

Jaroslav KAMINSKÝ

Katedra Energetyki

Vysoká Škola Baňská v Ostravě

PRZYCZYNEK DO OCENY PRZEMIANY ENERGII W CIEPŁOWNIACH

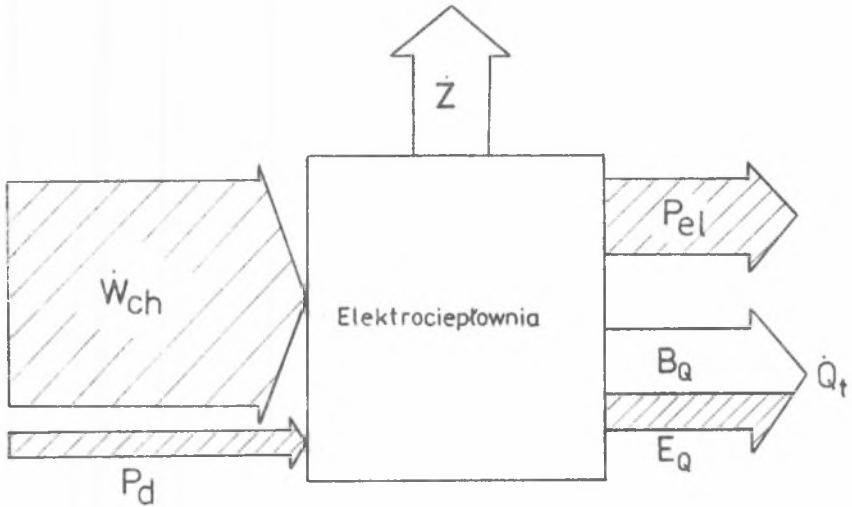
Streszczenie. W pracy przedstawiono metodykę oceny sprawności procesu przemiany energii w elektrociepłowni. Zdefiniowano sprawność energetyczną i egzergetyczną przemiany. Dla ciepłowni określono niewykorzystaną sprawność przemiany. W charakterze przykładu zamieszczono ocenę wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej w elektrociepłowniach.

1. WSTĘP

Przemiana energii chemicznej w ciepłowniach rozumiana jest jako sprzężone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepłej z wykorzystaniem ciepła odpadowego (kondensacji). Ocena całkowitej sprawności tego procesu nie jest trudna. Pewne problemy występują przy oddzielnym określeniu wytwarzania energii elektrycznej i dostarczania ciepła, ze względu na konieczny rozdział energii doprowadzonej do ciepłowni na dwie części: na energię potrzebną do wytworzenia energii elektrycznej i na energię wykorzystywaną do wytworzenia energii ciepłej.

Na rys. 1 przedstawiono prosty energetyczny bilans ciepłowni. Doprowadzana moc cieplna jest sumą energii chemicznej \dot{W}_{ch} (pierwotnej) doprowadzonej z paliwem w jednostce czasu i dodatkowej mocy elektrycznej \dot{P}_d potrzebnej do napędu pomp, młynów, wentylatorów, przenośników itp. Użyteczna część tej mocy ciepłowni jest sumą mocy elektrycznej \dot{P}_{el} i mocy ciepłej \dot{Q}_t . Energia rozpraszana "tracona" \dot{Z} stanowi część mocy, która bezużytecznie jest doprowadzana do środowiska i ulega degradacji. Obecnie stosuje się do oceny procesów często metody oparte na analizie egzergetycznej procesów cieplnych. Mimo to celowe wydaje się jednakże przeprowadzenie oceny wpierv metodą sprawności energetycznej, a następnie metodą egzergetyczną. Założono wobec tego, że energia chemiczna i energia elektryczna są tylko egzergią (1), podczas gdy energia cieplna i entalpia są zawsze sumą energii i anergii.

Na rys. 1 strumienie egzergii oznaczono obszarem zakreskowanym. Obszar niezakreskowany dotyczy anergii.



