

co stanowi $\frac{13150}{59100} \cdot 100 = 22,3\%$ ciepła dostarczonego.

6) Przez promieniowanie, wentylację i t. p. resztę:
 $59100 - (13650 + 2990 + 22450 + 16800) = 3210 \text{ kal/h.}$ czyli $5,43\%$

IX. Badanie urządzeń chłodniczych.

Urządzenia chłodnicze stosowane bywają do dwóch przedewszystkiem celów: do chłodzenia płynów i powietrza oraz do wytwarzania lodu. W pierwszym wypadku czynnik odbierający ciepło, więc amonjak, bezwodnik węglowy lub siarkawy, chłodzi solankę, która dopiero służy do chłodzenia cieczy lub powietrza albo też rozprężając się w przestrzeni, która ma być chłodzoną, bezpośrednio odbiera ciepło. Zależnie więc od tego, jaki jest ogólny układ urządzenia chłodniczego dostosowuje się odpowiednią metodę pomiaru.

W każdym z tych wypadków ogólny bilans urządzenia chłodniczego ze sprężarką przedstawi się następująco:

$$Q_0 + AL_i = Q \pm S,$$

gdzie $Q_0 \text{ kal/h}$ oznacza ciepło doprowadzane do układu, $AL_i \text{ kal/h}$ — indykowaną pracę mechaniczną doprowadzaną do sprężarki, $Q \text{ kal/h}$ — ciepło odprowadzone z układu, $S \text{ kal/h}$ — straty o znaku dodatnim lub ujemnym, wszystko odniesione do tego samego okresu czasu, zazwyczaj do 1 godziny. Równanie to jest punktem wyjścia przy wszelkich badaniach chłodzarek, oznaczenie tych trzech wielkości stanowi właściwy cel pomiaru.

Równanie to jest jednak słusznem pod warunkiem, że na początku i na końcu okresu pomiaru panuje w układzie ten sam stan, więc aby to osiągnąć należy podczas pomiaru utrzymywać stan równowagi w układzie, temperatury we wszystkich częściach urządzenia powinny być podczas tego okresu stałe.

Badanie urządzenia chłodniczego sprowadza się do ustalenia wielkości: skutku chłodzenia $Q_0 \text{ kal/h}$, pracy indykowanej sprężarki $632 N_i$ i ciepła odprowadzonego ze skraplacza $Q \text{ kal/h}$.

1. Oznaczanie skutku chłodzenia.

Oznaczanie tej wielkości najbardziej zależne jest od przeznaczenia i sposobu wykonania badanego urządzenia chłodniczego. Mogą więc tu mieć zastosowanie następujące metody:

a) Ciepło odbierane jest z pomieszczeń chłodzonych przy pomocy solanki, krążącej przez rury; solanka ta dopływa z temperaturą niższą.

a pobrawszy od chłodzonych przedmiotów ciepło, odpływa z temperaturą wyższą, by następnie tę samą ilość ciepła oddać w parowniku czynnikowi pracującemu, wszystko pod warunkiem, że temperatury czynnika i solanki, mierzone w poszczególnych miejscach, nie ulegają podczas pomiaru zmianie czyli że ilość ciepła tkwiącego w układzie jest stała.

Jeżeli odczytamy temperaturę solanki przy dopływie do parownika τ_2 i przy odpływie τ_1 oraz zmierzmy jej ilość G_0 , to skutek chłodzenia znajdziemy ze związku:

$$Q_0 = G_0 c_p (\tau_2 - \tau_1).$$

Ilość solanki mierzy się w ten sposób, że na jej powrotnym ciągu cyrkulacyjnym, za pompą a bezpośrednio przed parownikiem, ustawiamy np. *danaidę*, z której solanka dostaje się bezpośrednio do parownika. Wobec małej różnicy temperatur solanki przy wpływie i wypływie z parownika stosować należy termometry ze skalą podzieloną na $1/10^\circ \text{C}$.

