowej)
- **SEER 23/18** (agregaty dla klimatyzacji wysokotemperaturowej)
- **SEPR** (agregaty ziębnicze przeznaczone dla przemysłu)

UWAGA!
Každy z powyższych wskaźników jest inaczej zdefiniowany i nie można ich ze sobą porównywać!
(dodatkowe utrudnienie dla producenta i projektanta)

PZITS_2018_WAWA_Projektowanie systemów chłodzenia budynków z Dyrektywą F-gazową w tle
MATERIAŁY POUFNE. Copyright: K. Wojtas

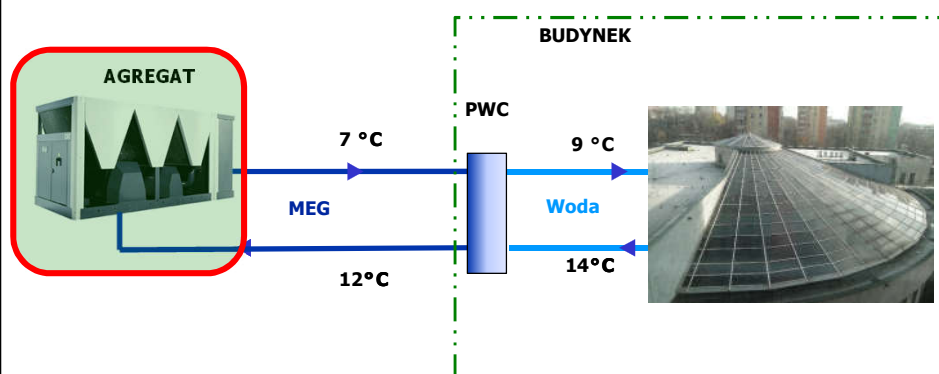
18





1.

AGREGATY SPRĘŻARKOWE Z NAPĘDEM ELEKTRYCZNYM





Ekologiczne źródła zimna w klimatyzacji ŚREDNIEJ WIELKOŚCI BUDYNEK UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ



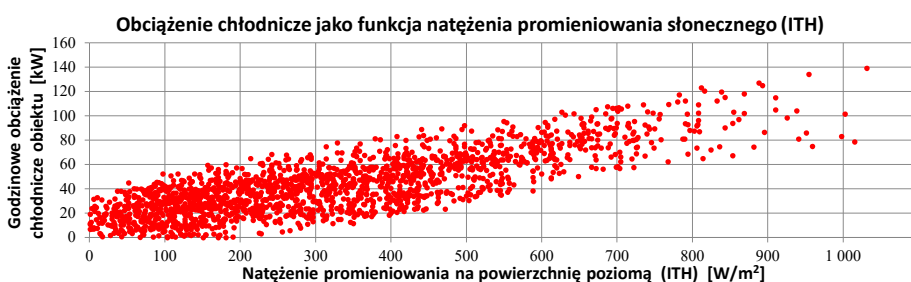
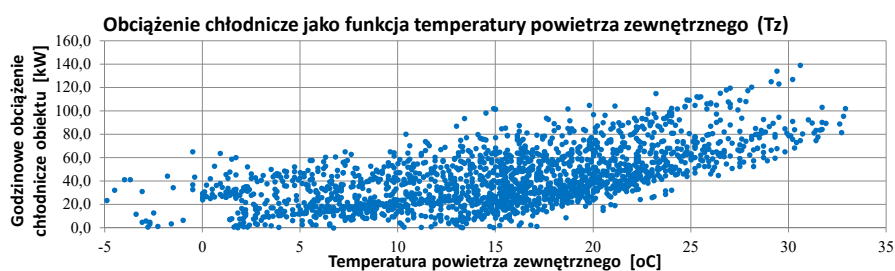
1. Obliczenia wykonywane w interwale „godzinowym”
2. Parametry obliczeniowe dla lata. *Pz: 32°C/45%RH, Pw: 24°C/50%RH*
3. Obliczenia oparte o dane klimatyczne „typowego roku meteorologicznego” dla stacji: *Kraków-Balice*
4. Budynek biurowy z określonymi okresami pracy instalacji.
(Od poniedziałku do piątku, w godzinach 7 do 18, poniedziałek wypada 2-go stycznia. Instalacja chłodzenia pracuje od 1.03 do 31.10 każdego roku)
5. Maksymalne zapotrzebowanie MOCY chłodniczej: **139 kW**
6. Roczne zapotrzebowanie ENERGII chłodniczej: **80 030 kWh**
5. Ilość godzin pracy systemu chłodzenia: **1925 godzin**
5. Minimalny strumień powietrza wentylacyjnego: **9 000 m³h**

PZITS_2018_WAWA_Projektowanie systemów chłodzenia budynków z Dyrektywą F-gazową w tle
MATERIAŁY POUFNE. Copyright: K. Wojtas

