



AKADEMIA GÓRNICZO HUTNICZA
im. Stanisława Staszica w Krakowie

WYDZIAŁ INŻYNIERII
MECHANICZNEJ I ROBOTYKI
Katedra Systemów Energetycznych i
Urządzeń Ochrony Środowiska

STUDIA PODYPLOMOWE
ENERGETYKA CIEPLNA

Imię i nazwisko: Tomasz Parys

Temat pracy końcowej: Charakterystyki młynów wentylatorowych z różnymi typami odsiewaczy

Opiekun naukowy pracy: dr inż. Maciej Lewandowski

Kraków, rok 2011/2012

Spis treści

1. Wstęp	3
2. Podział młynów węglowych	3
3. Parametry charakteryzujące młyny wentylatorowe	6
4. Odsiewacze stosowane w młynach wentylatorowych typu MWk	7
5. Opis metodyki pomiarów	10
6. Parametry pracy młynów wentylatorowych typu MWk z odsiewaczami skrzyniowymi w wersji pierwotnej	12
7. Parametry pracy młynów wentylatorowych typu MWk z odsiewaczami skrzyniowymi z wprowadzonymi modernizacjami	14
8. Charakterystyki młynów wentylatorowych po zastosowaniu odsiewacza odśrodkowego typu Reymonda	24
9. Parametry pracy młynów wentylatorowych pracujących przy kotłach na węgiel brunatny	33
10. Parametry pracy młynów wentylatorowych na węgiel brunatny pracujących przy kotle fluidalnym	45
11. Wnioski i uwagi końcowe	50
Literatura	53

1. Wstęp

W elektrowniach oraz elektrociepłowniach występują różne rodzaje młynów węglowych. Poszczególne młyny są często modyfikowane w celu uzyskanie drobniejszego przemiału pyłu węglowego, właściwych wentylacji, mniejszego zużycia energii, mniejszego zużywania się elementów mielących, itp. W pracy przedstawiono wybrane wyniki pomiarów młynów wentylatorowych do mielenia węgla kamiennego oraz węgla brunatnego z różnymi typami odsiewaczy. W opracowaniu tym zwrócono uwagę na pozytywne oraz negatywne strony zastosowanych rozwiązań.

2. Podział młynów węglowych

Młyny węglowe zostały podzielone na trzy grupy ze względu na liczbę obrotów:

A. Młyny szybkobieżne o obrotach $n = 400 \div 1500 \text{ [min}^{-1}\text{]}$

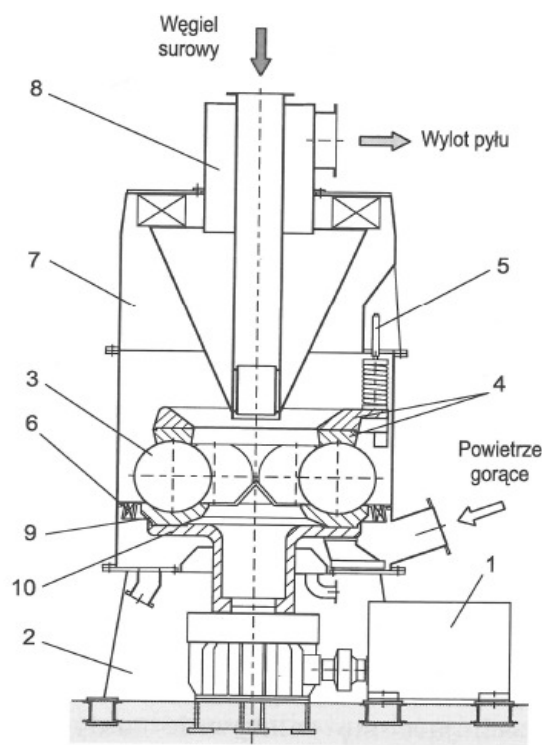
- bijakowe,
- wentylatorowe;

B. Młyny średniobieżne o obrotach $n = 30 \div 150 \text{ [min}^{-1}\text{]}$

- miażdżące pierścieniowo – kulowe,
- miażdżące misowo – rolkowe,
- miażdżące talerzowo – rolkowe,
- miażdżące walcowe;

