

Małgorzata SŁOMION, Maciej MATUSZEWSKI, Piotr SZKODZIŃSKI

ANALIZA ZUŻYCIA ELEMENTÓW MŁYNA WĘGLOWEGO W ZALEŻNOŚCI OD JAKOŚCI PALIWA

Streszczenie: Przemysł energetyczny wykorzystuje różne typy młynów węglowych, które są często modyfikowane w celu uzyskania m.in. drobno zmielonego pyłu o konsystencji pudru, odpowiedniej wentylacji oraz redukcji zużycia energii, a także ograniczenia zużywania się elementów mielących. Ze względu na dużą awaryjność tych urządzeń niezbędne stają się: poprawna regulacja, staranna obsługa i dobór właściwego paliwa. Celem badań jest analiza zużywania się elementów młyna węglowego w zależności od jakości stosowanego węgla kamiennego.

Słowa kluczowe: młyny węglowe, zużycie, węgiel kamienny

1. WPROWADZENIE

Młyny węglowe w przemyśle energetycznym wykorzystuje się do mielenia węgla. Węgiel palony jest w kotłach, jednak nie w postaci, w jakiej wydobywany jest w kopalni, tylko w formie zmielonego, drobnego pyłu o konsystencji pudru. Elementy młyna, takie jak stalowe kule czy łopatki wentylatora (zależne od rodzaju węgla, tj. węgla kamiennego czy brunatnego), rozdrabniają i mielą węgiel. Wentylator w młynie tłoczy gorące powietrze, które umożliwia transport pyłu węglowego do samej komory paleniskowej kotła, a także pozwala na wstępne osuszenie węgla [7].

Młyn wentylatorowy to młyn samowentylujący, który bez oddzielnego wentylatora zasysa odpowiednią ilość czynnika suszącego (spaliny, powietrze) i transportuje mieszaninę pyłowo-gazową przez odsiewacz, rurociąg i palniki do komorowy paleniskowej kotła. Węgiel wraz z czynnikiem suszącym wprowadzany jest osiowo do jednostronnie otwartego koła bijakowego, obracającego się w spiralnie ukształtowanym korpusie i miele węgiel przez uderzenie i ścieranie. Do suszenia węgla młyn zasysa gorący czynnik, czyli powietrze lub spaliny z górnej części komory paleniskowej kotła. Czynnik suszący, stykając się w kanale dolotowym z mokrym węglem, powoduje jego wstępne podsuszanie. W celu regulacji temperatury do kanału dolotowego doprowadzone są spaliny recyrkulacyjne oraz gorące i zimne powietrze [2–6].

Młyn węglowy stanowi jedno z najbardziej awaryjnych urządzeń systemu energetycznego zasilanego węglem. Wymaga nie tylko poprawnej regulacji, ale również doboru odpowiedniego paliwa oraz starannej obsługi. Elementy młyna

¹ mgr inż. Małgorzata SŁOMION, UTP Bydgoszcz, e-mail: malgorzata.slomion@utp.edu.pl

² dr hab. inż. Maciej MATUSZEWSKI, UTP Bydgoszcz, e-mail: matus@utp.edu.pl

³ inż. Piotr SZKODZIŃSKI, UTP Bydgoszcz, e-mail: piotr.szкодzinski@gkpgc.pl

podlegają intensywnemu zużyciu, co często prowadzi do utraty zdolności eksploatacyjnej młyna. W pracy podjęto analizę zużycia się elementów młyna węglowego w zależności od jakości węgla kamiennego [4–6].

2. PRZEDMIOT BADAŃ

2.1. Charakterystyka badanego węgla

Ocenę zużycia się wybranych elementów młyna przeprowadzono na podstawie badań dwóch rodzajów węgla kamiennego. W celu wyznaczenia wartości parametrów węgla wykonano analizę składu chemicznego próbek pobranych z dwóch składowisk (rys. 1, 2) przy Elektrociepłowni w Toruniu.



Rys. 1. Składowisko węgla kamiennego nr 1 (fot. autor)

Fig. 1. Hard coal storage site no. 1 (photo by author)



Rys. 2. Składowisko węgla kamiennego nr 2 (fot. autor)

Fig. 2. Hard coal storage site no. 2 (photo by author)

Tabele 1 oraz 2 zawierają odpowiednio wartości badanych parametrów węgla kamiennego oraz sprawozdanie z badania węgla pobranego ze składowiska nr 1, natomiast w tabelach 3 i 4 wyniki przedstawiono analogicznie dla składowiska nr 2.