23



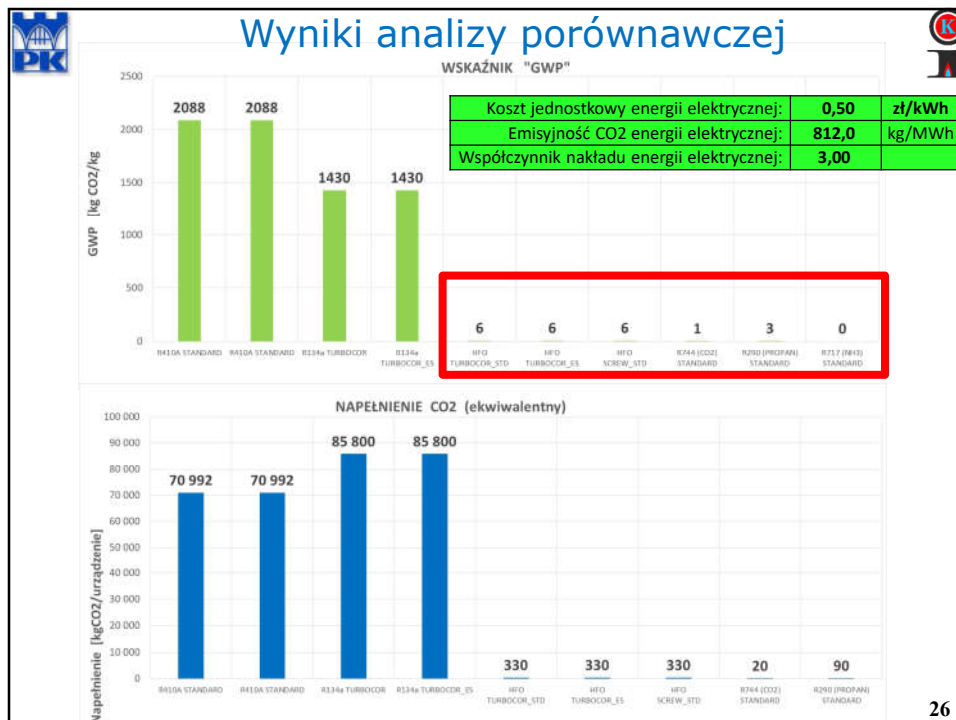
Zapotrzebowanie energii chłodniczej Wyniki obliczeń

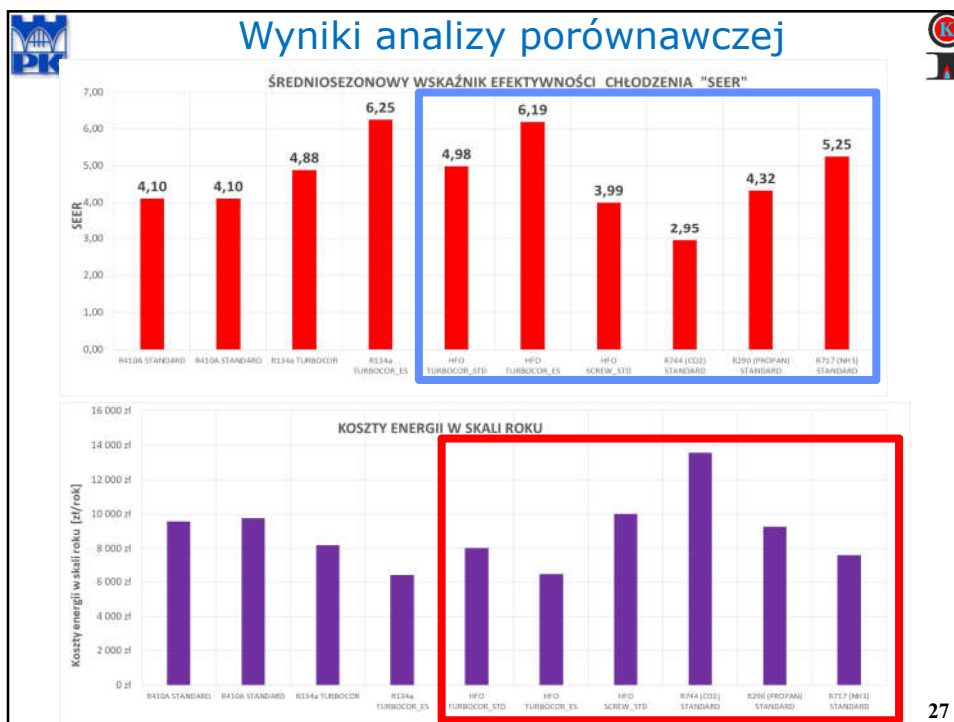


PZITS_2018_WAWA_Projektowanie systemów chłodzenia budynków z Dyrektywą F-gazową w tle
MATERIAŁY POUFNE. Copyright: K. Wojtas

24

 <h2 style="text-align: center;">Analiza porównawcza</h2> <h3 style="text-align: center;">Typu porównywanych agregatów (*)</h3> 	
A1	STANDARD (R410, chłodzony powietrzem, scroll) - EER na podstawie godzinowych (znana funkcja: $EER = f(T_2)$)
A2	STANDARD (R410, chłodzony powietrzem, scroll) - SEER na podstawie ESEER
B	TURBOCORE (R134a, chłodzony powietrzem) - SEER na podstawie ESEER
C	TURBOCORE_ES (R134a, chłodzony powietrzem, częściowo wyparnie) - SEER na podstawie ESEER
D	TURBOCORE (HFO, chłodzony powietrzem) - SEER na podstawie ESEER
E	TURBOCORE_ES (HFO, chłodzony powietrzem, częściowo wyparnie) - SEER na podstawie ESEER
F	AGREGAT (HFO, chłodzony powietrzem, śrubowa) - SEER na podstawie ESEER
G	AGREGAT (CO2, chłodzony powietrzem, tłokowa) - SEER na podstawie ESEER
H	AGREGAT (PROPAN, chłodzony powietrzem) - SEER na podstawie ESEER
I	AGREGAT (NH3, chłodzony powietrzem) - SEER na podstawie ESEER
(*) charakterystyki energetyczne na podstawie danych producentów	
<small>PZITS_2018_WAWA_Projektowanie systemów chłodzenia budynków z Dyrektywą F-gazową w tle MATERIAŁY POUFNE. Copyright: K. Wojtas</small>	
25	





27

Sprężarkowe agregaty do oziębiania cieczy w systemach klimatyzacji

Podsumowanie

- ✓ **Dyrektywa F-gazowa będąca następstwem porozumień z Kioto, Kigali ... wymusiła postęp technologiczny na rynku agregatów do oziębiania cieczy (nowe lub „zapomniane” czynniki ziębnicze, nowe konstrukcje sprężarek, udoskonalenia obiegów ziębniczych, ... itd)**
- ✓ **Jest prawdopodobne, iż opracowanie kompleksowej technologii dla „niskociśnieniowych” czynników grupy HFO spowoduje w przyszłości zmniejszenie zainteresowania czynnikami naturalnymi (R717, R744, R290, itp.)**
- ✓ **Na obecnym etapie rozwoju technologicznego, prosty rachunek kosztów nie uzasadnia wyboru agregatów, które można nazwać w pełni ekologicznymi. W niedługim czasie należy się jednak spodziewać korekty cenowej w tym segmencie**