C. Młyny wolnobieżne bębnowo – kulowe o obrotach $n = 15 \div 30 \text{ [min}^{-1}\text{]}$.

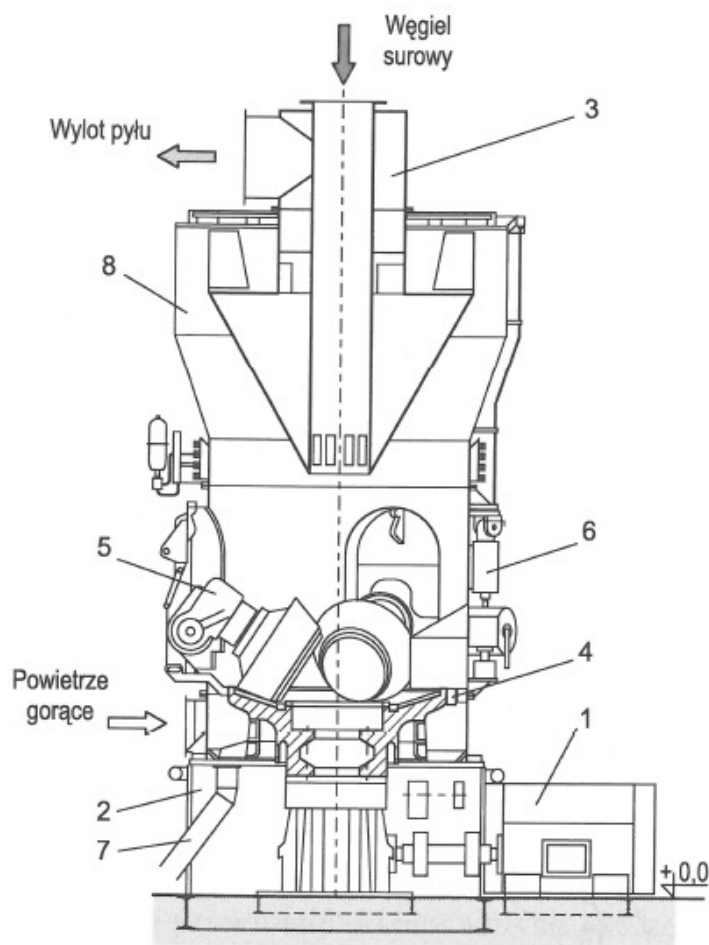
W chwili obecnej w polskiej energetyce do mielenia węgla kamiennego stosowane są głównie średniobieżne młyny miażdżące pierścieniowo – kulowe (rys. 1), misowo – rolkowe (rys. 2) oraz szybkobieżne młyny wentylatorowe (rys. 3). Pozostałe ww. typy młynów raczej nie są już stosowane.



Rys. 2.1 Schemat młyna pierścieniowo – kulowego produkcji FPM SA w Mikołowie

1. silnik
2. podstawa
3. kule
4. pierścień oporowo – dociskowy
5. regulacja docisku
6. pierścień dyszowy
7. separator
8. głowica wylotowa
9. pierścień dolny (ruchomy)
10. jarzmo

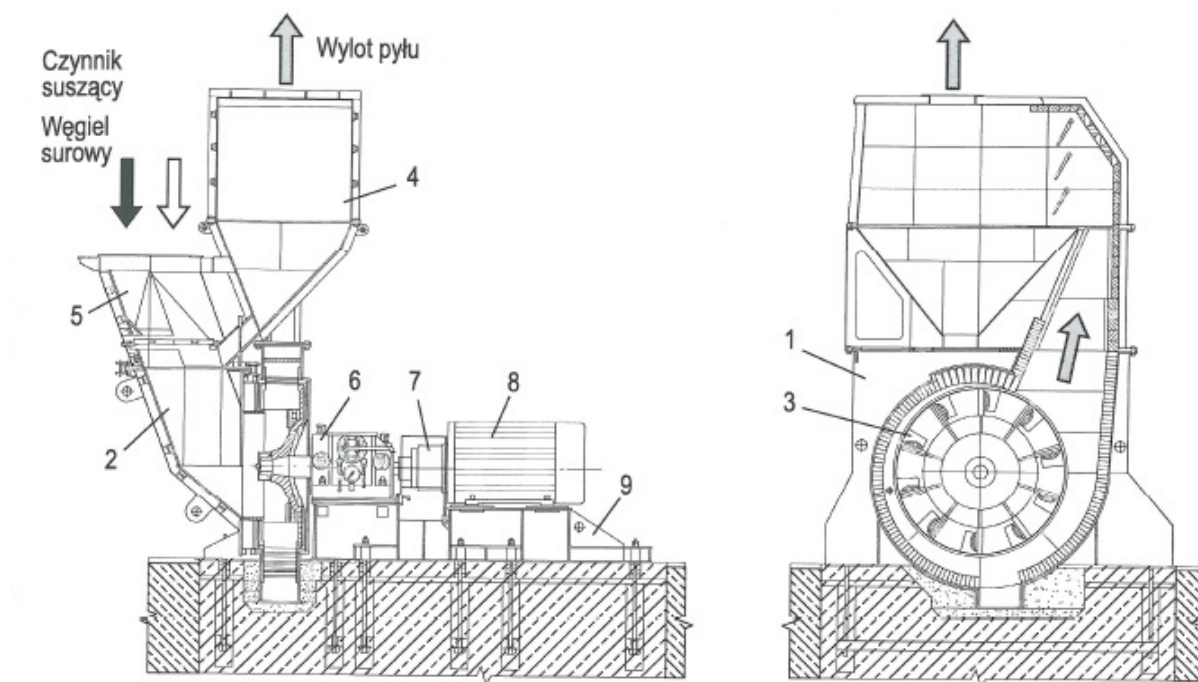
Do mielenia węgla kamiennych stosuje się młyny średniobieżne oraz szybkobieżne. Na wybór stosowanych młynów wpływ mają czynniki ekonomiczne. Dla kotłów pracujących ok. 4000h/rok najbardziej opłacalne jest stosowanie młynów średniobieżnych miażdżących, ponieważ zużywają one mniej energii na przygotowanie pyłu, czyli na przemiał i wentylację. Poza tym zastosowane w nich materiały pozwalają na dłuższą pracę bez potrzeby wymiany elementów mielących, natomiast koszt ich budowy jest znacznie wyższy od młynów wentylatorowych. W przypadku kotłów pracujących poniżej 4000h/rok bardziej ekonomiczne jest zastosowanie młynów szybkobieżnych wentylatorowych, które są stosunkowo tanie, natomiast ich części ulegają szybszemu zużyciu.