Tabela 1. Wartości badanych parametrów węgla kamiennego – składowisko nr 1 (opracowanie własne)
Table 1. Values of tested hard coal parameters – coal storage site no. 1 (own study)

Nazwa oznaczenia	Jednostka	Stan analityczny	Stan roboczy	Stan suchy
Wilgoć przemijająca	%		5,5	
Wilgoć analityczna	%	2,9		
Wilgoć higroskopijna	%	2,8		
Wilgoć całkowita	%		8,1	
Zawartość popiołu	%	12,4	11,7	12,8
Zawartość siarki całkowitej	%	0,54	0,51	0,56
Zawartość siarki w popiele	%	1,63		
Zawartość siarki popiołowej	%	0,20	0,19	
Zawartość siarki palnej	%	0,34	0,32	
Przelicznik do oznaczania siarki	g·l ⁻¹	0,08		
Zawartość węgla całkowitego	%	72,30	68,43	74,46
Różnica ciężaru drucika po spaleniu	g			
Pojemność cieplna kalorymetru	J·°C ⁻¹	8937		
		8932		
Naważka węgla do spalania	g	0,9981		
		0,9981		
Ciepło spalania odczytane z kalorymetru	kJ·kg ⁻¹	28620		
Zawartość wodoru	%	4,58		
Ciepło spalania	kJ·kg ⁻¹	28526		29378
Wartość opałowa w stanie analitycznym	kJ·kg ⁻¹	27455	25854	

Tabela 2. Sprawozdanie z badania węgla kamiennego – składowisko nr 1 (opracowanie własne)
Table 2. Hard coal test report – coal storage site no. 1 (own study)

Nazwa oznaczenia	Jednostka	Stan analityczny	Stan roboczy	Niepewność pomiaru	Podstawa wykonania badania
Wilgoć przemijająca*)	%	-	5,5	± 0,26	PN-80/G-04511
Wilgoć analityczna*)	%	2,9	-	± 0,23	PN-80/G-04511 pkt 2.4.1.7 a
Wilgoć higroskopijna*)	%	2,8	-	± 0,30	PN-80/G-04511
Wilgoć całkowita*)	%	-	8,1	± 0,95	PN-80/G-04511 pkt 2.3.1
Zawartość popiołu*)	%	12,4	11,7	± 0,16	PN-80/G-04512 + Az1:2002 pkt.2.4.1
Zawartość siarki całkowitej*)	%	0,54	0,51	± 0,05	PN-G-04584:2001
Zawartość siarki popiołowej*)	%	0,20	0,19	± 0,01	PN-G-04584:2001
Zawartość siarki palnej	%	0,34	0,32	-	PN-G-04584:2001
Zawartość węgla całkowitego*)	%	72,30	68,43	± 1,71	W09-LB-05.00 wyd 5: 19.09.2012 r.
Ciepło spalania*)	kJ·kg ⁻¹	28526	-	± 137	PN-81/G-04513
Wartość opałowa*)	kJ·kg ⁻¹	27455	25854	± 933	PN-81/G-04513

Uwagi:

1. Niepewność wyniku wyrażona jest niepewnością rozszerzoną oszacowaną dla metody badawczej dla przedziału ufności 95% i k = 2.

2. Metody badawcze oznaczone w tym sprawozdaniu symbolem *) posiadają akredytację PCA nr AB 1048.
Normy:

1) PN-80/G-04511 Oznaczenie zawartości wilgoci,

2) PN-80/G-04512 n+ Az:2002 Oznaczenie zawartości popiołu,

3) PN-81/G-04513 Oznaczenie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej,
zostały wycofane bez zastąpienia przez PKN.

Tabela 3. Wartości badanych parametrów węgla kamiennego – składowisko nr 2 (opracowanie własne)
 Table 3. Values of tested hard coal parameters – coal storage site no. 2 (own study)