PZITS_2018_WAWA_Projektowanie systemów chłodzenia budynków z Dyrektywą F-gazową w tle
MATERIAŁY POUFNE. Copyright: K. Wojtas

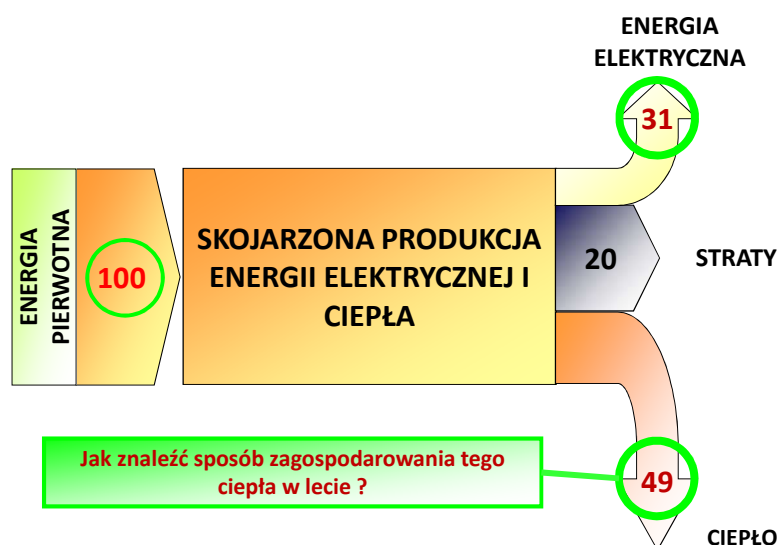
28



2. AGREGATY SORPCYJNE NAPĘDZANE CIEPŁEM ODPAADOWYM LUB POCHODZĄCYM Z ENERGII ODNAWIALNEJ

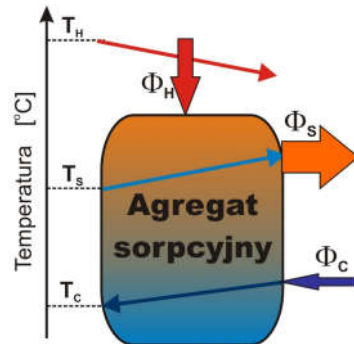


Kogeneracja (CHP) =
skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła
użytkowego





Urządzenie sorpcyjne: „możliwość chłodzenia za pomocą ciepła”



W urządzeniu sorpcyjnym transport ciepła zachodzi pomiędzy trzema poziomami temperatur :

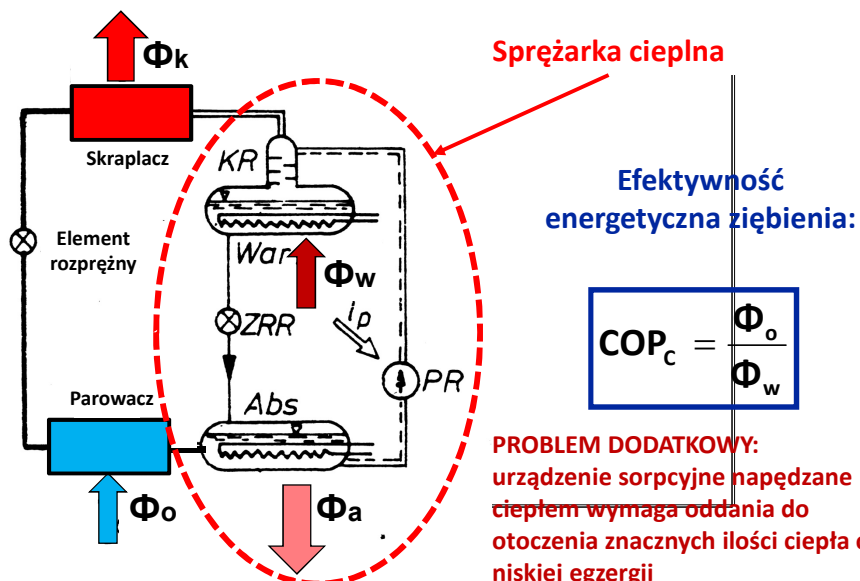
- T_c – temperatury środowiska oddającego ciepło (w praktyce definiowana jako temperatura wody lub powietrza oziębianego w urządzeniu – **główny cel działania urządzenia**),
- T_H – temperatury źródła grzewczego (w praktyce definiowana jako temperatura wody grzewczej dostarczającej ciepło napędowe),
- T_s – temperatury środowiska chłodzącego (w praktyce definiowana jako temperatura wody chłodzącej urządzenie),

PZITS_2018_WAWA_Projektowanie systemów chłodzenia budynków z Dyrektywą F-gazową w tle
MATERIAŁY POUFNE. Copyright: K. Wojtas

31



Absorpcyjne urządzenia ziębnicze



PZITS_2018_WAWA_Projektowanie systemów chłodzenia budynków z Dyrektywą F-gazową w tle
MATERIAŁY POUFNE. Copyright: K. Wojtas