Rys. 2.2 Schemat młyna misowo – rolkowego produkcji FPM SA w Mikołowie

1. silnik
2. podstawa
3. głowica wylotowa
4. misa
5. rolka
6. hydrauliczny układ dociskowy
7. wysyp pirytów
8. separator

Do przemiału węgla brunatnych stosuje się jedynie młyny wentylatorowe, które pozwalają na suszenie wilgotnego paliwa spalinami z końcowej części komory paleniskowej.



Rys. 2.3 Schemat młyna wentylatorowego produkcji FPM SA w Mikołowie

1. korpus
2. drzwi
3. koło bijakowe
4. separator
5. kanał czynnika suszącego z zasuwą
6. ułożyskowanie
7. sprzęgło
8. silnik
9. ramy fundamentowe

3. Parametry charakteryzujące młyny wentylatorowe

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi każdy młyn szybkobieżny wentylatorowy są:

- typ młyna,
- wydajność nominalna,
- wydajność gwarantowana,
- wydajność minimalna, przy której będzie utrzymywany wymagany przemiał $R_{0,09} \leq 20\%$ i $R_{0,2} \leq 2\%$,

- wentylacja teoretyczna za młynem,
- temperatura spalin na wlocie do młyna dla węgla gwarancyjnego,
- temperatura mieszanki pyłowej,
- spręż młyna,
- masa młyna z silnikiem.

Podczas pracy młynów występuje wzajemna zależność poszczególnych parametrów, czyli występują charakterystyki pracy młynów. Do najczęściej sporządzanych charakterystyk młynów wentylatorowych należą zależności:

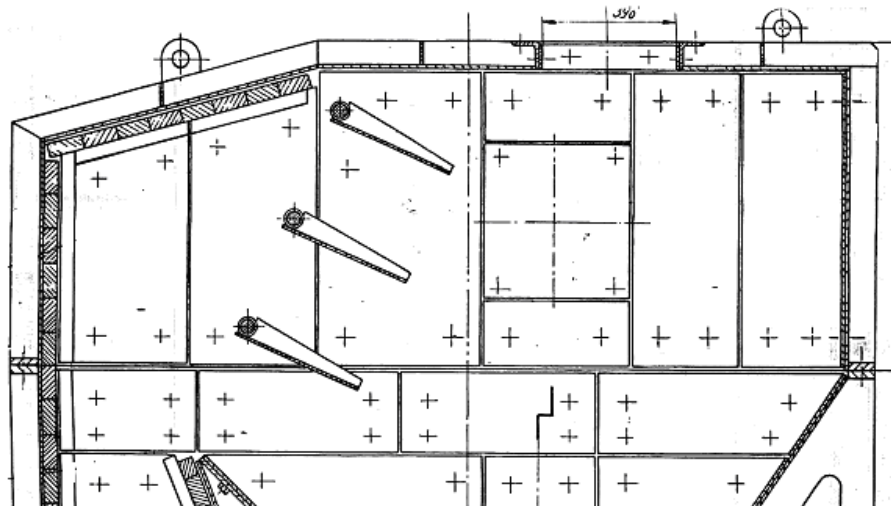
- wentylacji od wydajności młyna,
- jakości przemiału (pozostałości na sitach) od wydajności młyna,
- jakości przemiału (pozostałości na sitach) od wentylacji,
- jednostkowego zużycia energii od wydajności.

Na pracę młyna duży wpływ ma jakość węgla a szczególnie wilgoć węgla i podatność przemiałowa.

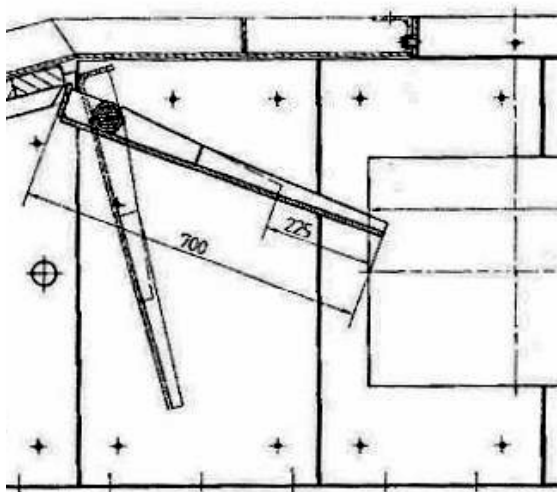
4. Odsiewacze stosowane w młynach wentylatorowych typu MWk

W polskiej energetyce można spotkać młyny typu MWk wyposażone w różne odsiewacze:

- odsiewacze skrzyniowe (rys. 4.1),
- zmodernizowane odsiewacze skrzyniowe (rys. 4.2 i np. rys. 7.3),
- odsiewacze odśrodkowe typu Reymonda (rys. 4.3).

