

WPŁYW ODZYSKU CIEPŁA NA DZIAŁANIE URZĄDZENIA CHŁODNICZEGO

mgr inż. Roman SZCZEPAŃSKI
KATEDRA TECHNIKI CIEPLNEJ
Politechnika Gdańska

1. ANALIZA TEORETYCZNA WPŁYWU ODZYSKU CIEPŁA NA PRACĘ URZĄDZENIA CHŁODNICZEGO DLA RÓŻNYCH WARUNKÓW PRACY SKRAPLACZA

Aby zobrazować wpływ zmiany warunków pracy skraplacza na działanie urządzenia chłodniczego, poniżej zostanie przedstawiony przykład rachunkowy wykorzystania ciepła odpadowego pozyskiwanego z tego wymiennika dla dwóch różnych opcji jego pracy. Najpierw dokonana zostanie ocena ilości ciepła, jakie można uzyskać wykorzystując ciepło skraplania i ciepło przegrzania gorących par czynnika chłodniczego dla **warunków nominalnych** pracy urządzenia chłodniczego. Druga część analizy będzie dotyczyła skutków, jakie powoduje zmiana nominalnej temperatury skraplania. Zmiana ta będzie polegała na jej **podwyższeniu** o 15 K. Podwyższenie temperatury skraplania ma na celu osiągnięcie wyższej temperatury końcowej podgrzewanej wody użytkowej lub wykorzystania tego ciepła do innych celów grzewczych tak, aby osiągnięta temperatura końcowa nie wymagała dalszego podgrzewania nośnika ciepła przez inne urządzenie grzewcze.

Do analizy przyjęto następujące dane charakteryzujące urządzenie chłodnicze (rys. 1):

- sprężarka tłokowa Grasso 610 wg [11]
- wydajność chłodnicza $\dot{Q}_0 = 100 \text{ kW}$
- temperatura parowania $t_0 = -10^\circ\text{C}$
- temperatura skraplania $t_k = +40^\circ\text{C}$
 $t_k' = +55^\circ\text{C}$
- przegrzanie czynnika za parownikiem $\Delta t_p = 15 \text{ K}$
- dochłodzenie ciekłego czynnika $\Delta t_d = 5 \text{ K}$
- temperatura par czynnika zasysanych przez sprężarkę $t_{ss} = +15^\circ\text{C}$

gdzie:

- \dot{Q}_0 – wydajność chłodnicza dla warunków początkowych,
- t_0 – temperatura parowania,
- t_k – nominalna temperatura skraplania,
- t_k' – temperatura skraplania po zmianie warunków pracy skraplacza,
- t_p – temperatura przegrzania czynnika chłodniczego za parownikiem,
- t_d – dochłodzenie ciekłego czynnika chłodniczego za skraplaczem,

t_{ss} – temperatura zasysanych par czynnika chłodniczego na dolocie sprężarki.

Analizę przeprowadzono dla trzech czynników chłodniczych w celu porównania wyników obliczeń ilości ciepła odpadowego i ilości wody, jaką można z tego ciepła uzyskać oraz sprawdzenia, czy zmiany parametrów pracy skraplacza dla tych czynników powodują podobne skutki. Czynniki dla których przeprowadzono analizę, to: **R 134a**, **R 717** i **R 407C**. Dla każdego z nich rozważano trzy różne przypadki pracy urządzenia chłodniczego:

- pierwszy z nich dotyczy warunków nominalnych pracy urządzenia oraz ilości ciepła, jakie można dla tych warunków osiągnąć, wraz z ilością uzyskiwanej ciepłej wody użytkowej;
- kolejny, to ocena wpływu podwyższenia temperatury skraplania wg wcześniejszych założeń na warunki pracy urządzenia chłodniczego oraz ilość uzyskiwanej c.w.u. dla stałej wydajności objętościowej sprężarki (takiej, jaką uzyskaliśmy dla warunków nominalnych);
- trzeci przypadek analizy dotyczy oceny wpływu podwyższenia temperatury skraplania wg wcześniejszych założeń, na warunki pracy urządzenia chłodniczego oraz ilość uzyskiwanej c.w.u. dla stałej wydajności chłodniczej urządzenia \dot{Q}_0 przyjętej dla warunków nominalnych.

Wszystkie trzy przypadki tej analizy dotyczą podgrzewania wody, wykorzystując do tego celu ciepło przegrzania sprężonych par czynnika i ciepło ich skraplania, od temperatury $+10^\circ\text{C}$ do temperatury $+50^\circ\text{C}$.