Wartość ciepła właściwego solanki, jako roztworu chlorku sodowego (NaCl) albo chlorku wapnia (CaCl_2) podaje następująca tablica w zależności od stężenia roztworu, mierzonego ciężarem właściwym:

Na Cl	Ciepł. właściwy przy 15°C	1,029	1,043	1,073	1,088	1,120	1,135	1,150	1,166	1,182	1,199
	Ciepł. właściwe	0,960	0,947	0,916	0,898	0,865	0,848	0,832	0,815	0,798	0,782
Ca Cl ₂	Ciepł. właściwy przy 15°C	1,034	1,051	1,087	1,106	1,143	1,163	1,182	1,203	1,223	1,233
	Ciepł. właściwe	0,980	0,947	0,878	0,854	0,804	0,778	0,754	0,732	0,710	0,690

Metoda ta ma tę ujemną stronę, że przy przepływie przez *danaidę*, lub inny przybór mierniczy, solanka przejmuje część ciepła z otoczenia co nieco zmienia normalne warunki pracy urządzenia i pociąga pewne błędy.

b) Dokładna, dająca się łatwo regulować metoda oznaczania skutku chłodzenia Q_0 polega na tem, że z parownika (rys. 146) przeprowadza się solankę, zamiast przez rurociągi chłodzące właściwe urządzenia, przez dobrze otulony od strat cieplnych zbiornik, w którym znajduje się węzownica, ogrzewana parą, albo, że wprowadza się tę węzownicę wprost do parownika z mieszadłami, a pompa cyrkulacyjna jest wówczas nieczynna. W pierwszym wypadku utrzymuje się podczas pomiaru stałą różnicę temperatur przy wlocie i wylocie do zbiorniczka, w którym ogrzewamy solankę, w drugim temperatura solanki przy ruchu mieszadeł powinna być stale jednakowa.

Ilość doprowadzonego ciepła z pary jest przy ogólnym stanie równowagi równa ilości odprowadzonego ciepła przez urządzenie chłodnicze czyli równa skutkowi chłodzenia Q_0 . Jeżeli zaś ciepłok całkowity pary grzejnej wynosi i , zaś temperatura skroplin t_0 , to przy ilości skroplonej pary w godzinie D_0 , skutek chłodzenia wyrazi się:

$$Q_0 = D_0 (i - t_0).$$

Wielkość i ustalamy w ten sposób, że doprowadzamy do ogrzewania solanki parę silnie zdławioną w ręcznym zaworze bezpośrednio przed węzownicą, dzięki czemu zyskujemy jej lekkie przegrzanie, a więc:

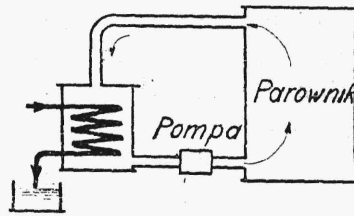
$$Q_0 = D_0 [i' + c_p (t - \vartheta) - t_0]$$

zatem wszystkie wielkości są znane.

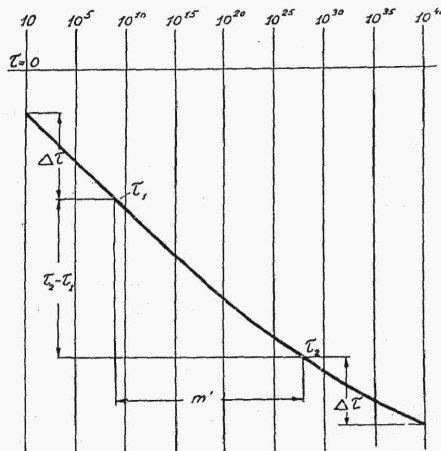
Wielkość powierzchni węzownicy miedzianej dobieramy według współczynnika przenikania ciepła 600—800, t. zn. że tyle kalorii przenika w godzinie z węzownicy do solanki przez 1 m^2 powierzchni przy różnicy temperatur 1°C . Dobrze jest węzownicę zawiesić, żeby można ją było częściowo zanurzać lub wynurzać z solanki i przez to regulować ilość doprowadzanego ciepła.

c) Metoda kalorymetryczna oznaczania skutku chłodzenia stosowana jest w tych wypadkach, gdy poprzednio opisane metody nie dadzą się zastosować, a polega metoda ta na obliczeniu ilości ciepła potrzebnej do oziębienia parownika jako całości przy normalnym ruchu sprężarki. W tym celu jeżeli sprężarka normalnie pracuje przy temperaturze solanki τ , w granicach od τ_2 do τ_1 , zaczynamy pomiar puszczając w ruch sprężarkę,

kiedy temperatura solanki jest $\tau_1 - \Delta\tau$, gdzie $\Delta\tau$ stanowi kilka stopni. W miarę jak sprężarka pracuje, temperatura solanki, która poza parownik nie wydostaje się, obniża się i gdy osiągnie temperaturę $\tau_2 + \Delta\tau$, sprężarkę zatrzymujemy i pomiar kończymy. Odczytywane temperatury co 5 minut zestawiamy w wykres w funkcji czasu (rys. 147) i o ile otrzymamy dla da-