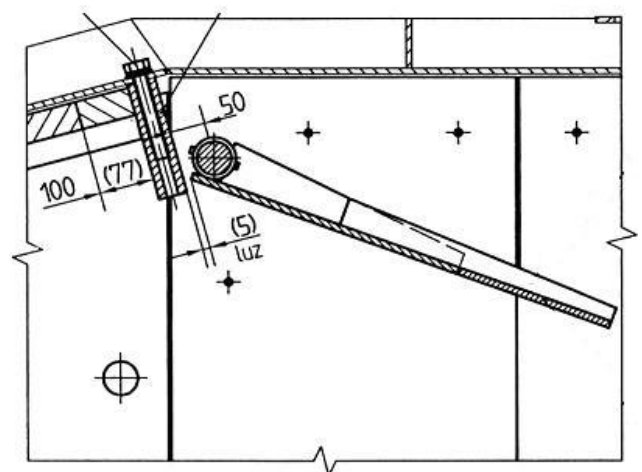


Rys. 4.1 Odsiewacz skrzyniowy młyna MWk 6 w wersji pierwotnej

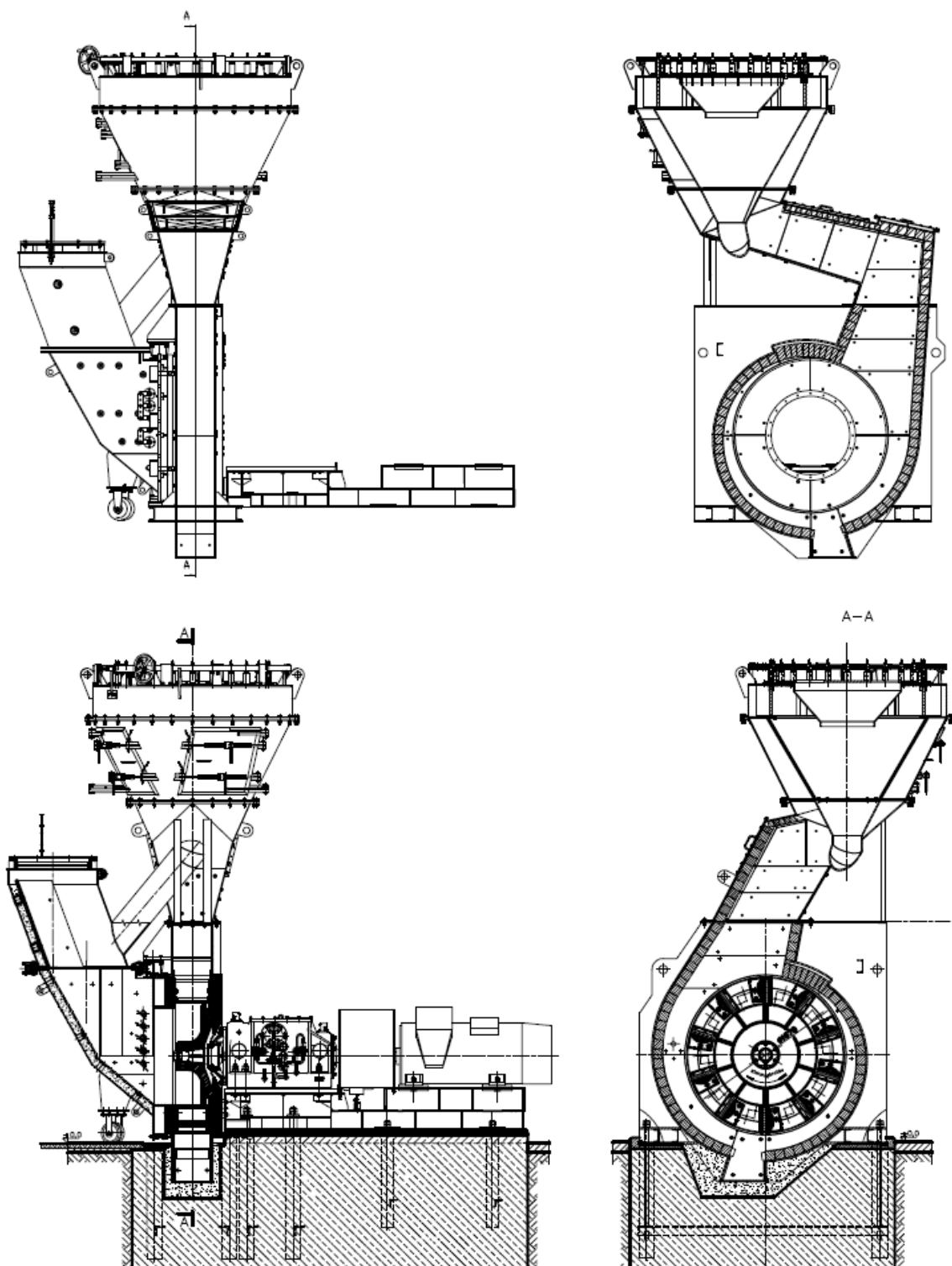


Rys. 4.2 Zmodernizowany odsiewacz skrzyniowy zastosowany w młynie MWk 6

a) wydłużenie górnej łopaty



b) wydłużenie górnej łopaty i osłonięcie szczeliny nad łopatą



Rys. 4.3 Młyn wentylatorowy typu MWk z odsiewaczem odśrodkowym typu Raymonda

5. Opis metodyki pomiarów

Pomiary młynów wykonywane przez firmę Biuro Usług Technicznych i Handlowych „EKOKAL” Kalety przeprowadzane są zgodnie z wytycznymi polskiej normy PN-89/M-34130/01 „Energia cieplna. Instalacje młynowe. Wymagania i badania” [2]. Podczas pomiarów młynów na różnych obiektach poszczególne wielkości wyznaczane są w następujący sposób:

- Parametry pracy młynów i ustawienia organów regulacyjnych: odczytywane są z przyrządów w nastawni oraz z położenia dźwigni na obiekcie.
- Prędkości przepływu w pyłoprzewodach mierzone są metodą pomiaru ciśnienia dynamicznego przy użyciu cylindrycznej rurki spiętrzającej i mikromanometru cyfrowego, zazwyczaj w mierniku THERM 2295-2B.
- Temperatury zwykle mierzone są przy pomocy sondy opartej na płaszczonej termoparze NiCr-Ni podłączonej do miernika THERM 3280-8B firmy Ahlborn Mess und Regelungstechnik Holzkirchen wyposażonego w wewnętrzną kompensację wpływu temperatury zimnych końców lub przy pomocy termopary typu K (NiCr-Ni) podłączonej do miernika HD 2114P.2 firmy DELTA OHM wyposażonego w wewnętrzną kompensację wpływu temperatury zimnych końców.
- Ciśnienia statyczne mierzone są manometrami typu U rurka napełnionymi wodą lub inną cieczą w zależności od potrzeb bądź mikromanometrami cyfrowymi.
- Pobór próbek pyłu (rys. 5.1) dla określenia masowego natężenia przepływu pyłu w przewodach pyłowych i określenia jakości pyłu wykonywany jest metodą izokinetyczną zgodnie z normą PN-91/M-34131 „Energia cieplna. Instalacje młynowe. Pobieranie próbek pyłu” [3].
- Jakość pyłu określana jest poprzez wyznaczenie pozostałości na sitach laboratoryjnych o różnych wymiarach oczek.
- Moc pobierana przez silniki młynów określana jest zazwyczaj na podstawie wskazań w nastawni lub odczytów liczników energii potrzeb własnych.
- Próbki węgla do analizy fizykochemicznej pobierane są z podajników węgla przed młynami. Następnie wykonywana jest analiza fizyko – chemiczna węgla w akredytowanym laboratorium.



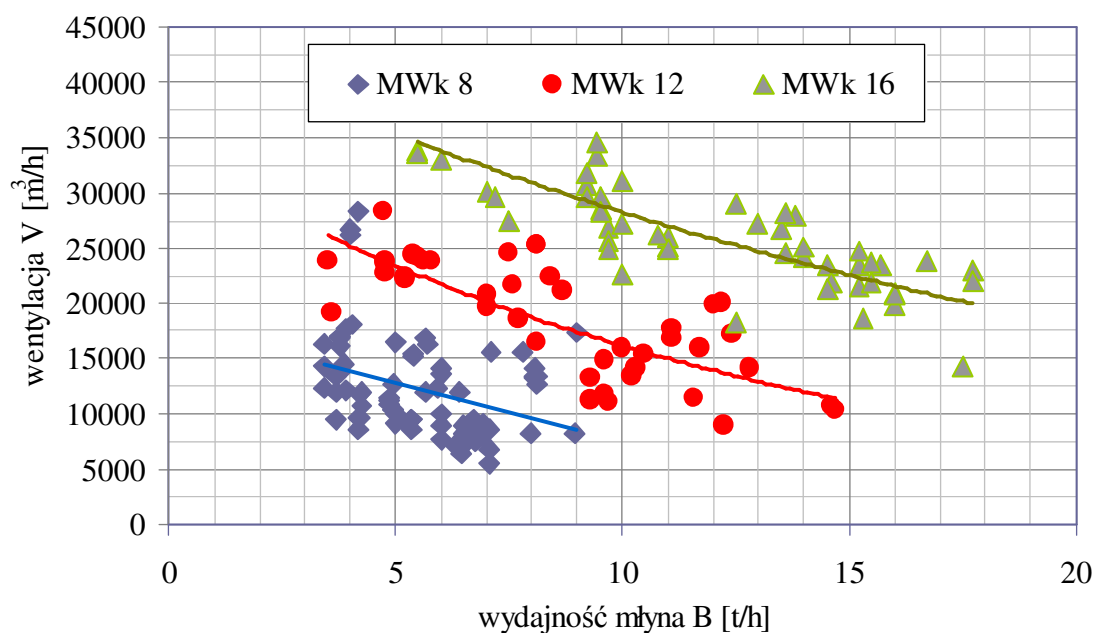
Rys. 5.1 Stanowisko pomiarowe do poboru pyłu w TE Kostolac w Serbii

6. Parametry pracy młynów wentylatorowych typu MWk z odsiewaczami skrzyniowymi w wersji pierwotnej

Praca młynów typu MWk z odsiewaczami skrzyniowymi w wersji pierwotnej charakteryzuje się grubym przemiałem oraz stromą, opadającą charakterystyką wentylacji młyna przy wzroście wydajności. Przy wzroście wydajności młyna maleje jego wentylacja, co wpływa na poprawę jakości przemiału. Dla młynów o nominalnej wydajności 8 t/h, 12 t/h i 16 t/h na rys. 6.1 przedstawiono zależność wentylacji poszczególnych młynów od ich wydajności, ww. młyny są najbardziej popularne i najczęściej stosowane w polskich zakładach. Wartości przedstawione na wykresie zaczerpnięto z [4], zestawienia zawierającego ponad 400 pomiarów młynów wentylatorowych z odsiewaczami skrzyniowymi w wersji pierwotnej. Poszczególne pomiary wykonane zostały na różnych obiektach, czyli dla różnych młynów, przy różnych warunkach, takich jak:

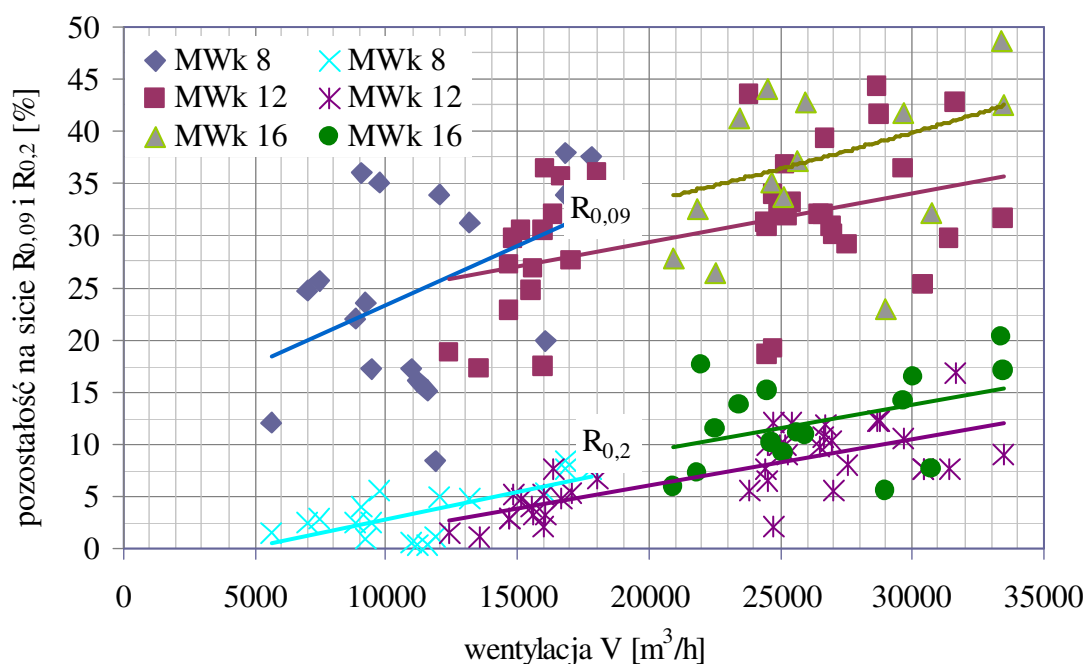
- różne ustawienie łopatek odsiewacza,
- dla różnych węgli,
- dla różnych temperatur mieszanki pyłowo – powietrznej.

Mimo rozrzutu poszczególnych punktów na wykresie można dla każdego z młynów zauważyć spadek wentylacji wraz ze wzrostem wydajności. Poziom wentylacji zależy od stanu technicznego młyna, jak również od oporów na ssaniu i tłoczeniu.



Rys. 6.1 Zależność wentylacji typowych młynów wentylatorowych z odsiewaczami skrzyniowymi w wersji pierwotnej od ich wydajności.

Na podstawie danych z zestawienia [4] na rys. 6.2 przedstawiono zależność jakości przemiału dla poszczególnych młynów od ich wentylacji. W tym celu wybrano jedynie dane z pomiarów, dla których kąt ustawienia łopatek odsiewacza do pionu wynosił 45° . Na rys. 6.2 można zauważyć, że wzrost wentylacji w młynach MWk wpływa na pogorszenie przemiału. Zasadniczo jednak na jakość przemiału wpływa to, ile i jaki pył jest zawracany w odsiewaczu do ponownego mielenia. O jakości pyłu głównie decyduje konstrukcja odsiewacza i ustawienie elementów regulacyjnych w odsiewaczu.



Rys. 6.2 Zależność jakości przemiału dla poszczególnych młynów od ich wentylacji.

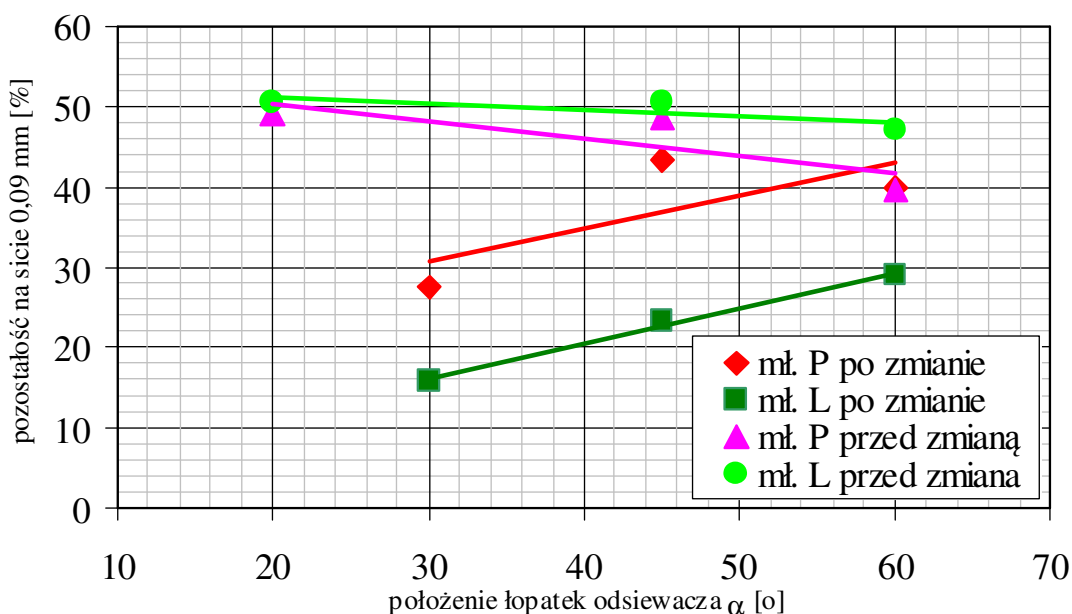
Uzyskanie trwałej jakości pyłu określonej pozostałością na sitach $R_{0,09} < 20\%$ i $R_{0,2} < 2\%$, a niekiedy jeszcze drobniejszego pyłu, stawiane jako wymaganie, między innymi przy ograniczaniu emisji tlenków azotu metodami pierwotnymi, wymusiło modernizację odsiewaczy młynów MWk. Oprócz zmian w odsiewaczach dążono do ograniczania wentylacji, głównie przy małej wydajności młynów.