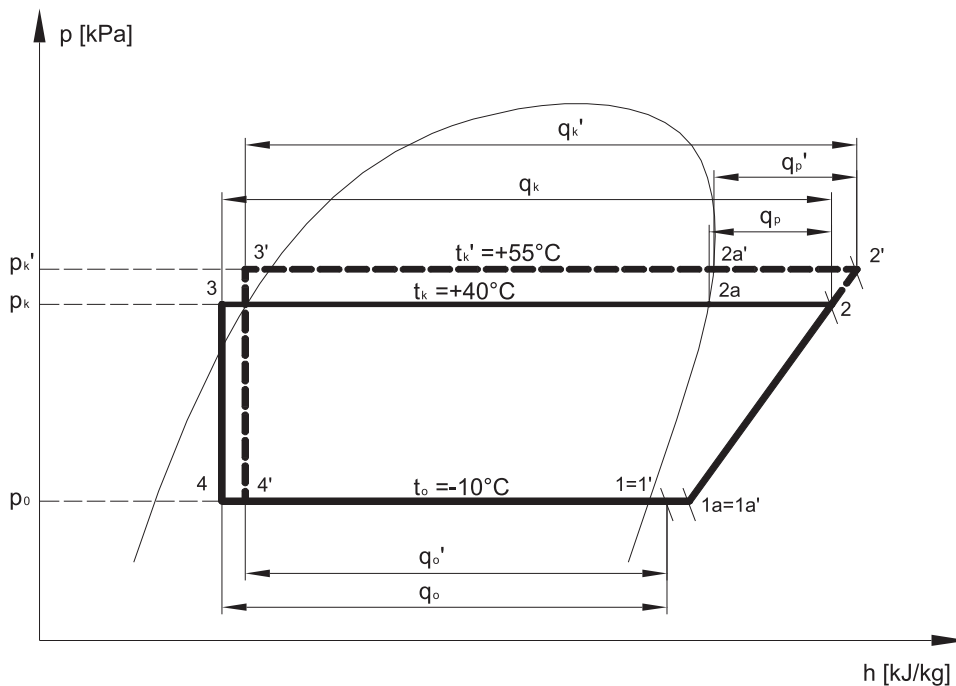
1.1 Obliczenia podstawowych wielkości charakteryzujących teoretyczny obieg chłodniczy dla czynnika R 134a dla $t_k = +40^\circ\text{C}$ i $+55^\circ\text{C}$ (tab. 1)

Obliczenie ilości wody jaką można uzyskać z ciepła odpadowego w analizowanym teoretycznym obiegu chłodniczym, pracującym na czynniku R 134a dla $t_k = +40^\circ\text{C}$ (tab.1)

W analizie założono, że odzyskiwane ciepło skraplania zostanie wykorzystane do ogrzewania ciepłej wody użytkowej.

- temperatura wody wodociągowej, która będzie podgrzewana wynosi:

$$t_{wo} = +10^\circ\text{C},$$



Rys. 1. Wykres log p-h analizowanego obiegu chłodniczego z naniesionymi punktami charakterystycznymi: — obieg chłodniczy dla warunków nominalnych $t_k = +40^\circ\text{C}$; ---- obieg chłodniczy dla $t_k' = +55^\circ\text{C}$

- temperatura wody jaką chcemy otrzymywać powinna wynosić:

$$t_{wk} = +50^\circ\text{C}.$$

Przyjęto wskaźnik strat ciepła występujących w urządzeniu na poziomie 20%, co prowadzi do zmniejszenia ilości ciepła, jaka może być przeznaczona do podgrzewania c.w.u. Tak więc jego użyteczna wydajność grzewcza wyniesie:

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_k \cdot 0,8 = 133,7 \cdot 0,8 = 107 \text{ [kW]}$$

Do podgrzania c.w.u. wykorzystywane będzie zarówno ciepło przegrzania, jak i ciepło skraplania. W analizowanym przypadku stosunek ciepła przegrzania do ciepła skraplania wynosi:

$$\frac{q_p}{q_k - q_p} = \frac{36}{206 - 36} = 0,21$$

Na tej podstawie można wyznaczyć użyteczną wydajność grzewczą procesu skraplania czynnika chłodniczego oraz wydajność grzewczą wynikającą z przegrzania czynnika chłodniczego:

- wydajność grzewczą procesu skraplania;

$$\dot{Q}_{skr} = 0,79 \cdot \dot{Q}_H = 0,79 \cdot 107 = 84,3 \text{ [kW]}$$

- wydajność grzewczą przegrzania;

$$\dot{Q}_{prze} = 0,21 \cdot \dot{Q}_H = 0,21 \cdot 107 = 22,6 \text{ [kW]}$$

Podgrzewanie wody zachodzić będzie w wymienniku przeciwprądowym w dwóch etapach. Pierwszy etap, to podgrzewanie wody od temperatury $+10^\circ\text{C}$ do temperatury

$+40^\circ\text{C}$, wykorzystując wydajność grzewczą procesu skraplania. Drugi etap, to podgrzewanie wody od temperatury $+40^\circ\text{C}$ do temperatury $+50^\circ\text{C}$, wykorzystując wydajność grzewczą przegrzania. Tak więc w pierwszym etapie otrzymamy następującą ilość podgrzanej wody:

$$\dot{m}_{wskr} = \frac{\dot{Q}_{skr}}{c_{pw} \cdot \Delta t} = \frac{84,3}{1,163 \cdot (40 - 10)} = 2417 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

gdzie:

c_{pw} – ciepło właściwe wody w [W/kgK],

Δt – różnica między temperaturą początkową a końcową wody podgrzewanej w [K].