32



Absorpcyjne urządzenia ziębnicze



PODSUMOWANIE

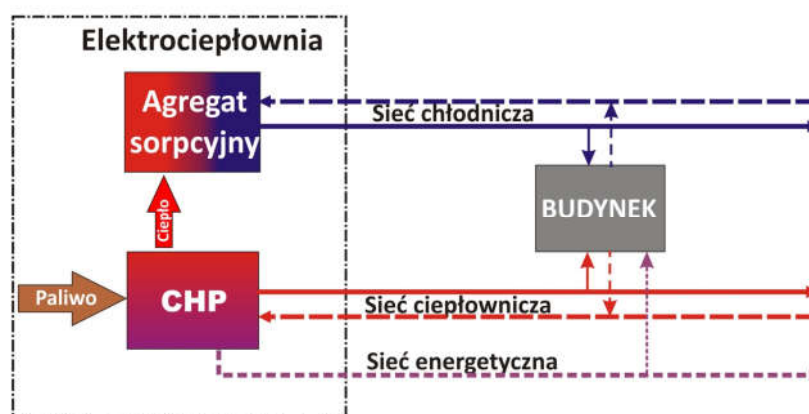
TYP	Bromo-litowa	Amoniakalna
Sorbent	LiBr	H ₂ O
Czynnik chłodniczy	H ₂ O	NH ₃
Wskaźnik efektywności chłodniczej COP _c	0,6 ÷ 0,8	0,5 ÷ 0,7
Minimalna temperatura czynnika grzewczego na zasilaniu	75 ÷ 95 °C	120 ÷ 135 °C
Minimalna temperatura wody oziębianej	> 6 ÷ 7 °C	< 0 °C

PZITS_2018_WAWA_Projektowanie systemów chłodzenia budynków z Dyrektywą F-gazową w tle
MATERIAŁY POUFNE. Copyright: K. Wojtas

33



Trójgeneracja (CCHP) z centralną produkcją chłodu Cechy charakterystyczne



- Chłodziarki absorpcyjne o wysokim wskaźniku COP (możliwe wysokie parametry)
- konieczna jest budowa sieci rurociągów do dystrybucji chłodu do odbiorców

PZITS_2018_WAWA_Projektowanie systemów chłodzenia budynków z Dyrektywą F-gazową w tle
MATERIAŁY POUFNE. Copyright: K. Wojtas

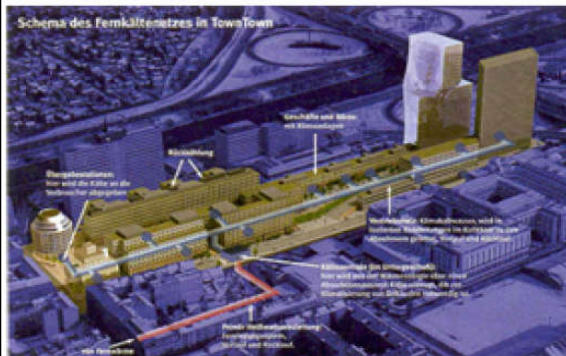
34



Trójgeneracja z centralną produkcją chłodu. Przykłady



System centralnego chłodzenia w Wiedniu



Docelowa moc chłodnicza: 8,4 MW

Źródło chłodu:

- dwie chłodziarki bromolitowe o mocy 2,2 MW każda /zasilane wodą o temperaturze 90°C/
 - chłodziarka sprężarkowa o mocy 0,9 MW
 - układ free coolingu o mocy 0,5 MW
- Powierzchnia chłodzona: >100000 m²
Liczba budynków: 21

$$\Phi_{ch} = 8,4 \text{ MW}$$



Trójgeneracja z centralną produkcją chłodu. Przykłady



„Mini-trójgeneracja” w Poznaniu



Dane systemu wykonanego w ZEC-P:

- Wytwornica wody lodowej prod. YORK typ YIA ST 1A2 50

Wydajność chłodnicza	$Q_{ch} = 545 \text{ kW}$,
Zużycie pary	$m_p = 1290 \text{ kg/h}$
 - Para:

Temperatura robocza	$t_{rob} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$,
Ciśnienie robocze	$p_{rob} = 0,35 \text{ bar}$,
Pojemność wymiennika	$V = 0,061 \text{ m}^3$
 - Woda ruchowa

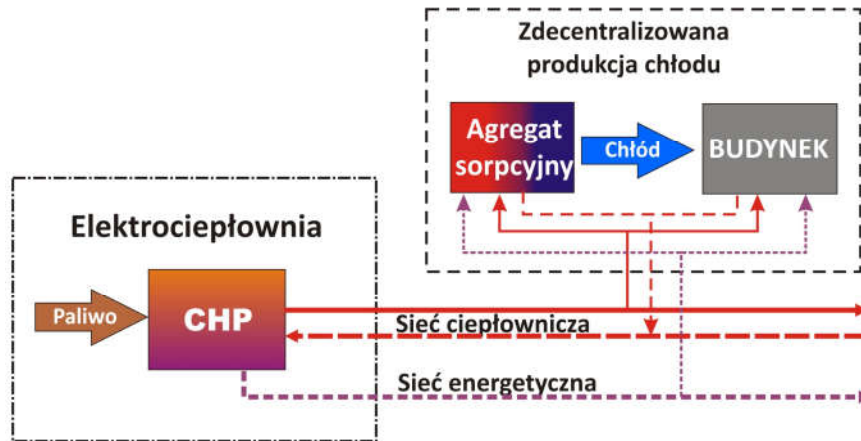
Temperatura robocza	$t_{rob} = 14-30 \text{ }^\circ\text{C}$,
Ciśnienie robocze	$p_{rob} = 5 \text{ bar}$,
 - Woda lodowa