Rys. 1. Bilans energetyczny elektrociepłowni

Fig. 1. Energetical balance of a heating power station

Do degradacji doprowadzonej energii (egzergii) w ciepłowniach dochodzi poprzez dwa czynniki:

- odprowadzenie części doprowadzonej energii do otoczenia,
- przemianę egzergii na energię cieplną, która zawsze składa się z egzergii \dot{E}_a i energii \dot{B}_a , przy czym udział energii jest tym wyższy, im niższa jest temperatura czynnika grzejącego T_t .

2. SUMARYCZNA OCENA PRZEMIANY ENERGII W CIEPŁOWNIACH

Sprawność przemiany jest miarą wykorzystania doprowadzonej energii, co stanowi stosunek energii wytworzonej do energii doprowadzonej:

$$\eta = \frac{P_{el} + \dot{Q}_t}{\dot{W}_{ch} + P_d} = \frac{P_{el} + \dot{m}_t(i_t + i_r)}{\dot{m}_u \cdot \dot{Q}_n + P_d} \quad (1)$$

Ogólna sprawność egzergetyczna ciepłowni:

$$\eta_{egz} = \frac{P_{el} + \dot{E}_a}{\dot{W}_{ch} + P_d} = \frac{P_{el} + \dot{m}_t(e_t - e_r)}{\dot{m}_u \cdot \dot{Q}_n + P_d} \quad (2)$$

W równaniach tych oznaczają:

- \dot{m}_t (kg · s⁻¹) - ilość wody grzejnej (pary) w jednostce czasu,
 \dot{m}_u (kg s⁻¹) - ilość paliwa w jednostce czasu,
 \dot{Q}_n (J kg⁻¹) - wartość opałowa paliwa,
 i_t, i_r (J · kg⁻¹) - entalpia wody grzejnej i powrotnej,
 e_t, e_r (J kg⁻¹) - entalpia właściwa wody grzejnej i powrotnej.

Energię i egzergię wody na wypływie i powrocie (patrz rys. 2) na wyjściu z ciepłowni oznacza się \dot{Q}_t , na wejściu do stacji wymienników \dot{Q}_t lub w miejscu ogrzewania \dot{Q}_t .

Do obliczeń należy wprowadzić straty w rurociągu cieplnym i sieci rozpywowej.

Straty w rurociągu

$$\dot{Z}_t = \dot{Q}_1 - \dot{Q}_t \quad (3)$$

Straty w sieci rozpywowej

$$\dot{Z}_s = \dot{Q}_t - \dot{Q}_t'' \quad (4)$$

3. OCENA WYTWARZANIA CIEPŁA W CIEPŁOWNIACH

Przy porównaniu z innymi systemami cieplnymi konieczne jest uwzględnić z energią doprowadzoną do ciepłowni jej część potrzebną do wytworzenia ciepła. W tym celu wykorzystuje się metodę przedstawioną za pomocą obiegu Rankina-Clausiusa opierając się na schemacie uogólnionym ciepłowni (rysunek 2 i rys. 3).

Przy ogrzewaniu dwustopniowym wody grzejnej odbierany jest strumień pary \dot{m}_{01} (stan 01) i strumień pary \dot{m}_{02} (stan 02). Pozostały strumień pary rozpręża się do ciśnienia w kondensatorze P_k i temperatury t_k (stan K). W wyniku poboru pary następuje obniżenie entalpii pary wykorzystywanej do wytworzenia energii elektrycznej o wielkość:

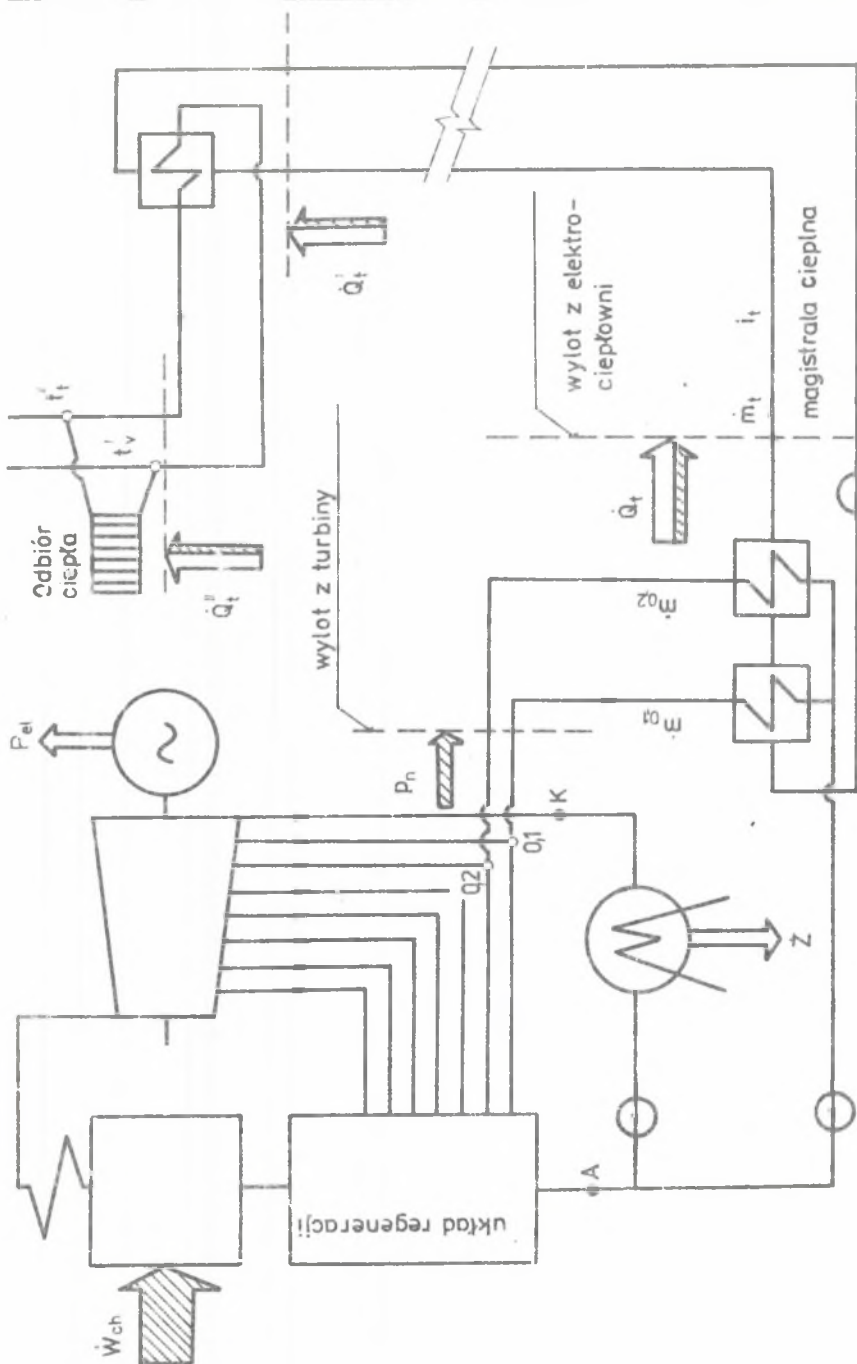
$$\Delta I = \dot{m}_{01}(i_{01} - i_{k1}) + \dot{m}_{02}(i_{02} - i_{k2})$$

