

ANDRZEJ HARCUŁA
Katedra Energetyki Ciepłej

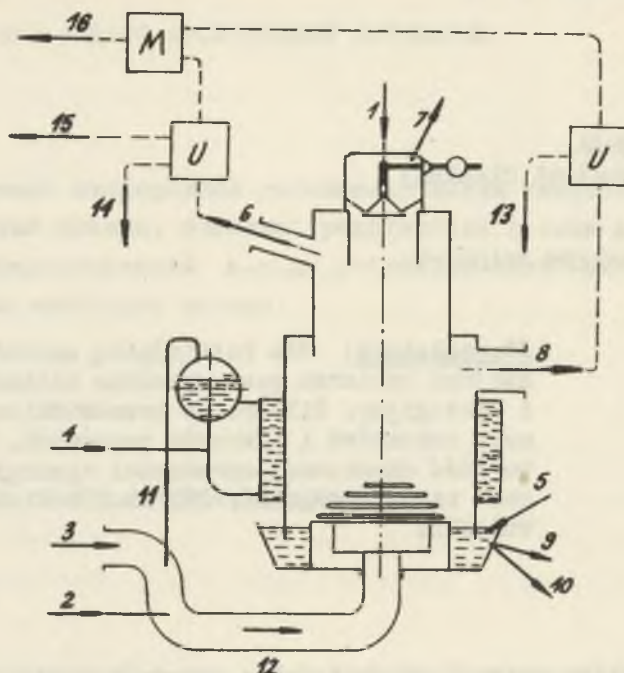
BILANS EGZERGIJNY CZADNICY

Streszczenie: Dla istniejącej czadnicy z podwójnym odbiorem gazu wykonano bilans energijny i egzergijny. Bilanse te przedstawiono przy pomocy zestawień i wykresów pasmowych. Uzyskano wartość chemicznej sprawności egzergijnej procesu czadnicowego 69,13%. Zamieszczono również wnioski.

1. Wstęp

Mimo, że analiza egzergijna jest już w przemyśle dość rozpowszechniona, nie opracowano dotąd dostatecznie szczegółowego bilansu egzergijnego czadnicy. Niniejsza praca ma na celu uzupełnienie tej luki.

Przedmiotem badań była czadnica typu "Lurgi" z podwójnym odbiorem gazu (dwustopniowa) zasilana węglem kamiennym, przedstawiona schematycznie na rysunku 1. Węgiel kamienny jako paliwo 1 o wartości opałowej 26270 kJ/kg dostarczany jest porcjami poprzez dzwon załadowniczy. Pod ruszt doprowadzana jest mieszanka parowo-powietrzna 12 o stopniu zwilżenia 0,1784 kg H₂O/kg pow. s., powstała w wyniku zmieszania powietrza 3 ($\varphi_{ot} = 65\%$, $X_{ot} = 0,0137$ kg H₂O/kg pow.s.) z parą własną 11 o stopniu suchości 97% wytworzoną w płaszczu wodnym oraz z parą obcą 2 o stopniu suchości 98%. Specjalnymi przewodami doprowadza się wodę uzupełniającą 4 do płaszczu wodnego oraz do miski 5. Z górnej części czadnicy zwanej szybem wytłelnym odprowadza się gaz wytłelny 6. Część tego gazu 7 traci się przy ładowaniu czad-



Rys. 1. Schemat czadnicy

nicy świeżą porcją paliwa. Pod szybem wylewnym znajduje się szyb zgazowania półkoksu, w którym zostaje wytworzony a następnie odprowadzony surowy gaz czadnicowy 8. W swojej dolnej części, szyb otoczony jest płaszczem wodnym zmniejszającym straty ciepła do otoczenia oraz wytwarzającym parę własną 11 potrzebną do zgazowania.

Okresowo, z misy znajdującej się pod rusztem odprowadza się wilgotny żużel 10 a wraz z nim pewną porcją wody 9. Produkowany gaz surowy 8 odprowadza się do urządzenia oczyszczającego U, gdzie oddziela się pył, smołę, wilgoć jako produkty 13, a następnie oczyszczony gaz doprowadza się do miejsca M, w którym następuje zmieszanie z oczyszczonym gazem wylewnym.