Temperatura robocza	$t_z/t_p = 6/12 \text{ }^\circ\text{C}$,
Ciśnienie robocze	$p_{rob} = 5,5 \text{ bar}$
- 39 pomieszczeń klimatyzowanych
 - monitoring pracy przez sieć IST - PRO2000
 - długość instalacji wody lodowej: 3 km
 - chłodzenie klimakonwektorami i centralą.
 - Łączny pobór energii elektrycznej: max 40kW

$$\Phi_{ch} = 0,55 \text{ MW ! } \text{ ☹}$$

Trójgeneracja ze zdecentralizowaną produkcją chłodu

Cechy charakterystyczne



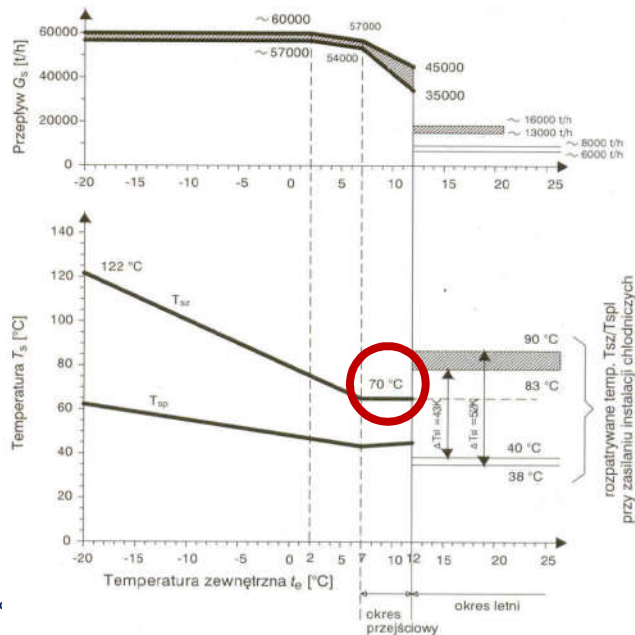
- chłód produkowany jest w lokalnie przy wykorzystaniu ciepła sieciowego,
- system nie wymaga budowy sieci do dystrybucji chłodu, ale ...

PZITS_2018_WAWA_Projektowanie systemów chłodzenia budynków z Dyrektywą F-gazową w tle
MATERIAŁY POUFNE. Copyright: K. Wojtas

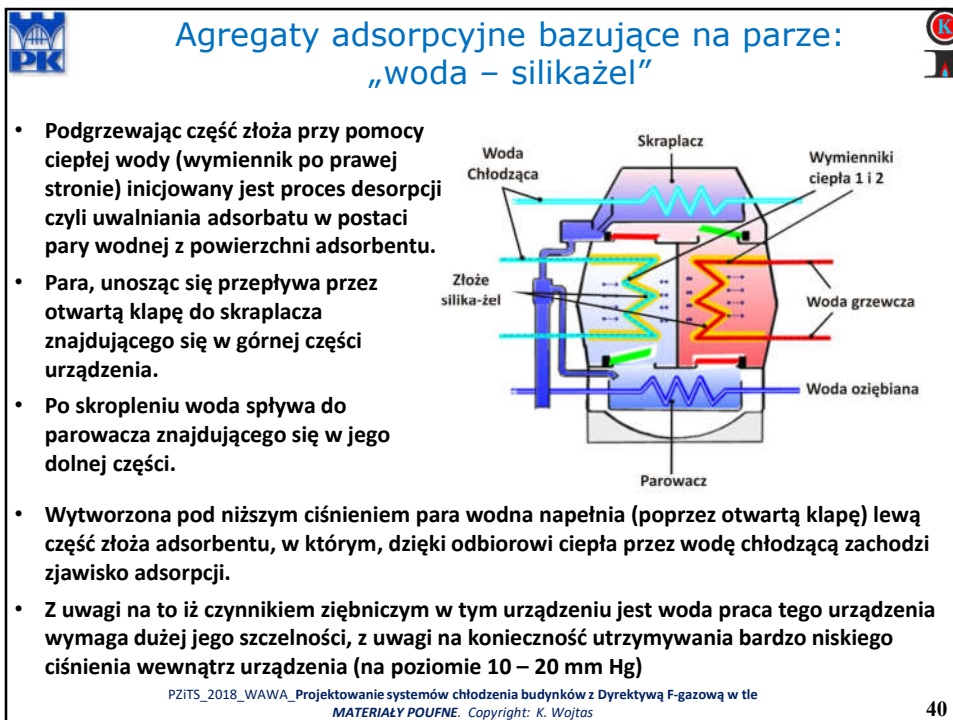
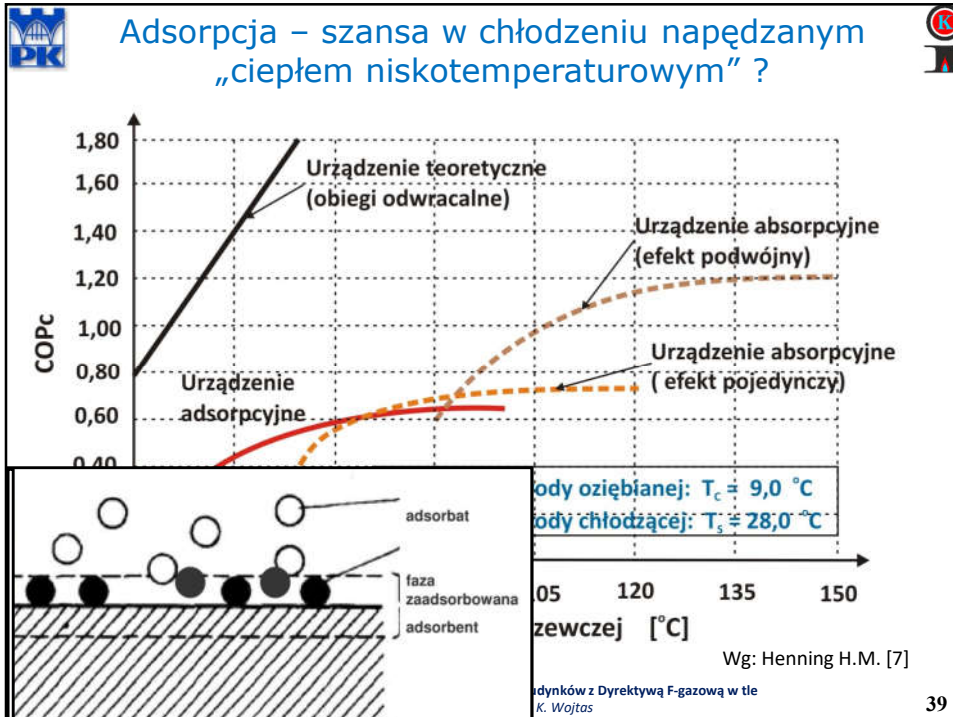
37