7. Parametry pracy młynów wentylatorowych typu MWk z odsiewaczami skrzyniowymi z wprowadzonymi modernizacjami

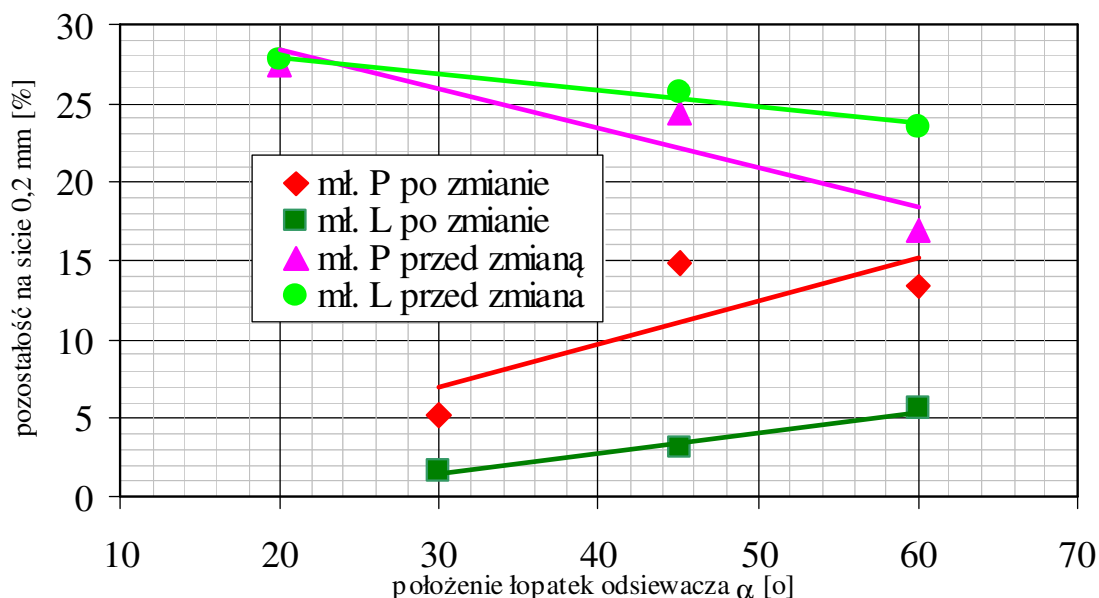
Młyny MWk są bardzo popularne, pracują u wielu użytkowników. Ze względu na wymogi dotyczące jakości przemiału były modernizowane przez różne firmy. Brakuje natomiast wymiany informacji o wprowadzonych zmianach i ich efektach. Dlatego trudno jest zbierać i przeanalizować informacje na temat przeprowadzonych modernizacji odsiewaczy skrzyniowych młynów MWk. Poniżej zwrócono uwagę na przykładowo spotkane rozwiązania i na niektóre charakterystyczne ich cechy, mające wpływ na pracę młynów i osiągnięte parametry pracy.

Dla młynów typu MWk 6 z odsiewaczami skrzyniowymi w wersji pierwotnej, jak na rys. 4.1, podczas pomiarów ww. młyna stwierdzono [5] gruby przemiał i małą zależność przemiału od kąta położenia łopatek odsiewacza (w stosunku do pionu), w sposób nieuzasadniony malejącą wraz ze wzrostem kąta.

Zauważono, że pył z krótkich łopat trafia wprost do wylotu z odsiewacza, a ponadto część grubego pyłu przechodzi pod stropem ponad górną łopatką. Dla jednego z młynów (prawego - P) wydłużono górną łopatkę odsiewacza (rys. 4.2a), a dla drugiego (lewego - L) dodatkowo dodano osłonę prześwitu pomiędzy stropem a górną łopatką (rys. 4.2b). W przypadku młyna posiadającego osłonięcie szczeliny pod stropem uzyskano zadowalający przemiał. Jakość pyłu przed i po zmianach scharakteryzowano na rys. 7.1 i 7.2.