Z gazu wytłewnego 6, w urządzeniach oczyszczających U wydzielane są produkty 14 (pył, wilgoć) oraz jako produkt użyteczny smoła 15. Gotowym produktem jest gaz mieszany 16.

2. Sprawność czadnicy

Dla oceny przemian zachodzących w czadnicy można wprowadzić kilka rodzajów sprawności. Chemiczna sprawność termiczna η_t procesu czadnicowego określona jest wzorem:

$$\eta_t = \frac{V W_d}{P W_{dp}}, \quad (1)$$

gdzie:

V, W_d - ilość otrzymanego gazu czadnicowego oczyszczonego ze smoły oraz jego wartość opałowa,

P, W_{dp} - ilość doprowadzonego do czadnicy paliwa stałego oraz jego wartość opałowa.

Bezwzględną ocenę termodynamiczną doskonałości procesu czadnicowego należy przeprowadzać za pomocą egzergii. Wprowadza się wówczas pojęcie chemicznej sprawności egzergijnej:

$$\eta_b = \frac{V b}{P b_p}, \quad (2)$$

gdzie:

b, b_p - właściwa egzergia otrzymywanego gazu oraz doprowadzanego paliwa.

Stosuje się również termiczną lub egzergijną sprawność czadnicy netto:

$$\eta_{tN} = \frac{V W_d}{P W_{dp} + \sum_1 I_1} \quad (3)$$

$$\eta_{bN} = \frac{V b}{P b_p + \sum_1 B_1}, \quad (4)$$

gdzie:

I_1, B_1 - entalpia i egzergia substancji napędowej doprowadzonej do czadnicy poza paliwem stałym.

W przypadku gdy smoła zawarta w gazie czadnicowym jest odzyskiwana, można wprowadzić termiczną lub egzergijną sprawność czadnicy brutto:

$$\eta_{tB} = \frac{V W_d + S W_{ds}}{P W_d + \sum_1 I_1} \quad (5)$$

$$\eta_{bB} = \frac{W b + S b_s}{P b_p + \sum_1 B_1}, \quad (6)$$

gdzie:

S, W_{ds}, b_s - ilość, wartość opałowa i egzergia właściwa smoły zawartej w otrzymywanym gazie czadnicowym.

Pył unoszony przez gaz czadnicowy oraz fizyczną entalpię i egzergię gazu czadnicowego często traktuje się jako zewnętrzne straty czadnicy i tak jak pozostałe straty np.: wypromieniowanie ciepła

Tablica 1

Wyniki pomiarów cieplnych czadnicy

Pozycja na rysunku 1	Wyszczególnienie	Temperatura °C	Ciśnienie bar	Zużycie czynnika kg/s	Zawartość czynnika g/m ³ g.s.
0	Powietrze otoczenia	25	0,98	-	-
1	Paliwo (węgiel kam.)	25	-	0,277	-
2	Para wodna obca	169	7,80	0,032	-
3	Powietrze podmuchowe przed nawilżeniem	25	1,00	0,712	-
4	Woda do płaszcza wodnego	14	-	0,086	-
5	Woda do miski żużlowej	14	-	0,012	-
6	Gaz wytłewny bez wilgoci, pyłu i smoły	57	0,98	0,294 ^{x)}	-
7	Tracony gaz wytłewny	57	0,98	0,004 ^{x)}	-
8	Gaz surowy bez wilgoci, pyłu i smoły	578	0,98	0,601	-
9	Woda odprowadzona z miski	37	-	0,067	-
10	Żużel wilgotny	37	-	0,036	-
11	Para wytwarzana w płaszczu	101	1,09	0,086	-
12	Podmuchowa mieszanka parowo-powietrzna	61	0,99	-	-
13	Pył, smoła i wilgoć wydzielona z gazu surowego (40,3+0,5+4,4 g/m ³ g.s.)	578	0,98	-	45,2
14	Pył i wilgoć wydzielona z gazu wytłewnego (113,3+0,2 g/m ³ g.s.)	57	0,98	-	113,5
15	Smoła z gazu wytłewnego	25	0,98	-	72,0
16	Gaz mieszany	25	0,98	-	-

x) Strumienie wyrażone w m³/s.

przez ściany czadnicy do otoczenia, nie uwzględniane są we wzorze na sprawność.