Rys. 146



Rys. 147.

nego zakresu temperatur prawie linię prostą, odcieramy odcinek czasu m' potrzebny do ostudzenia parownika o $(\tau_2 - \tau_1)^\circ\text{C}$, przeliczamy to na godzinę i mnożymy przez masę ogrzanych składników parownika i ich ciepło właściwe.

Jeżeli więc parownik, węzownica i mieszadło są żelazne i waga jego wynosi G_1 kg, a ciepło właściwe żelaza jest c_{p1} zaś solanki mieści się w parowniku G_o kg, o ciepło właściwym c_{po} , to skutek chłodzenia wyrazi się związkiem

$$Q_o = \frac{60}{m'} (\tau_2 - \tau_1) [G_1 c_{p1} + G_o c_{po}].$$

O ile generator lodu służy jednocześnie jako parownik, to pomiar ten odbywać się powinien przy próżnych formach na lód i uruchomionych mieszadłach.

Temperatury w parowniku odczytywane być powinny w różnych jego miejscach i głębokościach z dużą dokładnością na termometrach z podziałką na $1/10^\circ\text{C}$, najlepiej osadzonych w naczyniach blaszanych na kiju (patrz rys. 148); po ustaleniu się temperatury wyjmuje się termometr nazewnątrz razem z solanką, dzięki czemu można temperaturę dogodnie i dokładnie odczytać.

Ciepło właściwe solanki podane jest wyżej na str. 270, zaś ciepło właściwe:

żelaza wynosi $c_p = 0,114 \text{ kal/kg}$,

miedzi „ $c_p = 0,095 \text{ kal/kg}$.

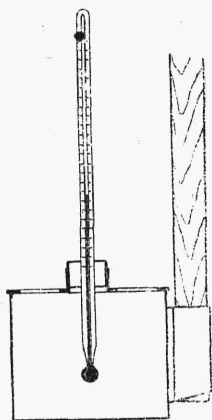
d) W tych wypadkach, gdy czynnik rozpręża się w parowniku, odbierając bezpośrednio ciepło przymusowo krążącemu powietrzu, można oznaczyć skutek chłodzenia parownika, mierząc obniżenie się temperatur powietrza podczas przepływu wzdłuż rur parownika, pozatem zmianę wilgotności oraz objętość jego w jednej godzinie V , wówczas:

$$Q_o = V (t'' - t') c_p + 637 G,$$

przyczem wyraz drugi oznacza ilość ciepła odprowadzoną wskutek skraplania się G kg pary, zawartej w powietrzu przy zmianie jego temperatury i wilgotności.

Ilość powietrza V oznacza się przy pomocy anemometrów w możliwie prostokątnym drewnianym kanale wentylacyjnym, doprowadzającym powietrze do wentylatora, mierząc prędkość w kilku punktach przekroju (patrz „Badanie wentylatorów“ str. 220).

Metoda ta nie daje dokładnych wyników wskutek trudności ścisłego zmierzenia ilości krążącego powietrza.



Rys. 148.

e) Gdy urządzenie chłodnicze służy do wyrobu lodu, skutek chłodzenia można oznaczyć bezpośrednio przez ważenie ilości lodu G_0 , produkowanego w jednej godzinie, jednak na podstawie pomiaru w ciągu najmniej 6 godzin, przyczem stan ogólny równowagi cieplnej w całym układzie badanym musi być zachowany, a temperatura solanki posiadać powinna przez cały czas pomiaru stałą wartość.

Wówczas skutek chłodzenia oblicza się jako:

$$Q_0 = G_0(t + \beta + c_p t_0),$$

przyczem t oznacza temperaturę wody, którą napełnia się formę na lód, β — jest ciepłem topliwości lodu, zaś t_0 oznacza temperaturę lodu, mierzoną w stopniach C poniżej 0°C .