Nazwa oznaczenia	Jednostka	Stan analityczny	Stan roboczy	Stan suchy
Wilgoć przemijająca	%		11,7	
Wilgoć analityczna	%	2,7		
Wilgoć higroskopijna	%	2,9		
Wilgoć całkowita	%		19,4	
Zawartość popiołu	%	30,4	28,3	31,2
Zawartość siarki całkowitej	%	0,53	0,49	0,54
Zawartość siarki w popiele	%			
Zawartość siarki popiołowej	%			
Zawartość siarki palnej	%			
Przelicznik do oznaczania siarki	$\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$	0,08		
Zawartość węgla całkowitego	%	53,61	49,92	55,10
Różnica ciężaru drucika po spalaniu	g			
Pojemność cieplna kalorymetru	$\text{J} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	8937		
		8937		
Naważka węgla do spalania	g	0,9990		
		0,9998		
Ciepło spalania odczytane z kalorymetru	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	21 729		
Zawartość wodoru	%	3,62		
Ciepło spalania	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	21646		22247
Wartość opałowa w stanie analitycznym	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	20790	19190	

Tabela 4. Sprawozdanie z badania węgla kamiennego – składowisko nr 2 (opracowanie własne)
 Table 4. Hard coal test report – coal storage site no. 2 (own study)

Nazwa oznaczenia	Jednostka	Stan analityczny	Stan roboczy	Niepewność pomiaru	Podstawa wykonania badania
Wilgoć przemijająca *)	%	-	11,7	$\pm 0,31$	PN-80/G-04511
Wilgoć analityczna *)	%	2,7	-	$\pm 0,21$	PN-80/G-04511 pkt 2.4.1.7 a
Wilgoć higroskopijna *)	%	2,9	-	$\pm 0,31$	PN-80/G-04511
Wilgoć całkowita *)	%	-	19,4	$\pm 1,10$	PN-80/G-04511 pkt 2.3.1
Zawartość popiołu *)	%	30,4	28,3	$\pm 0,38$	PN-80/G-04512 + Az1:2002 pkt.2.4.1
Zawartość siarki całkowitej *)	%	0,53	0,49	$\pm 0,04$	PN-G-04584:2001
Zawartość siarki popiołowej *)	%				PN-G-04584:2001
Zawartość siarki palnej	%			-	PN-G-04584:2001
Zawartość węgla całkowitego *)	%	53,61	49,92	$\pm 1,25$	W09-LB-05.00 wyd 5: 19.09.2012 r.
Ciepło spalania *)	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	21646	-	± 104	PN-81/G-04513
Wartość opałowa *)	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	20790	19190	± 693	PN-81/G-04513

Uwagi:

1. Niepewność wyniku wyrażona jest niepewnością rozszerzoną oszacowaną dla metody badawczej dla przedziału ufności 95% i $k = 2$.

2. Metody badawcze oznaczone w tym sprawozdaniu symbolem *) posiadają akredytację PCA nr AB 1048.

Normy:

1) PN-80/G-04511 Oznaczenie zawartości wilgoci,

2) PN-80/G-04512 n+ Az:2002 Oznaczenie zawartości popiołu,

3) PN-81/G-04513 Oznaczenie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej
 zostały wycofane bez zastąpienia przez PKN.

Przeprowadzona analiza wykazała znaczne różnice wartości podstawowych parametrów próbek węgla pobranych ze składowiska nr 1 i ze składowiska nr 2, co przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Porównanie wartości podstawowych parametrów badanych węgla (opracowanie własne)
Table 5. Values comparison of the basic parameters of tested hard coals (own study)

Parametr	Jednostka	Próbka węgla – składowisko nr 1	Próbka węgla – składowisko nr 2
Wilgoć całkowita	%	8,1	19,4
Zawartość popiołu	%	11,7	28,3
Zawartość siarki całkowitej	%	0,51	0,49
Wartość opałowa	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	25854	19190

2.2. Charakterystyka badanych elementów młyna

W wyniku procesu kruszenia i mielenia węgla następuje ścieranie elementów mielących. Stopniowemu ścieraniu ulegają zarówno płyty koła bijakowego, jak i płaskowniki opancerzenia korpusu (płaskowniki progowe i obwodowe). Najintensywniej zużywają się płyty bijakowe, co wynika z dużej prędkości obwodowej bijaka, dynamicznego charakteru oddziaływań płyty z węglem oraz podwyższonej temperatury panującej w komorze młyna, tj. około 150°C .

Do przeprowadzenia analizy wybrano elementy opancerzenia młyna wentylatorowego MWk16 [1, 2]:

- a) płaskowniki obwodowe o wymiarach 100 x 40 x 692 mm z materiału ST3Sx i wadze 21,54 kg zamontowane w połowie wysokości korpusu młyna z jego prawej strony (rys. 3),
- b) płaskowniki progowe o wymiarach 150 x 60 x 692 mm z materiału 65G i wadze 47,74 kg, zamontowane w górnej części korpusu młyna nad kołem bijakowym (rys. 4).