W drugim etapie otrzymamy:

$$\dot{m}_{wprze} = \frac{\dot{Q}_{prze}}{c_{pw} \cdot \Delta t} = \frac{22,6}{1,163 \cdot (50 - 40)} = 1948 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

Zatem w ciągu godziny otrzymujemy 1948 l wody o temperaturze $+50^\circ\text{C}$. Tak więc, aby podgrzać taką ilość wody od temperatury $+10^\circ\text{C}$ do temperatury $+50^\circ\text{C}$, analizowane urządzenie chłodnicze musi pracować przez:

$$t_{pr} = \frac{\dot{m}_{wprze}}{\dot{m}_{wskr}} = \frac{1948}{2417} = 0,806 \text{ [h]}$$

Przyjmując, że sprężarka będzie pracowała przez 16 godzin dziennie, w tym czasie można uzyskać:

$$V_w = \frac{\dot{m}_{wprze} \cdot 16}{t_{pr}} = \frac{1948 \cdot 16}{0,806} = 38682 \text{ [l]}$$

wody podgrzanej od temperatury $+10^\circ\text{C}$ do $+50^\circ\text{C}$.

Tabela 1. Wyniki obliczeń charakterystycznych wielkości przyjętego do analizy obiegu chłodniczego dla $t_k = +40^\circ\text{C}$

q_0 [kJ/kg]	l_t [kJ/kg]	q_k [kJ/kg]	q_p [kJ/kg]	\dot{V}_d [m ³ /s]	q_v [kJ/m ³]	\dot{Q}_0 [kW]	ε [-]	\dot{m}_{rz} [kg/s]	N_e [kW]	\dot{Q}_k [kW]
154	41	206	36	0,1025	1283,3	100	3,75	0,649	26,6	133,7

 Tabela 2 Wyniki obliczeń ilości uzyskanej c.w.u. dla $t_k' = +55^\circ\text{C}$

\dot{Q}_H [kW]	$q_p/q_k - q_p$ [---]	\dot{Q}_{skr} [kW]	\dot{Q}_{prze} [kW]	\dot{m}_{wskr} [kg/h]	\dot{m}_{wprze} [kg/h]	t_{pr} [h]	\dot{V}_w [l]
89,2	0,26	65,7	23,5	1885	2019	0,933	32309

Tabela 3 Porównanie obliczeń ilości ciepła i ilości ciepłej wody, jakie można uzyskać z omawianego urządzenia chłodniczego dla czynnika R 134a

t_k [°C]	\dot{Q}_H [kW]	$q_p/q_k - q_p$ [---]	\dot{Q}_{sk} [kW]	\dot{Q}_{prze} [kW]	\dot{m}_{wskr} [kg/h]	\dot{m}_{wprze} [kg/h]	t_{pr} [h]	\dot{V}_w [l]
+40	107	0,21	84,3	22,6	2417	1948	0,806	38682
+55	89,2	0,26	65,7	23,5	1885	2019	0,933	32309
Δ	-17,8	0,05	-18,6	0,9	-532	71	0,127	-6373

gdzie: Δ – różnica między daną wielkością dla temperatury skraplania $t_k = +55^\circ\text{C}$ i $+40^\circ\text{C}$

 Tabela 4 Zmiany charakterystycznych wielkości obiegu chłodniczego w wyniku zmiany temperatury skraplania z $+40^\circ\text{C}$ na $+55^\circ\text{C}$ dla czynników: R 134a, R 717 i R 407C

Wielkość charakterystyczna obiegu		Skutki, jakie powoduje podwyższenie temperatury skraplania t_k
Słownie	Symbol	
Jednostkowa wydajność chłodnicza	q_0	maleje
Jednostkowa teoretyczna praca sprężania	l_t	rośnie
Jednostkowa wydajność cieplna skraplacza	q_k	maleje lub rośnie
Jednostkowe ciepło przegrzania	q_p	rośnie
Jednostkowa objętościowa wydajność chłodnicza	q_v	maleje
Objętościowa wydajność sprężarki doskonałej	\dot{V}_d	nie zmienia się
Wydajność chłodnicza	\dot{Q}_0	maleje
Współczynnik wydajności chłodniczej	ε	maleje
Rzeczywisty strumień masowy czynnika	\dot{m}_{rz}	maleje
Teoretyczne zapotrzebowanie mocy napędowej sprężarki	N_e	rośnie
Wydajność cieplna skraplacza	\dot{Q}_k	maleje

Dalsza analiza dotyczy tego samego układu chłodniczego co poprzednio, lecz została podwyższona w nim temperatura skraplania z $+40^\circ\text{C}$ do $+55^\circ\text{C}$. Analiza ta ma na celu sprawdzenie, jak zmieniają się parametry pracy urządzenia chłodniczego przy podwyższaniu temperatury skraplania. Podwyższenie tej temperatury ma na celu osiągnięcie wyższej temperatury końcowej podgrzewanej ciepłej wody użytko-

wej lub uzyskanie korzyści z lepszego wykorzystania ciepła przegrzania czynnika w odniesieniu do ciepła skraplania. W poniższej analizie nie zmieniono temperatury końcowej, jaką ma osiągnąć c.w.u., ponieważ nie miałyby sensu porównywanie wyników obliczeń uzyskanej ilości podgrzewanej wody.