Rozdział entalpii $i_{01} - i_{k1}$ jest równy powierzchni

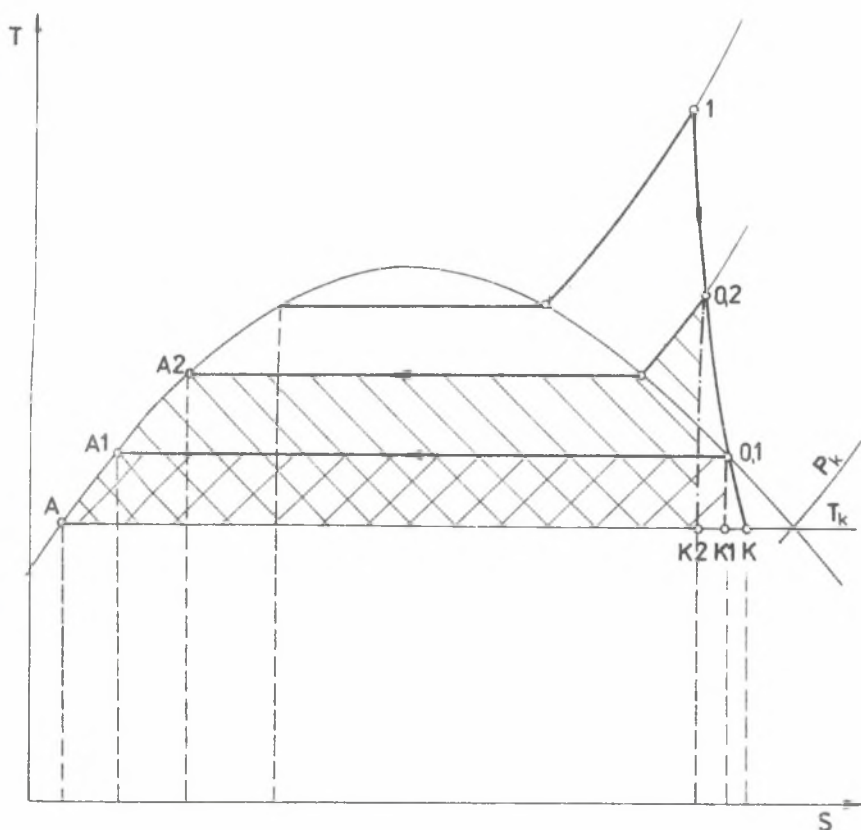
$$01 - K1 - A - A1 - 01.$$

Rozdział entalpii $i_{02} - i_{k2}$ jest równy powierzchni

$$02 - K2 - A - A2 - 02.$$



rys. 2. Uogólniony schemat elektrociepłowni z dwustopniowym ogrzewaniem czynnika roboczego
 Fig. 2. A Generalised diagram of the heating power plant with two stage of working fluid heating



Rys. 3. Cykl termodynamiczny na wykresie T-s

Fig. 3. The thermodynamical cycle using temperature entropy diagram

Z tym przebiegiem związana jest strata wytwarzanej energii elektrycznej o wartość:

$$P_n = \dot{m}_0 \Delta_1 \eta_{ie-sp} \eta_6 \quad (W) \quad (5)$$

ale też równocześnie i wykorzystanej mocy cieplnej

$$\dot{Q}_k = \dot{m}_{01} (i_{K1} - i_A) + \dot{m}_{02} (i_{K2} - i_A) \quad (W) \quad (6)$$

która to stanowi ciepło bezużyteczne odprowadzane do otoczenia.

Wyrażenie (5) można oznaczyć jako energią elektryczną nie wytwarzaną P_n^* .

W tych wzorach:

η_{ie-sp} = porównawcza (termodynamiczna) sprawność turbiny mierzona na sprzęgle,
 η_G - sprawność generatora.

Moc elektryczną P_n , nie wytworzoną przez elektrociepłownię, należy koniecznie odnieść przykładowo do energii elektrycznej w elektrowniach kondensacyjnych. Jeżeli założymy ich ogólną sprawność $\eta_{e1} = 0,33$, to konieczna moc doprowadzona wyniesie:

$$\dot{W}_a = \frac{P_n}{\eta_{e1}} = 3,0 P_n \quad (W) \quad (7)$$

i możemy ją uważać za część całkowitej energii chemicznej \dot{W}_{ch} potrzebnej do wytworzenia ciepła w elektrociepłowniach.