Rys. 3. Płaskownik obwodowy młyna MWk16 (opracowanie własne)
Fig. 3. MWk16 coal mill peripheral flat bar (own study)



Rys. 4. Płaskownik progowy młyna MWk16 (opracowanie własne)

Fig. 4. MWk16 coal mill threshold flat bar (own study)

3. METODYKA BADAŃ

Badania przeprowadzono dwukrotnie dla dwóch elementów młyna, tj. płaskowników progowych I i II oraz obwodowych I i II, przy przemiale węgla kamiennych o wartościach parametrów:

a) węgiel kamienny nr 1:

- wilgoć całkowita 8,1%,
- zawartość popiołu 11,7%,
- zawartość siarki całkowitej 0,51%,
- wartość opałowa $25854 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$,

b) węgiel kamienny nr 2:

- wilgoć całkowita 19,4%,
- zawartość popiołu 28,3%,
- zawartość siarki całkowitej 0,49%,
- wartość opałowa $19190 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Płaskownik progowy I i płaskownik obwodowy I zamontowano w młynie do przemiału węgla kamiennego ze składowiska nr 1, natomiast płaskownik progowy II i płaskownik obwodowy II – do przemiału węgla kamiennego ze składowiska nr 2.

Ocenę zużywania się wytypowanych elementów młyna, w zależności od jakości paliwa, przeprowadzono na młynie Elektrociepłowni w Toruniu o oznaczeniu 2MW2 (młyn kotła WP120), który pracował ze stałym obciążeniem.

Wykonano pomiary zmian masy elementów młyna, podczas jego przeglądów okresowych, po przepracowanych: 300, 500, 700 i 900 godzinach. Po przepracowanych godzinach płaskowniki każdorazowo zdemonutowano i zważono w celu określenia ubytku masy.

4. ANALIZA ZUŻYWANIA SIĘ ELEMENTÓW MŁYNA

Wyniki zmian masy uzyskane dla płaskowników progowych I i II, otrzymane po przepracowaniu 300, 500, 700 i 900 godzin dla węgla kamiennego ze składowiska pierwszego i drugiego przedstawiono w tabeli 6. Analogiczne wyniki przedstawiono dla płaskowników obwodowych I i II w tabeli 7.

Tabela 6. Zmiana masy płaskowników progowych (opracowanie własne)

Table 6. Threshold flat bar weight change (own study)

Liczba godzin pracy	Parametry		Jednostka	Węgiel kamienny	
				Składowisko nr 1	Składowisko nr 2
	Wilgoć całkowita		%	8,1	19,4
	Zawartość popiołu		%	11,7	28,3
	Zawartość siarki całkowitej		%	0,51	0,49
	Wartość opałowa		kJ·kg ⁻¹	25854	19190
	Płaskownik progowy I			Płaskownik progowy II	
	Masa elementu [kg]	Zmiana masy [%]		Masa elementu [kg]	Ubytek masy [%]
0	47,74	-	47,74	-	
300	43,03	9,87	40,31	15,56	
500	38,75	9,95	35,74	11,34	
700	35,47	8,46	32,45	9,21	
900	33,28	6,17	*	-	
* brak pomiaru masy ze względu na zbyt duże zużycie płaskownika					

* brak pomiaru masy ze względu na zbyt duże zużycie płaskownika

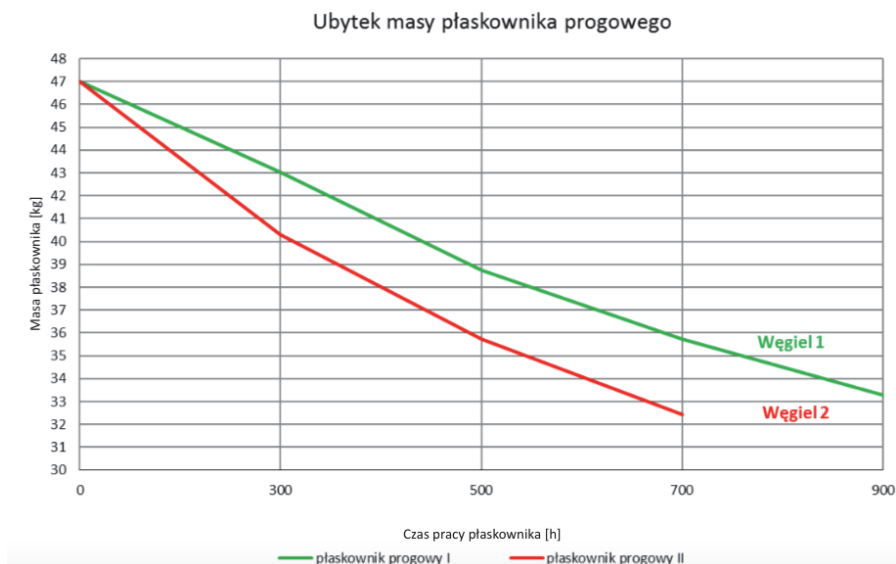
Tabela 7. Zmiana masy płaskowników obwodowych (opracowanie własne)