Obliczenia ilości wody jaką można uzyskać z ciepła odpadowego w omawianym teoretycznym układzie chłod-

Tabela 5. Wpływ zmiany temperatury skraplania z +40°C na +50°C na ilość uzyskiwanej ciepłej wody użytkowej dla czynników: R 134a, R 717 i R 407C

Wielkość charakterystyczna		Skutki, jakie powoduje podwyższenie temperatury skraplania t_k
Słownie	Symbol	
Użyteczna wydajność grzewcza	\dot{Q}_H	maleje
Stosunek ciepła przegrzania do ciepła skraplania	$\frac{q_p}{q_k - q_p}$	rośnie
Wydajność grzewcza skraplania	\dot{Q}_{skr}	maleje
Wydajność grzewcza przegrzania	\dot{Q}_{prze}	rośnie
Ilość podgrzanej wody od temperatury +10°C do +40°C wykorzystując wydajność grzewczą skraplania	\dot{m}_{wskr}	maleje
Ilość podgrzanej wody od temperatury +40°C do +50°C wykorzystując wydajność grzewczą przegrzania	\dot{m}_{wprze}	rośnie
Ilość podgrzanej wody od temperatury +10°C do +50°C w ciągu jednego dnia (16 godzin pracy sprężarki)	V_w	rośnie lub maleje

Tabela 6 Porównanie obliczeń podstawowych wielkości charakteryzujących analizowany obieg chłodniczy dla czynnika R 134a

t_k [°C]	\dot{Q}_0 [kW]	\dot{V}_d [m³/s]	\dot{m}_{rz} [kg/s]	N_e [kW]	\dot{Q}_k [kW]
+40	100	0,1025	0,649	26,6	133,7
+55	100	0,1347	0,763	38,2	146,5
Δ	0	0,0322	0,114	11,5	12,8

gdzie: Δ – różnica między daną wielkością dla temperatury skraplania $t_k = +55^\circ\text{C}$ i $+40^\circ\text{C}$

Tabela 7. Porównanie obliczeń ilości ciepła i ilości ciepłej wody, jakie można uzyskać z analizowanego urządzenia chłodniczego dla czynnika R 134a

t_k [°C]	\dot{Q}_H [kW]	$q_p/q_k - q_p$ [---]	\dot{Q}_{skr} [kW]	\dot{Q}_{prze} [kW]	\dot{m}_{wskr} [kg/h]	\dot{m}_{wprze} [kg/h]	t_{pr} [h]	V_w [l]
+40	107	0,21	84,3	22,6	2417	1948	0,806	38682
+55	117,2	0,26	86,4	30,8	2476	2653	0,933	42450
Δ	12,7	0,05	2,1	8,2	58	704	0,127	3768

Tabela 8 Porównanie obliczeń ilości ciepła i ilości ciepłej wody, jakie można uzyskać z analizowanego urządzenia chłodniczego dla czynnika R 717

t_k [°C]	\dot{Q}_H [kW]	$q_p/q_k - q_p$ [---]	\dot{Q}_{skr} [kW]	\dot{Q}_{prze} [kW]	\dot{m}_{wskr} [kg/h]	\dot{m}_{wprze} [kg/h]	t_{pr} [h]	V_w [l]
+40	102,4	0,28	73,4	29	2103	2492	0,844	39870
+55	109,8	0,38	67,7	42,1	1940	3620	0,536	57926
Δ	7,4	0,1	-5,7	13,1	-163	1128	-0,308	18055

Tabela 9. Porównanie obliczeń ilości ciepła i ilości ciepłej wody, jakie można uzyskać z analizowanego urządzenia chłodniczego dla czynnika R 407C

t_k [°C]	\dot{Q}_H [kW]	q_p/q_k-q_p [---]	\dot{Q}_{skr} [kW]	\dot{Q}_{prze} [kW]	\dot{m}_{wskr} [kg/h]	\dot{m}_{wprze} [kg/h]	t_{pr} [h]	V_w [l]
+40	104,9	0,22	81,5	23,4	2335	2016	0,863	37359
+55	116,8	0,32	78,6	38,2	2254	3283	0,686	52528
Δ	7,4	0,1	-2,8	14,8	-80,6	1267	-0,176	15168

Tabela 10. Zmiany charakterystycznych wielkości obiegu chłodniczego w wyniku zmiany temperatury skraplania z +40°C na +55°C dla czynników: R 134a, R 717 i R 407C