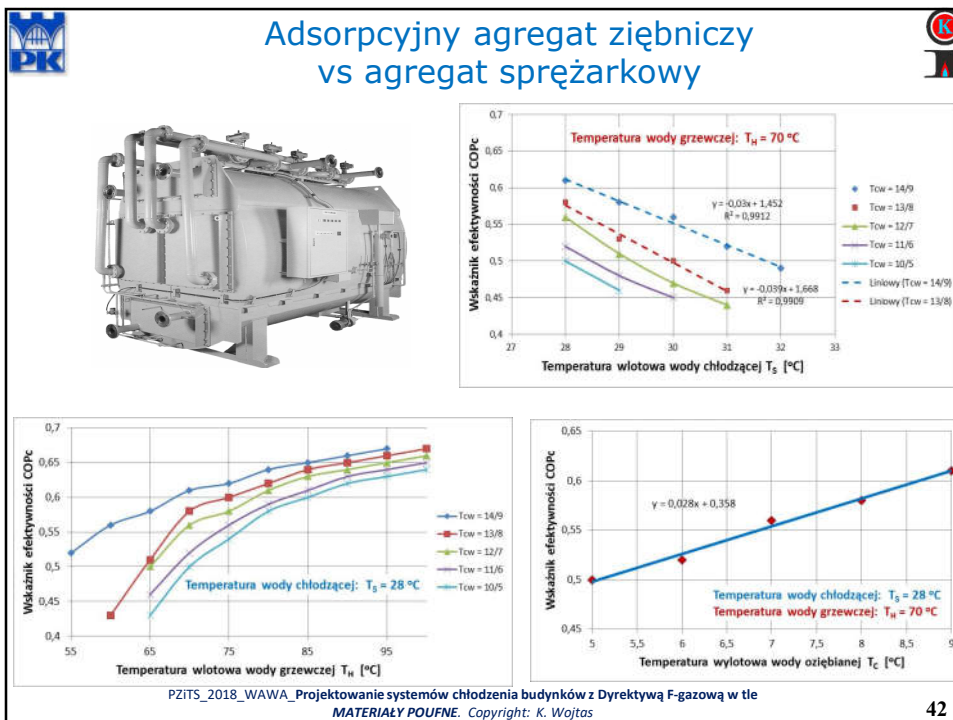
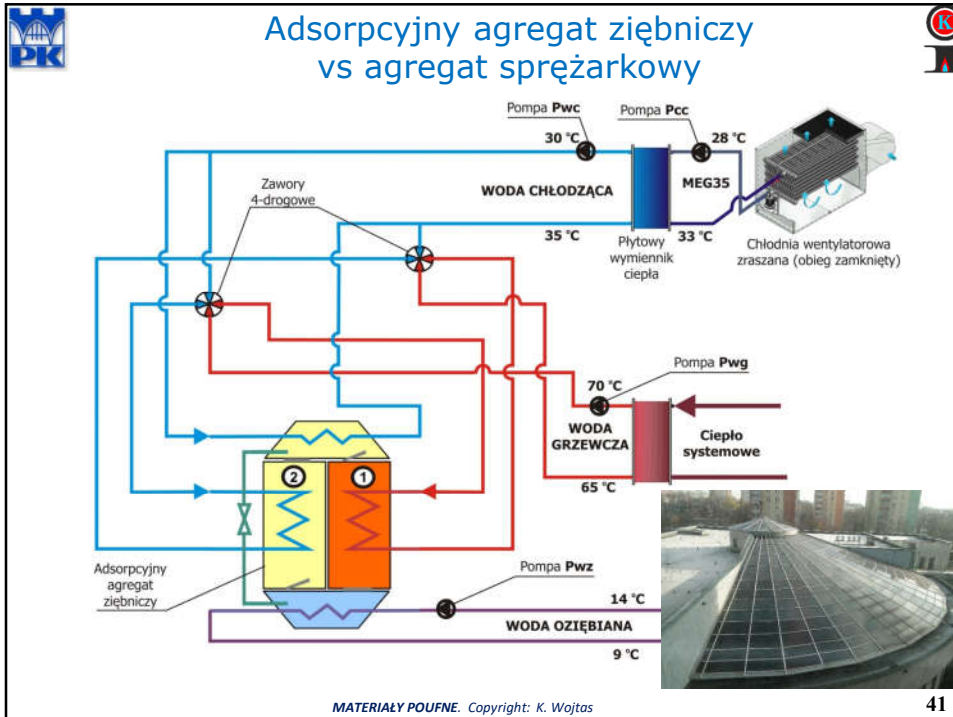
Czy agregaty absorpcyjne mogą mieć zastosowanie w systemach trójgeneracji rozproszonej ?