Ciepło topnienia lodu $\beta = 80 \text{ kal/kg}$,

Ciepło właściwe lodu $c_p = 0,50 \text{ kal/kg}$,

Przy tej metodzie jest kilka źródeł błędów, trudnych do usunięcia. Wazenie wszystkich bloków lodu, który zresztą musi być dokładnie przemarznięty w całej masie, sprawia trudności, szczególnie przy dużych generatorach, dlatego zazwyczaj waży się bloki tylko od czasu do czasu, dorywczo, licząc natomiast ich ilość i przyjmując ciężar jednego bloku jako średni z tych dorywczych oznaczeń. Następnie trudność sprawia ustalenie temperatury lodu; wprawdzie przy "długim okresie zamrażania" możnaby uważać temperaturę lodu równą średniej temperaturze solanki, jednak wobec złej przewodności cieplnej lodu wskazaniem jest przyjąć, przy normalnych warunkach pracy generatora, średnią temperaturę całego bloku o 1°C wyższą niż temperatura solanki. Wreszcie lód przed wyjęciem z form musi w cieplej wodzie nadtajać, co pociąga za sobą straty trudne do ustalenia, a które przyjmuje się jako równe $1,5 \text{ kal/kg}$ lodu.

Warunkiem koniecznym do zapewnienia możliwej dokładności pomiaru jest utrzymanie podczas całego okresu prób stałej temperatury solanki i czynnika.

Gdyby średnia temperatura solanki na początku była τ_s , zaś na końcu pomiaru trwającego m' minut — τ_s' , to dzięki temu zmieni się skutek chłodzenia Q_0 o ΔQ_0 , przyczem

$$\Delta Q_0 = \frac{\tau_s - \tau_s'}{m'} \cdot 60 \cdot c_{ps} \cdot G_s,$$

gdzie c_{ps} jest ciepłem właściwym, a G_s — ilością solanki w generatorze.

Przy wszystkich tych metodach nie zostały uwzględnione straty ciepła wywołane przez to, że parownik, znajdując się w otoczeniu cieplejszym od swej zawartości, odbiera zzewnątrz ciepło, które musi być odprowadzone przez czynnik, pracujący w urządzeniu chłodniczym. Stąd

zmierzona, jako skutek chłodzenia, ilość ciepła Q_0 jest nieco mniejsza od tej ilości, jaka w istocie odprowadzona została czyli od t. zw. skutku chłodzenia „brutto”. Różnica ta jest tem mniejsza, im większa jest różnica temperatury zewnętrznej i wewnętrznej w parowniku, zależy ona również od jego wymiarów i kształtów, np. w generatorze lodu różnica ta jest większa niż w zwykłym parowniku.

Straty te znaleźć można w ten sposób, że, po ustaleniu się temperatur normalnych w parowniku, zatrzymujemy sprężarkę, zamykamy zawór regulacyjny, utrzymując w ruchu mieszałła, i notujemy w odstępach kilku minutowych temperatury solanki, odczytywane w różnych punktach parownika. Wartości temperatur ujęte jako funkcje czasu w krzywą, zbliżoną zresztą do prostej, pozwolą obliczyć podobnie, jak przy metodzie kalorymetrycznej oznaczania skutku chłodzenia (patrz str. 271), o ile stopni obniżyłaby się temperatura parownika w jednej godzinie czyli znajdziemy $(\tau_2 - \tau_1)$, a stąd przyjmując ciężar solanki, żelaza i t. p., stanowiących masę parownika, oraz odpowiednie ciepło właściwe otrzymujemy te straty:

$$Q_0' = (\tau_2 - \tau_1) (\Sigma G_i c_{pi}).$$

Przy pomiarach skutku chłodzenia należy zwracać uwagę, by conajmniej na końcu i początku pomiaru, z wyjątkiem oczywiście metody kalorymetrycznej, panowała w parowniku ta sama temperatura, gdyż w przeciwnym wypadku odprowadzone ciepło nie odpowie stanowi równowagi. Gdy jednak nie uda się tego osiągnąć i ta różnica temperatur wynosi np. $\Delta\tau$, można wprowadzić poprawkę do wartości znalezionej na Q_0 jako:

$$Q_0 + \Delta\tau (\Sigma G_i c_{pi}),$$

gdzie wyraz $\Sigma G_i c_{pi}$ oznacza sumę iloczynów ciężarów poszczególnych części parownika i odpowiedniego ciepła właściwego czyli t. zw. stałą kalorymetryczną.