Wielkość charakterystyczna obiegu		Skutki, jakie powoduje podwyższenie temperatury skraplania t_k
Słownie	Symbol	
Jednostkowa wydajność chłodnicza	q_0	maleje
Jednostkowa teoretyczna praca sprężania	l_t	rośnie
Jednostkowa wydajność cieplna skraplacza	q_k	maleje lub rośnie
Jednostkowe ciepło przegrzania	q_p	rośnie
Jednostkowa objętościowa wydajność chłodnicza	q_v	maleje
Objętościowa wydajność sprężarki doskonałej	\dot{V}_d	rośnie
Wydajność chłodnicza	\dot{Q}_0	bez zmian
Współczynnik wydajności chłodniczej	ϵ	maleje
Rzeczywisty strumień masowy czynnika	\dot{m}_{rz}	rośnie
Teoretyczne zapotrzebowanie mocy napędowej sprężarki	N_c	rośnie
Wydajność cieplna skraplacza	\dot{Q}_k	rośnie

niczym dla $t_k' = +55^\circ\text{C}$ (tab. 2)

W celu wyznaczenia ilości ciepłej wody użytkowej jaką można uzyskać w tym przypadku, założono te same warunki i zasady, jakie przyjęto dla temperatury skraplania $t_k = +40^\circ\text{C}$. Uzyskane wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2.

Porównanie wyników obliczeń dla różnych temperatur skraplania dla czynnika R 134a prezentuje tabela 3.

2. WPŁYW ZMIAN TEMPERATURY SKRAPLANIA NA DZIAŁANIE URZĄDZENIA CHŁODNICZEGO ORAZ OCENA ILOŚCI UZYSKANEJ C.W.U. PRZY ZACHOWANIU STAŁEJ WYDAJNOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ SPRĘŻARKI $\dot{V}_d = \text{const}$.

Analiza teoretyczna dwóch pierwszych przypadków, czyli obliczenia ilości ciepłej wody użytkowej, jaką można uzyskać z danego obiegu chłodniczego dla warunków nomi-

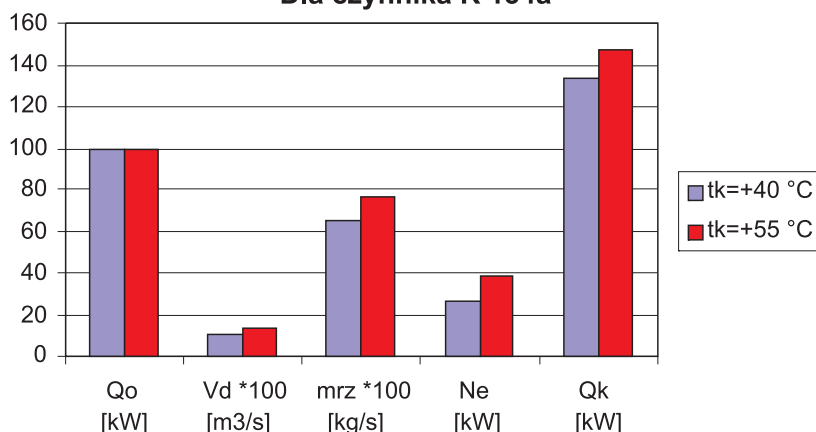
nalnych i po zmianie temperatury pracy skraplacza z +40°C na +55°C, oraz wpływu tych zmian na wielkości charakterystyczne urządzenia chłodniczego przy zachowaniu stałej wydajności objętościowej sprężarki \dot{V}_d , pozwala dokonać szeregu ważnych obserwacji, które przedstawiono w tabeli 4. Zawarte w niej wnioski dotyczą wszystkich trzech analizowanych czynników chłodniczych.

Podwyższenie temperatury skraplania wpływa niekorzystnie na charakterystyczne wielkości obiegu chłodniczego. Samo podwyższenie t_k bez zmiany wydajności objętościowej sprężarki, powoduje duży spadek jej wydajności chłodniczej w granicach 25%, co jest praktycznie niedopuszczalnie, jeśli chcemy, aby urządzenie chłodnicze odprowadzało taki sam strumień ciepła z komory chłodniczej. Ponadto, wzrasta zużycie energii przez sprężarkę od 3% do 18%, w zależności od rodzaju czynnika chłodniczego, z którym pracuje ta maszyna. Współczynnik wydajności chłodniczej również maleje o ok. 30%. Jedyną zaletą takiej