Wykres regulacji warszawskiego (krakowskiego) systemu ciepłowniczego



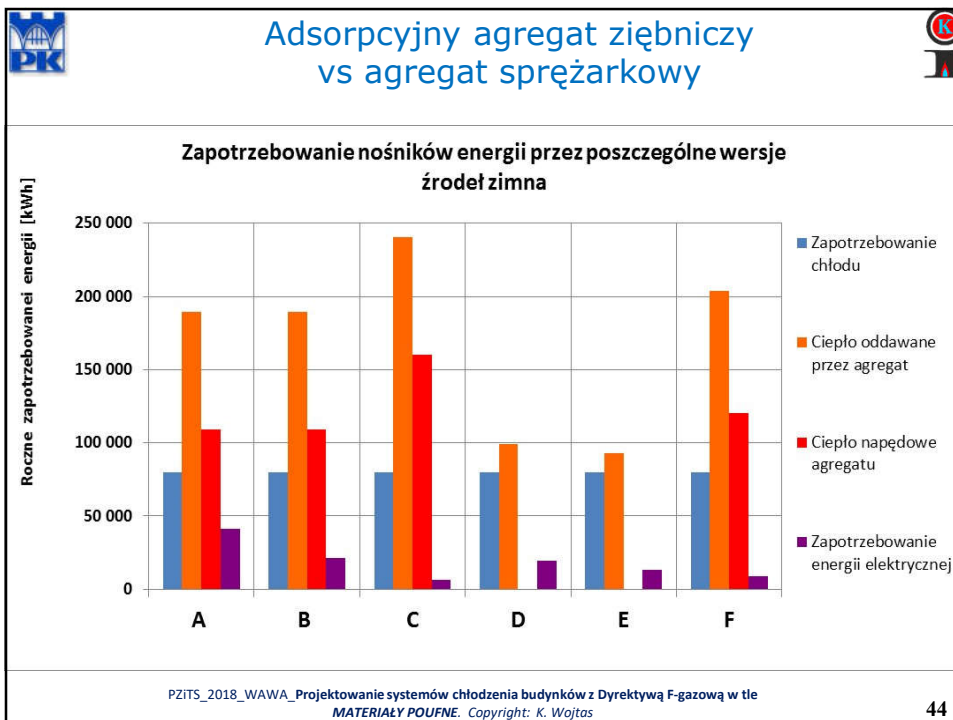
PZITS_2018_WAWA_Pr



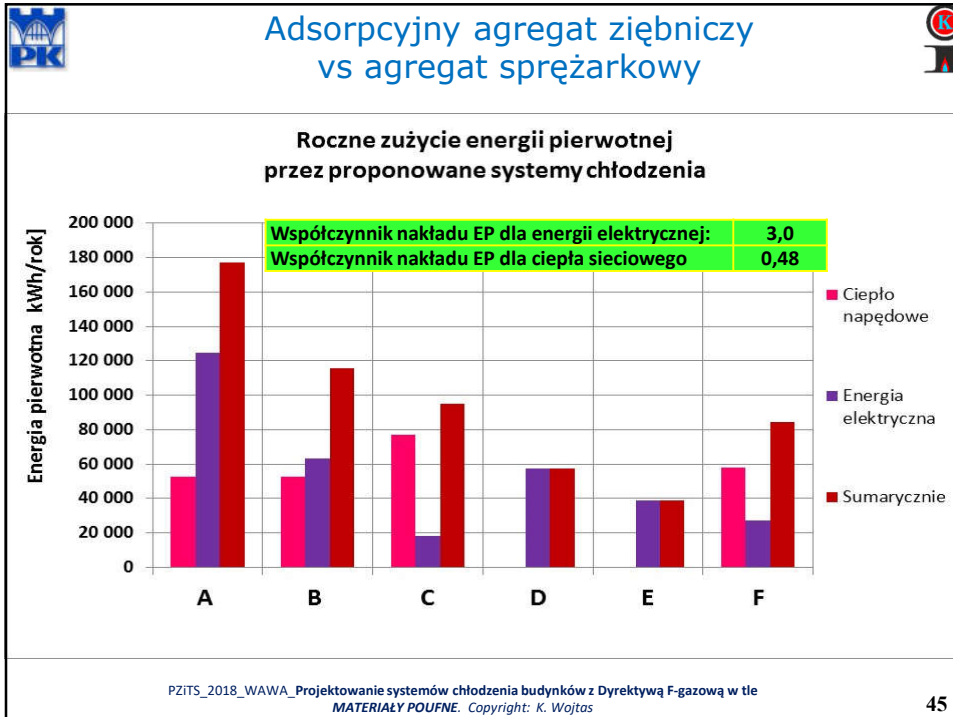


 Adsorpcyjny agregat ziębniczy vs agregat sprężarkowy 	
A	AGREGAT ADSORPCYJNY napędzany ciepłem z sieci miejskiej, (wentylatory w chłodni zraszanej oraz pompy pracują ze stałą wydajnością nominalną)
B	AGREGAT ADSORPCYJNY napędzany ciepłem z sieci miejskiej, (wentylatory pracują ze stałą wydajnością zaś pompy w układzie zmiennie przepływowym - maksymalne wartości wskaźnika efektywności energetycznej - COPc)
C	AGREGAT ADSORPCYJNY napędzany ciepłem z sieci miejskiej, (wentylatory oraz pompy o zmiennej wydajności – stała temperatura wody chłodzącej → stała wartość wskaźnika efektywności energetycznej agregatu - COPc)
D	STANDARDOWY AGREGAT SPRĘŻARKOWY (monoblok, ze skraplaczem chłodzonym powietrzem i wentylatorami osiowymi oraz sprężarkami typu scroll i czynnikiem R410A)
E	WYSOKO EFEKTYWNY AGREGAT SPRĘŻARKOWY (monoblokowy, ze skraplaczem chłodzonym powietrzem i wentylatorami osiowymi oraz turbosprężarką typu TURBOCORE i ekologicznym czynnikiem z grupy HFO)
F	SYSTEM HYBRYDOWY (agregat adsorpcyjny w wersji „C” o wydajności równej 33% obliczeniowego obciążenia chłodniczego + „szczytowy” agregat sprężarkowy w wersji „E”)
<small>PZITS_2018_WAWA_Projektowanie systemów chłodzenia budynków z Dyrektywą F-gazową w tle MATERIAŁY POUFNE. Copyright: K. Wojtas</small>	