Table 7. Peripheral flat bar weight change (own study)

Liczba godzin pracy	Parametry		Jednostka	Węgiel kamienny	
				Składowisko nr 1	Składowisko nr 2
	Wilgoć całkowita		%	8,1	19,4
	Zawartość popiołu		%	11,7	28,3
	Zawartość siarki całkowitej		%	0,51	0,49
	Wartość opałowa		kJ·kg ⁻¹	25854	19190
	Płaskownik obwodowy I			Płaskownik obwodowy II	
	Masa elementu [kg]	Zmiana masy [%]	Masa elementu [kg]	Ubytek masy [%]	
0	21,54	-	21,54	-	
300	16,82	21,91	16,51	23,35	
500	16,04	4,64	15,45	6,42	
700	14,32	10,72	13,23	14,37	
900	13,28	7,26	*	-	
* brak pomiaru masy ze względu na zbyt duże zużycie płaskownika					

* brak pomiaru masy ze względu na zbyt duże zużycie płaskownika

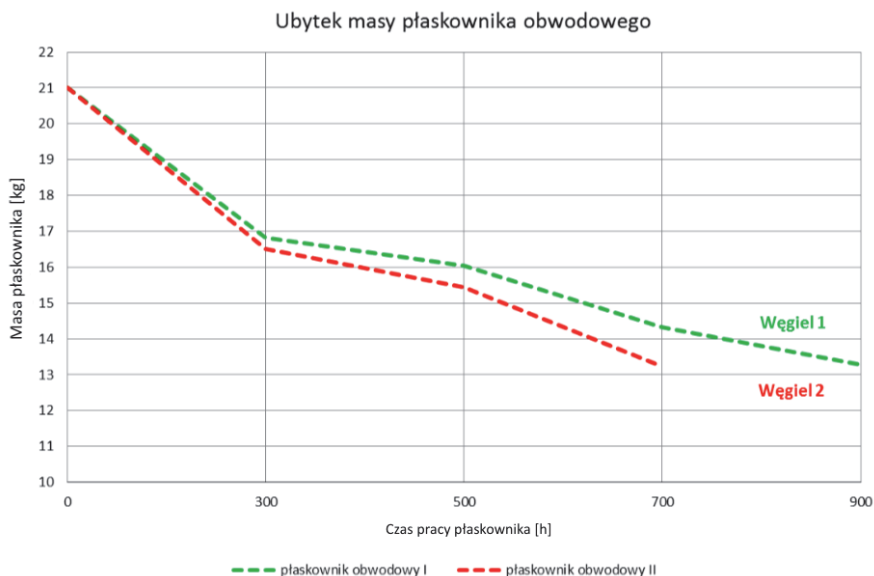
Na rysunku 5 przedstawiono zmianę masy płaskowników progowych I i II w zależności od liczby przepracowanych godzin oraz jakości węgla.



Rys. 5. Wykres zmiany masy płaskowników progowych I i II w zależności od przepracowanych godzin, po przemiale węgla kamiennego ze składowiska 1 i 2 (opracowanie własne)

Fig. 5. Graph of weight change of threshold flat bars I and II depending on hours worked, after hard coal milling from the storage site 1 and 2 (own study)

Na rysunku 6 przedstawiono zmianę masy płaskowników obwodowych I i II w zależności od liczby przepracowanych godzin oraz jakości węgla.