2. Oznaczanie mocy sprężarki.

Ponieważ dziś budowane sprężarki urządzeń chłodniczych są typu tłokowego, więc znając wymiary cylindra i licząc obroty można przez indykowanie oznaczyć moc dostarczoną z zewnątrz do cylindra w poprzednio opisany sposób (patrz „Badanie sprężarek tłokowych“ str. 245).

3. Oznaczanie ilości odprowadzanego ciepła w skraplaczu.

Przy stosowaniu skraplaczy obciekowych bezpośrednie oznaczenie ilości ciepła Q , odprowadzanego przez skraplacz, jest niemożliwe. Wówczas należy użyć metody pośredniej i obliczyć wartość Q z bilansu ciepła.

nego, oznaczając poprzednio Q_0 i N_i oraz przyjmując pewien dodatek na promieniowanie, więc z równania

$$Q = Q_0 + 632 N_i + S.$$

Przy zastosowaniu skraplaczy zanurzonych oznaczanie Q jest łatwe do przeprowadzenia i dokonywa się przez pomiar temperatur wody na dopływie i odpływie oraz przez pomiar jej ilości G kg/h .

$$Q = G (t'' - t').$$

Wartość G oznaczamy stosując jedną z metod pomiaru ilości cieczy (patrz „Badanie pomp“ str. 206), najczęściej wzorcowaną danaidę lub naczynie Ponceleta. W lepszych urządzeniach takie danaidy są wbudowywane w przewód odprowadzający wodę ze skraplacza i są stale czynne, ułatwiając regulowanie ilości przepływającej wody i służąc do kontroli.

4. Wielkości charakterystyczne chłodziarek.

Wobec tego, że chłodziarka, jak każde urządzenie techniczne, pracuje ze stratami, sprawność jej jest mniejsza niż urządzenia doskonałego. Straty te pochodzą z cieplnego oddziaływania metalowych ścian cylindra sprężarki, następnie wskutek stosowania zaworu regulacyjnego zamiast rozprężarki, wskutek dławienia czynnika przy przepływie przez cylinder, wskutek tego, że chcąc chłodzić czynnik pracujący wodą o temperaturze t i odbierać z parownika solankę o temperaturze τ , musimy, dzięki oporom cieplnym węzownic i ich ograniczonym wymiarom, oddawać ciepło przy temperaturze czynnika $T^{\circ}C > t$, zaś odbierać ciepło — przy $T^{\circ}C < \tau$, co również pociąga za sobą straty.

Miarą sprawności urządzenia jest ilość kalorii odprowadzanych w godzinie kosztem 1 KMh czyli t. zw. rzeczywista wydajność chłodzenia:

$$\varepsilon_e = \frac{Q_0}{632 \cdot N_i}.$$

Wielkość ta osiąga wartość mniejszą, niżby to wynikało z doskonałych warunków pracy. Gdyby nie przekraczać spadków, danych przez temperaturę wody i solanki, to wydajność chłodzenia przedstawiałaby się jako:

$$\varepsilon_1 = \frac{\tau + 273}{t - \tau};$$

uwzględniając jednak potrzebę podniesienia temperatur czynnika podczas skraplania do T i obniżenia podczas parowania do T_0 , więc poniżej temperatury solanki τ i powyżej temperatury wody t , aby umożliwić przenikanie ciepła w ograniczonym czasie przez skończoną powierzchnię węzownic, wydajność chłodzenia się zmieni na:

$$\varepsilon_2 = \frac{T_o + 273}{T - T_o}.$$

Stosunek

$$\eta = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_1}$$

zwie się sprawnością urządzenia, zaś

$$\eta_e = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_2}$$

sprawnością obiegu.

Aby uwzględnić straty wywołane koniecznością spiętrzenia temperatur w skraplaczu i parowniku, wprowadza się pojęcie sprawności powierzchni ogrzewanej lub chłodzonej:

$$\eta_1 = \frac{\eta}{\eta_e} = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_1} \cdot \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_e} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$$

Częstokroć odnosi się wydajność chłodzenia do 1 *KMh* jako jednostki, a wówczas:

$$k = \frac{Q_o}{N_i} = 632 \varepsilon_e$$

Przykład.

Badanie chłodzarki amoniakalnej w *ABCD*.