3. Bilans energijny i egzergijny czadnicy

Pomiary cieplne oraz bilans energijny wykonano w pracy [1]. Wyniki pomiarów cieplnych czadnicy dokonanych w okresie 13 godzin zestawiono w tabelicy 1. Skład chemiczny otrzymanego gazu wytelnego i surowego zamieszczono w tabelicy 2. Składy elementarne węgla, pyłu, smoły oraz żużla podano w tabelicy 3. Jako stan odniesienia w bilansie energijnym i egzergijnym przyjęto temperaturę otoczenia wynoszącą 25°C i stan gazowy dla wody, stąd niektóre pozycje bilansu energetycznego mają wartość ujemną. Ponadto założono, że czadnica znajduje się w ruchu ustalonym oraz że moc napędowa rozmaitych urządzeń pomocniczych czadnicy jest stosunkowo niewielka i można ją pominąć.

Tabela 2

Skład chemiczny gazu wytelnego i surowego
(po uzgodnieniu)

S k ł a d n i k	G a z	
	wytelnny %	surowy %
CO	28,36	28,40
CO ₂	3,40	5,05
H ₂	19,32	15,13
CH ₄	2,75	1,65
O ₂	0,74	0,32
C ₂ H ₄	0,24	0,22
N ₂	45,19	49,23
Razem:	100,00	100,00

Tablica 3

Skład elementarny węgla, pyłu, smoły i żuźla (%)

Skład	c	h	s	n	o	w	p
Węgiel	67,37	4,05	0,75	0,83	8,78	5,43	12,79
Ryż	59,40	2,87	3,70	1,04	7,24	-	25,75
Smoła	81,02	7,44	0,12	0,88	4,49	5,88	0,17
Żużel	3,54	0,09	0,91	-	-	23,42	72,04

W bilansie energijnym za 100% przyjęto sumę energii napędowej, tj.: energię doprowadzoną przez paliwo oraz przez parę wodną obcą:

$$I = I_1 + I_2 = 26\ 290 \text{ kJ/kg paliwa.}$$

Poszczególne pozycje bilansu energijnego zestawiono w tablicy 4. Na podstawie bilansu sporządzony został wykres pasmowy (rys. 2). Stratę ciepła na rzecz otoczenia obliczono jako pozycję zamykającą bilans energijny.

Bilans egzergijny został sporządzony w oparciu o pracę [2]. Przy bilansowaniu czadnicy posłużono się równaniem bilansu egzergijnego [3]. Podobnie jak w bilansie energijnym, za 100% przyjęto łączną egzergię czynników napędowych:

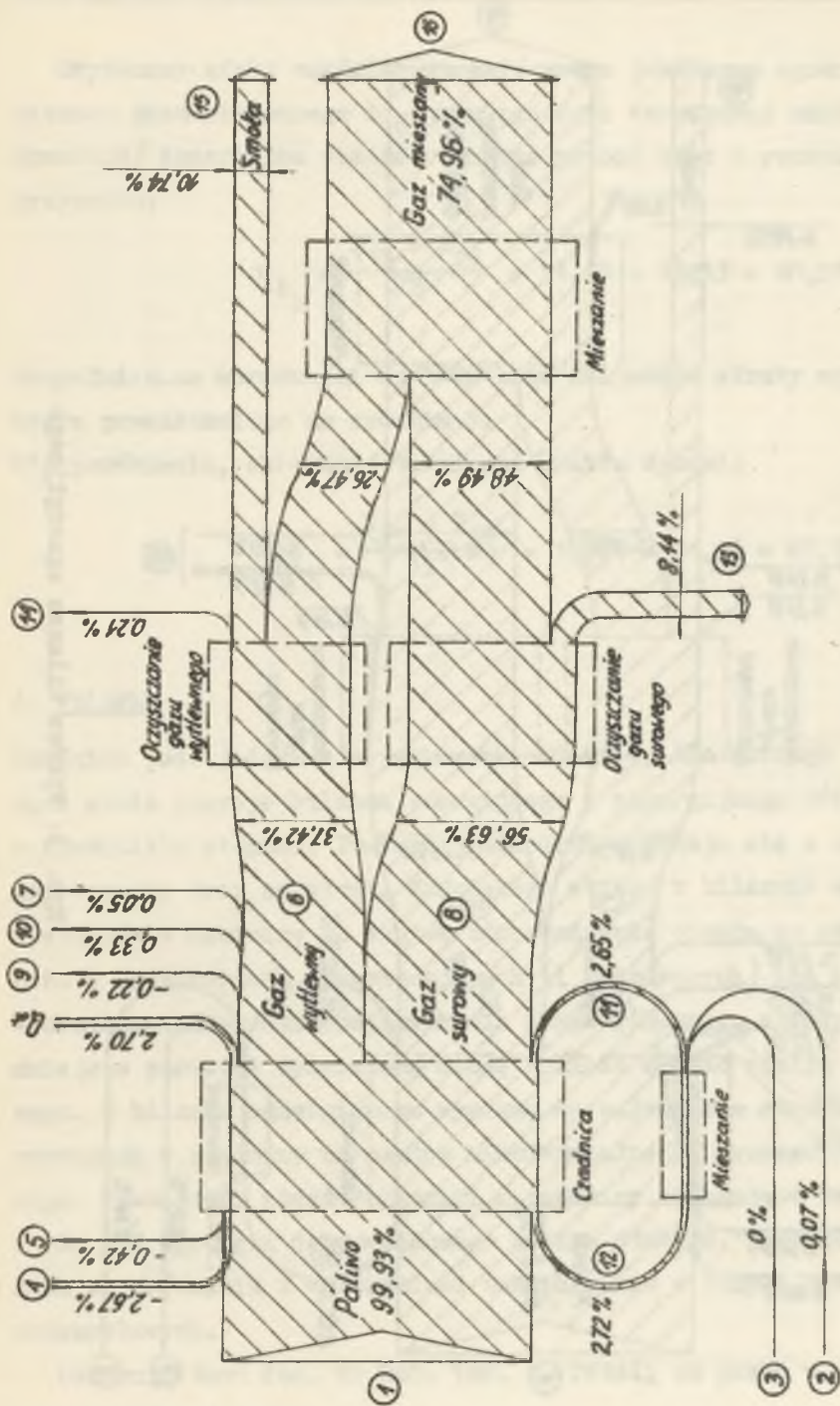
$$B = B_1 + B_2 = 27\ 957 \text{ kJ/kg paliwa.}$$

Poszczególne pozycje bilansu egzergijnego zestawiono równolegle z odpowiednimi pozycjami bilansu energijnego w tablicy 4. Bilans egzergijny sporządzony został również w formie wykresu Grassmanna (rys. 3). Stratę egzergii spowodowaną stratą ciepła do otoczenia obliczono przy założeniu, że średnia temperatura ścianki czadnicy wynosi 60°C .