Ocena energetyczna grzania

Niewykorzystana sprawność przemiany wynosi:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_t}{\dot{W}_a + \dot{Q}_k}$$

Ponieważ (6), gdyż nie uwzględnia się w ocenie mocy ciepła odpadowego. Użyteczną wartość przemiany należy określić stosunkiem:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_t}{\dot{W}_a} > 1 \quad (8)$$

nazywanym sprawnością cieplną, lub tak jak w przypadku urządzeń cieplnych współczynnikiem wykorzystania ciepła.

Wartość odwrotności tego stosunku jest miarą zapotrzebowania energii pierwotnej na ogrzewanie:

$$C = \frac{1}{\varepsilon} = \frac{\dot{W}_a}{\dot{Q}_t} \quad (9)$$

Sprawność cieplną elektrociepłowni możemy porównać ze współczynnikiem wykorzystania pompy ciepła i ze sprawnością ciepłowni.

W celu poglądowej ilustracji przedstawionej metody zestawiono ocenę ekonomiczną ogrzewania w pewnej elektrociepłowni. Wykorzystano do ogrzewania trzy oddzielne jednostopniowe upusty. Drugi upust wykorzystany jest do ogrzewania miasta, a trzeci doprowadzony do zakładów chemicznych PRCHZ.

Parametry wynoszą:

Upust I:

Temperatura pary 130°C , ciśnienie $0,217\text{ MPa}$, entalpia $i_{01} = 2730\text{ kJ/kg}$

Upust II:

Temperatura pary 230°C , ciśnienie $0,9\text{ MPa}$, entalpia $i_{02} = 2900\text{ kJ/kg}^{-1}$

Upust III:

Temperatura pary 300°C , ciśnienie $1,6\text{ MPa}$, entalpia $i_{03} = 3030\text{ kJ/kg}$

Temperatura w kondensatorze 40°C .

Jeżeli temperatura powrotnej wody wynosi $t_A = 40^{\circ}\text{C}$,

a jej entalpia 167 kJ/kg , to moc cieplna jednego kilograma odbieranej $\dot{m}_0 = 1$ w poszczególnych upustach:

$$\dot{Q}_{tI} = i_{01} - i_A = 2730 - 167 = 2563\text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{tII} = i_{02} - i_A = 2900 - 167 = 2733\text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{tIII} = i_{03} - i_A = 3030 - 167 = 2863\text{ kW}$$

W wyniku takich poborów pary następujące spadki entalpii:

$$i_{01} - i_{K1} = 2730 - 2220 = 510\text{ kJ/kg}^{-1}$$

$$i_{02} - i_{K2} = 2900 - 2144 = 756\text{ kJ/kg}$$

$$i_{03} - i_{K3} = 3030 - 2144 = 886\text{ kJ/kg}$$

nie powodują wytworzenia energii elektrycznej.

Strata wytworzonej energii wyrażona na 1 kg odebranej pary w sekundzie wynosi:

$$P_n = \dot{m}_0 \eta_{ie-sp} \eta_G \cdot \Delta_i = 1 \cdot 0,88 \cdot 0,95 \cdot \Delta_i = 0,836\Delta_i \quad (\text{kW})$$

Do wytworzenia tej energii elektrycznej potrzebna jest energia chemiczna:

$$\dot{W}_a = \frac{P_n}{0,33} = 2,53\Delta_i \quad (\text{kW})$$

a więc:

$$\dot{W}_{QI} = 1290\text{ kW}$$

$$\dot{W}_{QII} = 1913 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{QIII} = 2241,6 \text{ kW}$$

Sprawność $\varepsilon = \frac{\dot{Q}_t}{\dot{W}_a}$ i jednostkowe zapotrzebowanie energii pierwotnej

$$C = \frac{1}{\varepsilon} \text{ wynosi:}$$

$$\varepsilon_I = 1,99 \quad C = 0,50$$

$$\varepsilon_{II} = 1,43 \quad C = 0,70$$

$$\varepsilon_{III} = 1,28 \quad C = 0,78$$

Można tym samym porównać cieplną część sprawności $\eta_r = 0,83$ z jednostkowym zapotrzebowaniem energii pierwotnej na 1 kWh ciepła.

$$C = \frac{1}{\eta_r} = 1,2 \text{ kWh}$$

Chociaż nie zostały tutaj uwzględnione straty ciepła w rurociągu, to została zaoszczędzona znaczna energia przy wysokiej temperaturze odbieranej pary.