Podczas pomiaru solanka, utrzymywana w ruchu przy pomocy pompy odśrodkowej, krążyła przez specjalny zbiornik, dokąd doprowadzane było ciepło sztucznie przy pomocy węzownicy parowej, a pozatem ilość solanki dla kontroli mierzona była w daniadzie i obserwowane jej temperatury przy wlocie i wylocie z parownika. Ilość wody przepływającej przez skraplacz oznaczana była przy pomocy naczynia Ponceleta.

Średnica tłoka cylindra sprężarki $D = 120 \text{ mm.}$

Tłoczysko jednostronne $d = 35 \text{ mm.}$

Skok cylindra $s = 220 \text{ mm.}$

Pomiar trwał 4 godziny, wszystkie spostrzeżenia robione były co 15 minut i po zestawieniu w krzywe w funkcji czasu wybrany został okres pomiaru trwający 145 minut, kiedy panowała zupełna równowaga temperatur i ciśnień, przyczem średnie temperatury solanki na początku i końcu tego okresu były jednakowe.

Spostrzeżenia z tego okresu dały następujące średnie wartości:

Liczba obrotów sprężarki		n	96,2	
Średnie ciśnienie indykowane	Od korby	p_{ik}	4,05	
	Od dna	p_{id}	4,02	
Para grzejna	Ciśnienie	p_0	3,52	
	Temperatura skroplin	t_0	97,8	
	Ilość skroplin kg/h	G_0	26,508	
Solanka	Temperatura przy wlocie	t'	-1,557	
	Temperatura przy wylocie	t''	-3,724	
	Średnia temperatura	t_s	-2,647	
	Wysokość spiętrzenia w danaidzie	h_{mm}	440	
Amonjak	Parownik	Ciśnienie	1,692	
		Temperatura	-12,09	
	Skraplacz	Ciśnienie	9,307	
		Temperatura	25,10	
	Temperatury	Przed zaworem	19,757	
		Za zaworem	-10,28	
Skraplacz	Temp. wody	t'	13,22	
		t''	22,06	
		t_s	17,64	
		Ilość wody kg/h	1865	

Na podstawie tych danych oblicza się:

Moc sprężarki:

$$N_i = 0,00553 n (p_{id} + 0,913 p_{ik}) = 4,16 \text{ KM}_i$$

$$AL_i = 632 \cdot 4,16 = 2632 \text{ kcal/h.}$$

Skutek chłodzenia:

a) z ilości solanki:

$$Q_o = G_s c_{ps} (\tau'' - \tau') = 8608,5 \cdot 0,797 \cdot 2,167 = 14867 \text{ kcal/h,}$$

przyczem dla danajdy zachodzi związek

$$G_s = \text{const } \sqrt{Vh} = 411 \sqrt{V440} = 8608,5;$$

b) z ilości skroplonej pary:

$$Q_o = G_o (i - t_o) = 26,508 (653,88 - 97,80) = 14740 \text{ kcal/h.}$$

Średnio:

$$Q_o = \frac{14867 + 14740}{2} = 14804 \text{ kcal/h.}$$

Ciepło odebrane w skraplaczu:

$$Q = G (t'' - t') = 16453 \text{ kcal/h.}$$

Bilans cieplny chłodzarki.

$$Q = AL_1 + Q_o + S,$$

$$S = 16453 - (14804 + 2632) = 983 \text{ kcal/h.}$$

Promieniowanie i błędy stanowią procentowo:

$$\frac{100 S}{Q_o} = 6,6\%.$$

Wydajność chłodzenia:

$$\epsilon_e = \frac{Q_o}{AL_1} = \frac{14804}{2632} = 5,626 \text{ kcal/kcal}$$

lub

$$k = \frac{Q_o}{N_i} = \frac{14804}{4,16} = 3554 \text{ kcal/KMh}$$

$$\epsilon_1 = \frac{270,35}{290,64 - 270,35} = 13,50$$

$$\epsilon_2 = \frac{260,91}{25,10 + 12,09} = 7,04.$$

Stąd sprawność urządzenia:

$$\eta = \frac{5,626}{13,50} = 0,417.$$

Sprawność obiegu:

$$\eta_e = \frac{5,626}{7,04} = 0,80.$$

Sprawność powierzchni ogrzewanych:

$$\eta_1 = \frac{\eta}{\eta_e} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} = 0,52.$$



MP. 54.