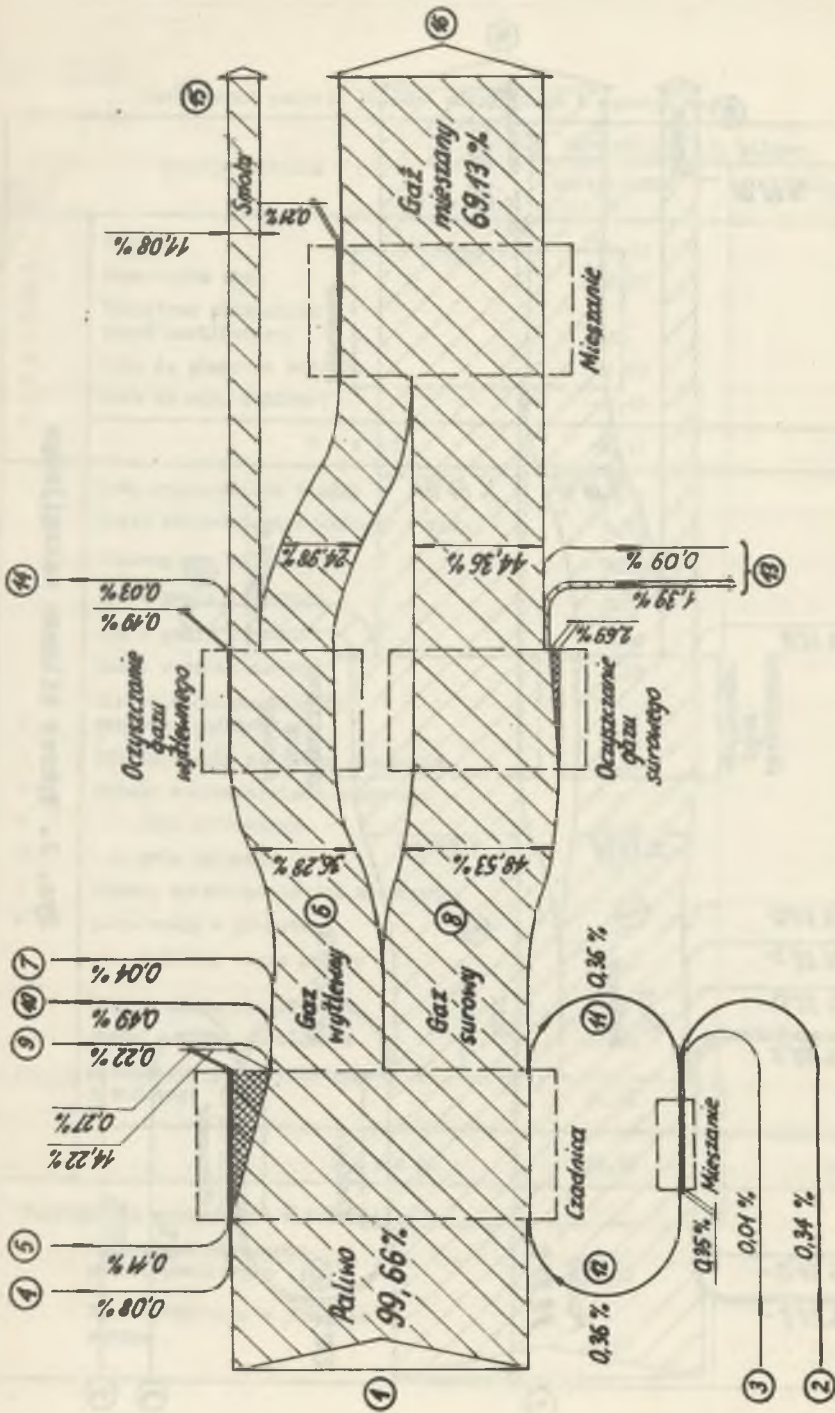
Tablica 4

Zestawienie pozycji bilansu energijnego i egzergijnego

Pozycje bilansu		Wartość pozycji bilansu		
		energijnego %	egzergijnego %	
P r z y c h ó d	Paliwo	100%	99,93	96,66
	Para wodna obca		0,07	0,34
	Powietrze podmuchowe przed nawilżeniem		0	0,01
	Woda do płaszcza wodnego		-2,67	0,08
	Woda do misy żuźlowej		-0,42	0,11
	R a z e m:		96,91	100,20
R o z c h ó d	Woda odprowadzona z misy		-0,22	0,02
	Żużel wilgotny odprowadzony z misy		0,33	0,49
	Tracony gaz wytłewny		0,05	0,04
	Pył w gazie wytłewnym		0,01	0,03
	Pył w gazie surowym		0,08	1,39
	Smoła w gazie surowym		1,39	0,09
	Strata nieodwracalności procesu czadnicowego		-	14,22
	Strata ciepła na rzecz otoczenia		2,70	0,27
	Straty w urządzeniach oczyszcz. - gazu wytłewnego		0,20	0,19
	- gazu surowego		6,67	2,69
	Straty nieodwracalności mieszarńa: para wodna + powietrze		-	0,35
	gaz wytłewny + gaz surowy		-	0,21
	Efekty użyteczne: Smoła w gazie wytłewnym		10,74	11,08
	Mieszanka gazu wytłewnego i surowego		74,96	69,13
	R a z e m:		96,91	100,20
Pozycje nie występujące w bilansie:				
Podmuchowa mieszanka parowo-powietrzna			2,72	0,36
Para wytwarzana w płaszczu wodnym			2,65	0,36



Rys. 2. Wykres bilansu energetycznego



Rys. 3. Wykres bilansu energii egzergijnego

Użyteczny efekt czadnicy wyrazić można jako sumę egzergii termicznej gazu mieszanego B_{16} oraz egzergii termicznej smoły B_{15} . Sprawność egzergijna czadnicy brutto wynosi więc w rozważanym przypadku:

$$\eta_{b_B} = \frac{B_{15} + B_{16}}{B} = 11,08 + 69,13 = 80,21\%.$$

Uzupełnieniem sprawności do 100% będą wszystkie straty egzergii, które przedstawiono na rysunku 3.

Dla porównania, sprawność termiczna brutto wynosi:

$$\eta_{t_B} = \frac{I_{15} + I_{16}}{I} = 10,74 + 74,96 = 85,70\%.$$

4. Wnioski