Rys. 6. Wykres zmiany masy płaskowników obwodowych I i II w zależności od przepracowanych godzin, po przemiale węgla kamiennego ze składowiska 1 i 2 (opracowanie własne)

Fig. 6. Graph of weight change of peripheral flat bars I and II depending on hours worked, after hard coal milling from the storage site 1 and 2 (own study)

Dla płaskownika progowego I o masie początkowej 47,74 kg po przepracowaniu 700 godzin, przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 1 zaobserwowano ubytek 12,27 kg masy, natomiast dla płaskownika progowego II – 15,29 kg, przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 2. Z kolei ubytek masy płaskownika obwodowego I o masie początkowej 21,54 kg, po przepracowaniu 700 godzin, przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 1 wyniósł 7,22 kg, a płaskownika obwodowego II przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 2 – 8,31 kg.

Zaobserwowano większe zużycie płaskownika progowego II i płaskownika obwodowego II przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 2. Elementy młyna przy przemiele węgla ze składowiska nr 1 wykazały mniejszy ubytek masy niż w przypadku przemiału węgla ze składowiska nr 2. Po przepracowaniu przez młyn 700 godzin przy mieleniu węgla ze składowiska nr 2 konieczne było przeprowadzenie naprawy młyna ze względu na stopień zużycia elementów młyna, które uniemożliwiało jego dalszą pracę. Młyn mielący węgiel kamienny ze składowiska nr 1 przepracował 900 godzin bez konieczności wykonania napraw oraz wymiany badanych elementów młyna (płaskowników).

5. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono analizę zużywania się wybranych elementów młyna węglowego przy przemiele dwóch różnych jakościowo węgla kamiennych. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że po 700 godzinach pracy i przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 1 ubytek masy dla płaskownika progowego I wyniósł średnio 28%, natomiast dla płaskownika progowego II – węgiel kamienny ze składowiska 2 – wyniósł średnio 36% masy. Z kolei dla płaskownika obwodowego I po 700 godzinach pracy ubytek masy przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 1 wyniósł średnio 37%, a dla płaskownika obwodowego II – 44% przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 2. Większe zużycie zaobserwowano dla płaskownika progowego II i płaskownika obwodowego II, czyli przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 2.

Po przepracowanych 700 godzinach młyna mielącego węgiel ze składowiska nr 2 niezbędne było przeprowadzenie jego naprawy ze względu na stopień zużycia elementów, które uniemożliwiało dalszą eksploatację. Elementy młyna mielącego węgiel kamienny ze składowiska nr 1 po przepracowaniu 900 godzin nie wymagały przeprowadzenia napraw oraz wymiany.

Po przeprowadzonej analizie stwierdzono, że jakość paliwa ma istotny wpływ na zużywanie się elementów młyna.

LITERATURA

- [1] DTR młyna wentylatorowego MWk-16. Aktualizacja DTR na zlecenie: Elektrociepłowni „Będzin” S.A. Mikołów, 2011.
- [2] Instrukcja eksploatacji młyna węglowego TYP: MWk16 EDF Toruń, 2014.
- [3] JAROSZEWICZ J., DRAGUN Ł.: Metody diagnostyki wibroakustycznej młynów węglowych wentylatorowych w Elektrociepłowni Białystok S.A. Energia w nauce i technice, Białystok, 2012, 43–54.

- [4] KORZUCH S., KURPANIK J., MAŁEK J., POSPOLITA J.: Wpływ zmiany liczby obrotów misy młyna węglowego na jego parametry eksploatacyjne. Aktualne problemy budowy i eksploatacji kotłów. Materiały IX Konferencji Kotłowej, t. 2, Szczyrk, 2002, 123–133.
- [5] MOROŃ J., BĘBENEK Z., ŻELKOWSKI J.: Podatność przemiałowa węgla i mieszanin węglowych. Energetyka 10, 2004, 613–617.
- [6] PARYS T.: Charakterystyki młynów wentylatorowych z różnymi typami odsiewaczy. Praca końcowa, studia podyplomowe Energetyka Ciepła, AGH Kraków, 2011/2012.
- [7] PAWLIK M., STRZELCZYK F.: Elektrownie. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa, 2009.

THE ANALYSIS OF COAL MILL ELEMENTS WEAR PROCESS DEPENDING ON THE FUEL QUALITY

Summary: The energy industry uses various types of coal mills, which are often modified to obtain, i.a. finely ground dust with a powder consistency, adequate ventilation and reduction of energy consumption, as well as to reduce the consumption of grinding elements. Due to the high failure rate of these devices, correct adjustment, careful operation and selection of the correct fuel becomes necessary. The purpose of the study is to analyze the wear of the coal mill elements depending on the quality of hard coal used.

Key words: coal mill, wear, hard coal