4. OCENA WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ W ELEKTROCIĘPŁOWNIACH

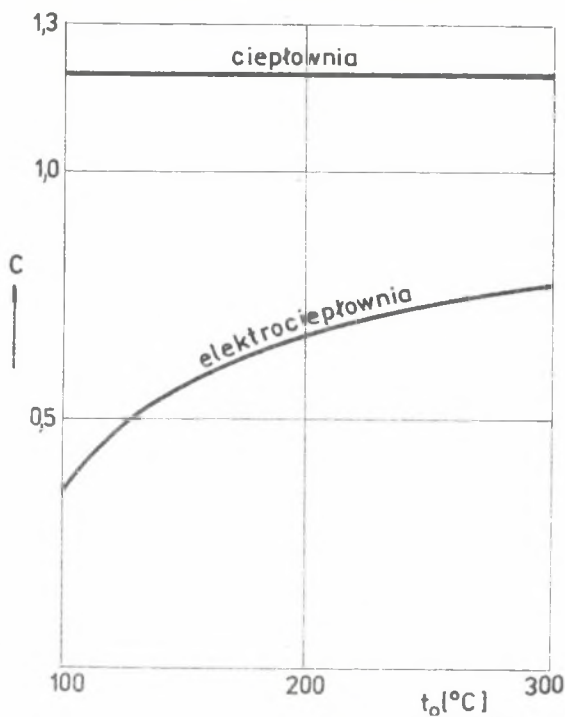
Dopływ pierwotnej energii chemicznej \dot{W}_{el} potrzebnej do wytworzenia energii elektrycznej P_{el} w elektrociepłowniach jest różnicą całkowitej energii chemicznej doprowadzonej \dot{W}_{ch} i części potrzebnej na ogrzewanie \dot{W}_a :

$$\dot{W}_{el} = \dot{W}_{ch} - \dot{W}_a$$

Sprawność energetyczna η_{el} wytwarzania energii elektrycznej w ciepłowniach:

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{\dot{W}_{el} + P_d}$$

jest taka sama jak sprawność energetyczna.



Rys. 4. Zależność średniego zapotrzebowania energii od potrzeb ciepłowniczych

Fig. 4. The dependence of medium energy demand on the heating requirements

5. PODSUMOWANIE

Przez przyjęcie rozdziału energii chemicznej \dot{W}_{ch} doprowadzonej do ciepłowni na część \dot{W}_a potrzebną do wytworzenia ciepła i część \dot{W}_{el} potrzebną do produkcji energii elektrycznej stworzono przesłanki do prostej oceny sprawności obu sposobów.

Ponieważ taka ocena jest odniesiona do energii pierwotnej, to jest ona również dobrym sposobem do porównania z innymi systemami wytwarzania metodą energetyczną i egzergetyczną.

LITERATURA

[1] Praca zbiorowa: Energia i egzergia. Praga SNTL 1968.

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ПЕРЕЕМЕРЫ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОЦЕНТРАЛЯХ

Р е з ю м е

В статье представлено метод оценки коэффициента полезного действия процесса перемены энергии в тепловых электростанциях.

Определены коэффициенты энергетической и эксергетической перемены.

Для теплостанции определены также коэффициент потери перемены.

В качестве примера рассмотрена оценка производства электрической и тепловой энергии в тепловых электростанциях.

CONTRIBUTION TO THE ESTIMATION OF ENERGY CONVERSION
IN HEATING POWER STATION

S u m m a r y

In this paper a method of an estimation of energy conversion efficiency in a heating power station has been presented.

Both the energetic and the exergetic efficiencies of various cycles were defined.

The unutilised efficiency of the energy conversion in the heating power station was predicted.

The examples of the evaluation of an electrical and heat production in the heating power station were given.