Czadnica jest jednym z wyjątkowych obiektów, dla którego odpowiadające sobie pozycje bilansu energijnego i egzergijnego różnią się w niewielkim stopniu. Pozycje rozchodowe składają się z efektu użytecznego oraz ze strat. Największe straty w bilansie energijnym występują w czadnicy na skutek odprowadzenia ciepła do otoczenia oraz w urządzeniach oczyszczających (i chłodzących) gaz surowy. W urządzeniach oczyszczających dla gazu wytłewnego straty są mniejsze ponieważ wydzielaną smołę zalicza się do efektu użytecznego. Z bilansu egzergijnego wynika, że największe straty (14,22%) występują w czadnicy na skutek nieodwracalności procesu czadnicowego. Wewnętrzna strata egzergii w czadnicy osiągająca wartości rzędu 20% egzergii doprowadzonego paliwa stałego, jest stosunkowo mała w porównaniu z wartościami takich strat w innych urządzeniach przemysłowych.

Dziękuję Panu doc. dr hab. inż. R. Peteli za pomoc w zredagowaniu niniejszej pracy.

LITERATURA

- [1] Babiński J., Wiącek Z.: "Bilans materiałowy i energetyczny czadnicy typu Iurgi" - mgr praca dypl., Katedra Energetyki Ciepłej Politechniki Śląskiej, 1959.
- [2] Rupiński S.: "Bilans egzergetyczny czadnicy oraz porównanie ekonomii opalania gazem czadnicowym i paliwem ciekłym" - mgr praca dypl., Katedra Energetyki Ciepłej Politechniki Śląskiej, 1964.
- [3] Szargut J., Petela R.: "Egzergia" - Warszawa 1965, WNT.

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ГАЗОГЕНЕРАТОРА

Р е з ю м е

Энергетический и эксергетический балансы для существующего газогенератора представлен в виде диаграмм и таблиц. Эксергетический к.п.д. газогенераторного процесса имеет значение 69,13%. Даны некоторые выводы.

EXERGY BALANCE OF THE GAS PRODUCER

S u m m a r y

The energy and the exergy balances of an existing gas producer is presented by means of the diagrams and the tables. The worth of 69,13% for the exergy efficiency of the gas producer is obtained. Conclusions are given.