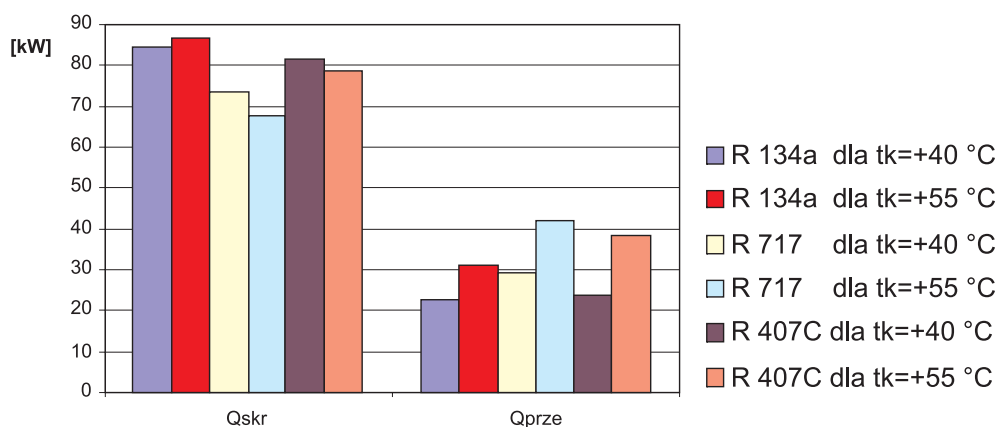
Tabela 11. Skutki zmiany temperatury skraplania z +40°C na +50°C na ilość uzyskiwanej ciepłej wody użytkowej dla czynnika R 134a, R 717 i R 407C

Wielkość charakterystyczna		Skutki, jakie powoduje podwyższenie temperatury skraplania t_k
Słownie	Symbol	
Użyteczna wydajność grzewcza	\dot{Q}_H	rośnie
Stosunek ciepła przegrzania do ciepła skraplania	$\frac{q_p}{q_k - q_p}$	rośnie
Wydajność grzewcza skraplania	\dot{Q}_{skr}	rośnie lub maleje
Wydajność grzewcza przegrzania	\dot{Q}_{prze}	rośnie
Ilość podgrzanej wody od temperatury +10°C do +40°C wykorzystując wydajność grzewczą skraplania	\dot{m}_{wskr}	rośnie lub maleje
Ilość podgrzanej wody od temperatury +40°C do +50°C wykorzystując wydajność grzewczą przegrzania	\dot{m}_{wprze}	rośnie
Ilość uzyskanej wody od temperatury +10°C do +50°C w ciągu jednego dnia (16 godzin pracy sprężarki)	V_w	rośnie

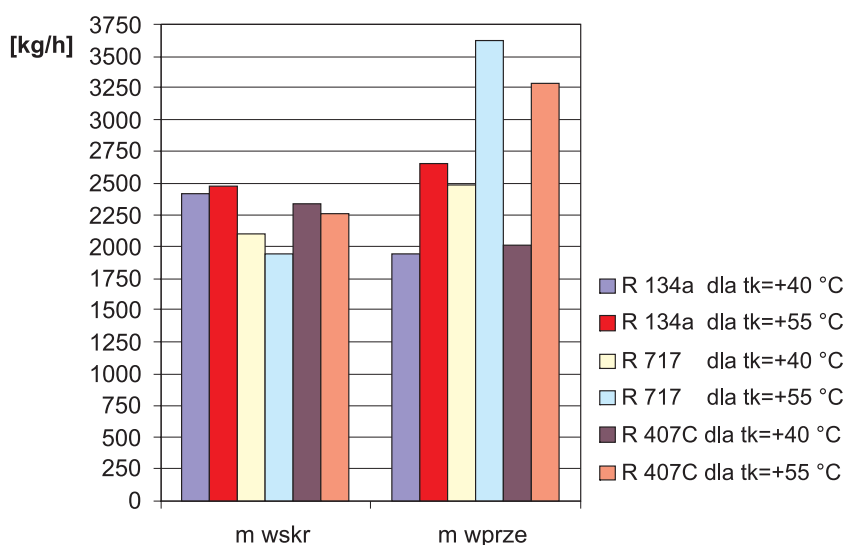
Dla czynnika R 134a



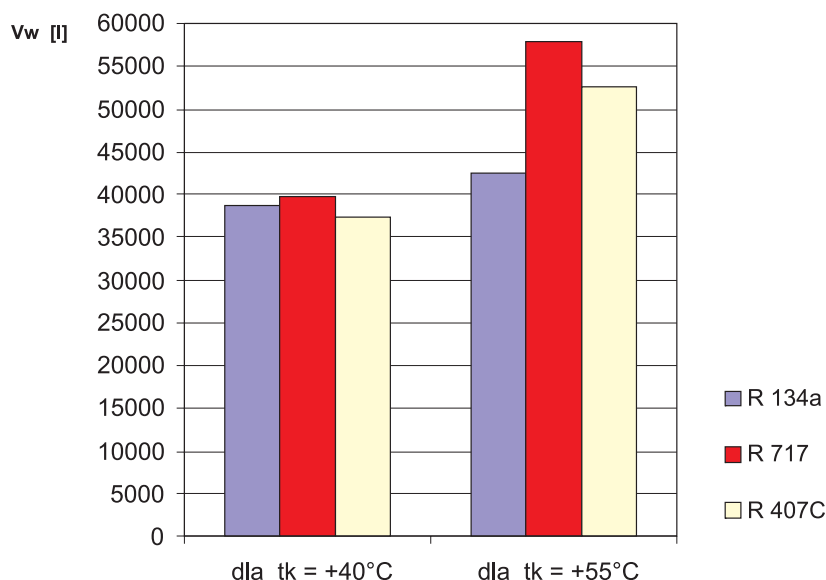
Rys. 2. Porównanie obliczeń podstawowych wielkości charakterystycznych analizowany obieg chłodniczy dla czynnika R 134a