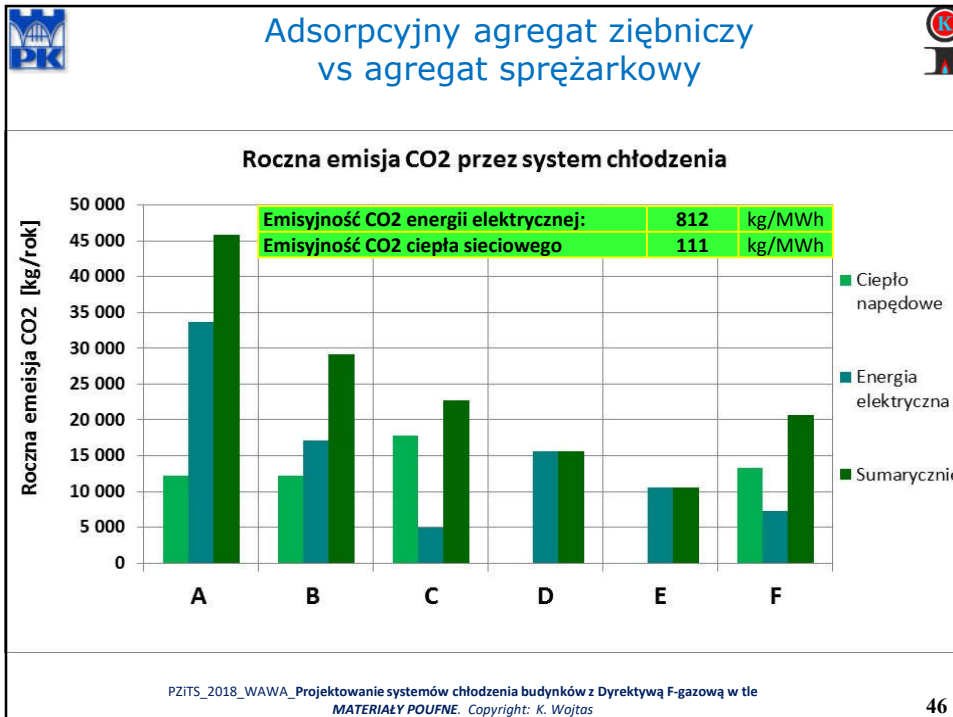
43



44



45



46



Adsorpcja – szansą w chłodzeniu niskotemperaturowym ?



Podsumowanie

- ✓ Chłodzenie budynków za pomocą agregatów sorpcyjnych napędzanych „niskotemperaturowym ciepłem z sieci ciepłowniczej” jest, na obecnym etapie rozwoju techniki chłodniczej oraz poziomów cen przedsięwzięciem nieefektywnym ekonomicznie
- ✓ W uwagi na „wskaźniki środowiskowe” dalsze badania rozwojowe w dziedzinie technologii sorpcyjnych agregatów ziębniczych wykorzystujących alternatywne źródła ciepła oraz ciepło „odpadowe” w procesie kogeneracji są „potrzebą chwili”, szczególnie w „polskiej strukturze energetycznej” opartej na węglu
- ✓ Warunkiem wstępnym, który musi być spełniony aby w miarę szybko zaistniały takie możliwości są kierunki działania, które muszą być zaakceptowane przez właściciela systemu w postaci:
 - znaczącej obniżki ceny ciepła sieciowego „dedykowanego” do produkcji chłodu bezpośrednio u odbiorcy,
 - otwartość właściciela sieci ciepłowniczej na modernizację i „uelastycznienie” sterowania zarówno parametrami jakościowymi jak i ilościowymi sieci ciepłowniczych w okresie letnim (temperatury, przepływy).

PZITS_2018_WAWA_Projektowanie systemów chłodzenia budynków z Dyrektywą F-gazową w tle
MATERIAŁY POUFNE. Copyright: K. Wojtas

47



Literatura:



1. ROZPORZĄDZENIE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) NR 517/2014 z dnia 16 kwietnia 2014 r. w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych i uchylenia rozporządzenia (WE) nr 842/2006
2. USTAWA z dnia 12 lipca 2017 r. o zmianie ustawy o substancjach zubożających warstwę ozonową oraz o niektórych fluorowanych gazach cieplarnianych oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. z dnia 23.08.2017)
3. ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (UE) 2016/2281 z dnia 30 listopada 2016 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE ustanawiającej ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią w odniesieniu do produktów ogrzewania powietrznego, chłodzących, wysokotemperaturowych agregatów chłodniczych i klimakonwektorów wentylatorowych
4. Domanski P.A, Brignoli R, Brown J.S, Kazakov A.F, McLinden M. O. – „Low-GWP refrigerants for medium and highpressure applications”, Int. Journ. Of Refrigeration, 84 (2017), p. 198-209.
5. Domanski P.A, Brignoli R, Brown J.S, Kazakov A.F, McLinden M. O. – „Low-GWP refrigerants: Performance Assessment and Selectioun Trade-offs” – presentation (2017)
6. C.W. Chan* , J. Ling-Chin, A .P. Roskilly, “A review of chemical heat pumps, thermodynamic cycles and thermal energy storage technologies for low grade heat utilization” - Applied Thermal Engineering 50 (2013) 1257 -1273
7. Henning H. M, „Solar cooling and air conditioning – thermodynamic analysis and overview about technical solutions”, Proceedings of EUROSUN 2006 Glasgow, June 2006
8. Wojtas K. “Efektywność energetyczna sprężarkowych agregatów ziębniczych w klimatyzacji. Wdrażanie Dyrektywy EPBD”, Chłodnictwo i Klimatyzacja 7/2008
9. Wojtas K. – “Wpływ parametrów projektowych i eksploatacyjnych na efektywność agregatu ziębniczego w klimatyzacji” - XI Int. Conference: Air Conditioning, Air Protection and District Heating, Wrocław - Szklarska Poręba, 2008
10. www.adsorption.de – materiały techniczne firmy GBU mbH (Niemcy)
11. www.mi.gov.pl
12. www.nape.pl – Narodowa Agencja Poszanowania Energii – Seminarium SUMMERHEAT