Rys. 3 Porównanie obliczeń ciepła skraplania \dot{Q}_{skr} i ciepła przegrzania \dot{Q}_{prze} dla analizowanych czynników chłodniczych dla $t_k=+40^\circ\text{C}$ i $t_k=+55^\circ\text{C}$



Rys. 4 Porównanie obliczeń ilości podgrzanej wody od ciepła skraplania \dot{m}_{wskr} i ilości podgrzanej wody od ciepła przegrzania \dot{m}_{wprze} dla analizowanych czynników chłodniczych dla $t_k=+40^\circ\text{C}$ i $t_k=+55^\circ\text{C}$



Rys. 5 Ilość podgrzanej wody V_w od temperatury $+10^\circ\text{C}$ do $+50^\circ\text{C}$ w ciągu jednego dnia (16 godzin pracy sprężarki) dla analizowanych czynników chłodniczych dla $t_k=+40^\circ\text{C}$ i $t_k=+55^\circ\text{C}$

zmiany może być to, że wzrasta ciepło przegrzania, dzięki któremu moglibyśmy uzyskać więcej ciepła z przegrzewu czynnika chłodniczego oraz wyższą temperaturę końcową cieplej wody użytkowej lub do innych celów grzewczych. W tabeli 5 podsumowano wpływ zmiany temperatury skraplania na użyteczną wydajność grzewczą oraz uzyskiwaną z niej ilość ciepłej wody użytkowej o temperaturze $+50^\circ\text{C}$. Dotyczy to, podobnie jak powyżej, tych samych parametrów pracy urządzenia chłodniczego, czyli porównania nominalnych warunków pracy z pracą urządzenia w warunkach podwyższonej temperatury skraplania dla $\dot{V}_d = \text{const}$.

Skutkiem podwyższenia temperatury skraplania jest zmniejszenie użytecznej wydajności grzewczej w wyniku zmniejszenia wydajności cieplnej skraplacza. Natomiast zwiększa się ilość ciepła przegrzania par czynnika chłodniczego oraz wzrasta stosunek tego ciepła do ciepła skraplania. W zależności od rodzaju czynnika chłodniczego, wzrost ten powoduje zwiększenie całkowitej ilości pod-

grzanej wody \dot{V}_w od temperatury $+10^\circ\text{C}$ do $+50^\circ\text{C}$.

Mimo tego, że dzięki podwyższeniu temperatury skraplania dla czynnika R 717 i R 407C uzyskujemy większą ilość podgrzanej wody, to może to być nieekonomiczne, ponieważ skutki negatywne wynikające ze zmian warunków pracy urządzenia chłodniczego mogą przewyższać zalety takich zmian. Skutkiem ubocznym może być mniejsza żywotność sprężarki chłodniczej w wyniku pracy przy podwyższonych parametrach (wyższa temperatura końca sprężania i wyższy spręż).

2.1 Analiza wpływu podwyższenia temperatury skraplania na działanie urządzenia chłodniczego oraz ilość uzyskiwanej c.w.u. dla $\dot{Q}_0 = \text{const}$.

Jeżeli urządzenie chłodnicze miałyby pracować z taką samą wydajnością chłodniczą, jaka została ustalona dla danej komory chłodniczej, wówczas należałoby zwiększyć wydajność objętościową sprężarki. Tak więc w kolejnej

części analizy przedstawione zostaną zmiany, jakie spowoduje zwiększenie wydajności sprężarki w celu osiągnięcia takiej samej wydajności chłodniczej, jaką założono nominalnie, czyli $\dot{Q}_0 = 100$ kW.

Zmianie ulegną następujące wielkości charakterystyczne obiegu:

- wydajność objętościowa sprężarki doskonałej \dot{V}_d ,
- rzeczywista wydajność masowa \dot{m}_{rz} ,
- teoretyczne zapotrzebowanie mocy napędowej N_e ,
- wydajność cieplna skraplacza \dot{Q}_k .

Pozostałe parametry obiegu nie zmienią się. Tok obliczeń dla tej analizy pozostaje taki sam, jak poprzednio z uwzględnieniem stałej wydajności chłodniczej urządzenia.

Jak wynika z oceny jakościowej przedstawionej w tabeli 10, podwyższenie temperatury skraplania przy zachowaniu stałej wydajności chłodniczej urządzenia \dot{Q}_0 powoduje wzrost wydajności objętościowej sprężarki \dot{V}_d o ok. 33%, co wpływa na jeszcze większe niż poprzednio zmiany jej mocy napędowej N_e , która zwiększa się nawet o 54% dla czynnika R 407C, a średnio o 45%. Taki wzrost wydajności i mocy napędowej sprężarki powoduje niewielkie zwiększenie wydajności cieplnej skraplacza \dot{Q}_k o ok. 10%.

Aby ocenić, jakie korzyści powoduje zwiększenie wydajności cieplnej skraplacza, w tabeli 11 przedstawiono syntetyczne podsumowanie wyników obliczeń ilości uzyskiwanej ciepłej wody użytkowej o zadanej temperaturze.

Utrzymanie wydajności chłodniczej urządzenia \dot{Q}_0 na stałym poziomie, przy podwyższeniu temperatury skraplania z $+40^\circ\text{C}$ na $+55^\circ\text{C}$, powoduje wzrost ilości uzyskiwanej ciepłej wody użytkowej dla trzech przyjętych do analizy czynników chłodniczych: R 134a, R 717 i R 407C. Najkorzystniejsze wyniki osiąga się dla amoniaku, bowiem zwiększenie ilości uzyskiwanej wody sięga ok. 55%. Najmniej korzystna zmiana temperatury skraplania dotyczy czynnika R 134a, ponieważ powoduje ona wzrost uzyskiwanej ciepłej wody użytkowej o niepełne 10% przy wzroście zapotrzebowania na energię napędową sprężarki o ok. 43%.

Tak więc, aby podjąć decyzję dotyczącą podwyższenia temperatury skraplania w urządzeniu, konieczne jest przeprowadzenie szczegółowej analizy wszystkich parametrów jego pracy i stwierdzenie, czy mimo niekorzystnych warunków działania urządzenia, celowe będzie podwyższenie t_k po to, aby końcowa temperatura podgrzewanej wody nie wymagała dalszego jej podgrzewania.

PODSUMOWANIE ANALIZY TEORETYCZNEJ WYKORZYSTANIA CIEPŁA ODPADOWEGO DO PODGRZEWANIA CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ, DLA RÓŻNYCH PARAMETRÓW PRACY SKRAPLACZA

Przedstawiona powyżej analiza pozwala stwierdzić, że podwyższenie temperatury skraplania powoduje:

- wzrost poboru mocy napędowej sprężarki N_e ,

- spadek wydajności chłodniczej urządzenia \dot{Q}_0 przy stałej wydajności objętościowej sprężarki,
- spadek wydajności cieplnej skraplacza \dot{Q}_k przy stałej wydajności objętościowej sprężarki \dot{V}_d ,
- wzrost wydajności cieplnej skraplacza \dot{Q}_k przy zachowaniu stałej wydajności chłodniczej urządzenia \dot{Q}_0 ,
- wzrost temperatury końca sprężania czynnika, co powoduje między innymi obniżenie trwałości sprężarki.

Wynika stąd, że aby uzyskać ciepłą wodę „za darmo”, należy wykorzystywać ciepło skraplania przy nominalnych parametrach pracy urządzenia chłodniczego.

LITERATURA:

- [1] Bonca Z., Butrymowicz D., Dambek D., Depta A., Targański W.: Czynniki chłodnicze i nośniki ciepła. Własności cieplne, chemiczne i eksploatacyjne. Wyd. MASTA, Gdańsk 1997.
- [2] Kalinowski K., Paliwoda A., Bonca Z., Butrymowicz D., Targański W.: Amoniakalne urządzenia chłodnicze. Podstawy teoretyczne, budowa, działanie. Tom I. Wyd. MASTA, Gdańsk 2000.
- [3] Ullrich H.-J.: Technika chłodnicza. Poradnik. Tom 1. Wyd. MASTA, Gdańsk 1998.
- [4] Ullrich H.-J.: Technika chłodnicza. Poradnik. Tom 2. Wyd. MASTA, Gdańsk 1999.
- [5] Daniewska M.: Odzysk ciepła skraplania czynnika chłodniczego. „Chłodnictwo & Klimatyzacja”, 1996, nr 6.
- [6] Döhlinger M.: Jak można przyczynić się do oszczędzenia energii? Lepsze urządzenia, zdrowsze środowisko. „Chłodnictwo & Klimatyzacja”, 1997, nr 1.
- [7] Gazda W., Task M.: Wybrane aspekty wykorzystania ciepła odpadowego ze skraplacza urządzenia chłodniczego do przygotowania c.w.u. „Chłodnictwo & Klimatyzacja”, 2002, nr 11.
- [8] Paliwoda A.: Oszczędzanie energii w chłodnictwie żywnościowym. „Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna”, 1999, nr 2.
- [9] Staniszewski D., Bonca Z.: Aspekt techniczno-ekonomiczny odzysku ciepła w instalacjach chłodniczych. „Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna”, 2006, nr 1.
- [10] Wójcik P., Bonca Z.: Odzysk ciepła w agregacie do schładzania wody lodowej. „Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna”, 2006, nr 2.
- [11] Materiały informacyjne firmy Grasso.