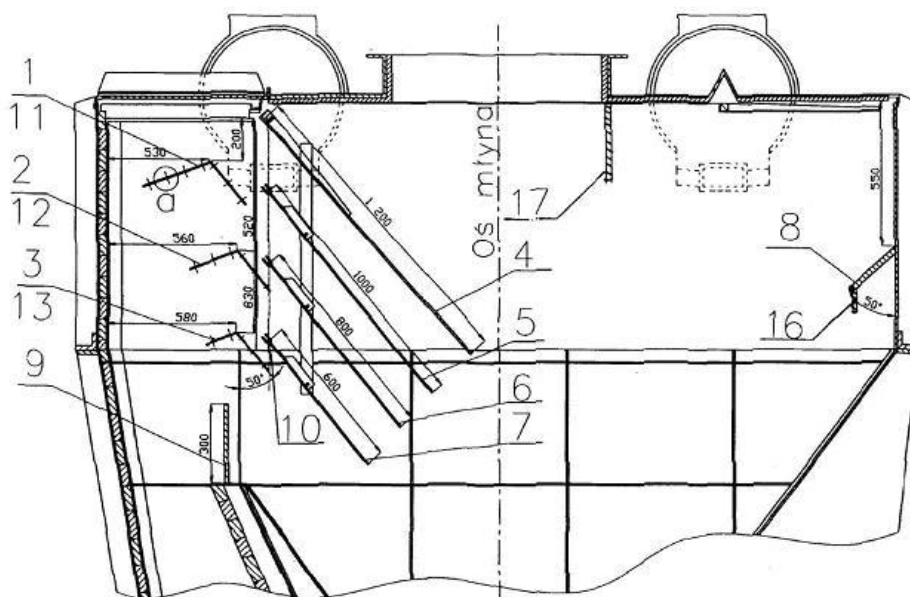


Rys. 7.1 Pozostałość na sicie 90 μm w zależności od położenia łopatek odsiewacza.

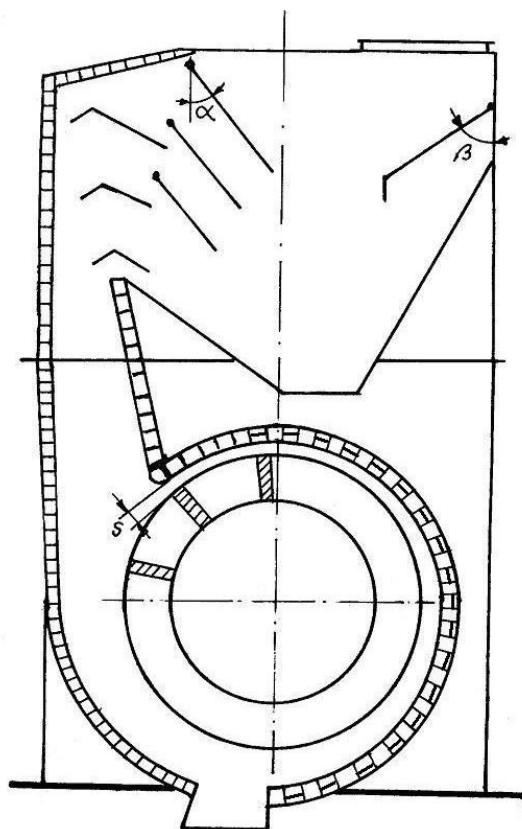


Rys. 7.2 Pozostałość na sicie 200 μm w zależności od położenia łopatek odsiewacza

Na podstawie prac badawczych Instytutu Energetyki Warszawa (patrz między innymi [14] i [15]) dokonano szeregu modernizacji odsiewaczy skrzyniowych. Odsiewacze te pracują na wielu obiektach. W większości przypadków młyny wyposażone w takie odsiewacze spełniają zakładane parametry przemiału węgla. Na rys. 7.3 i 7.4 pokazano odsiewacz wg. projektu Instytutu Energetyki, który został zabudowany m.in. do trzech młynów MWk 12 pracujących obok siebie przy kotle OP-140 nr 9 w Energetyce Dwory Sp. z o.o. Oświęcim.



Rys. 7.3 Zmodyfikowany odsiewacz skrzyniowy młyna typu MWk 12 w wersji z rozdzielnikiem kaskadowym przed łopatkami.



Rys. 7.4 Schemat młyna wraz z odsiewaczem skrzyniowym w wersji z rozdzielaczem kaskadowym przed łopatkami.

Podczas pomiarów [6] okazało się, że jakość pyłu uzyskiwanego w poszczególnych młynach różniła się więcej, niż wynikałoby to ze stopnia zużycia elementów mielących (rys. 7.11). Czas pracy badanych młynów od chwili remontu do dnia przeprowadzenia pomiarów wynosił odpowiednio:

- dla młyna nr 1 ok. 362 godziny,
- dla młyna nr 2 ok. 464 godziny,
- dla młyna nr 3 ok. 256 godziny.

W trakcie przeglądu młyna 3 okazało się, że łopatką górną jest ustawiona pod kątem ok. 29° , a trzy dolne łopatki pod kątem ok. 11° (na podstawie pomiaru wewnątrz odsiewacza). Sprawiało to, że dolne łopaty były mocno zbliżone do korpusu odsiewacza i miały bardzo mały prześwit między sobą (rys 7.7). Tak więc, nie była zachowana równoległość pomiędzy łopatkami. Między korpusem odsiewacza a łopatkami był luz wynoszący ok. $3 \div 3,5$ cm.



Rys. 7.5 Łopaty odsiewacza młyna nr 1

Dodatkowo łopatki były tak zmontowane, że cięgno łączące górną łopatę z dolnymi wychodziło ponad górną łopatkę, a wokół tego przejścia była wycięta dosyć duża szczelina (o długości ok. 40 cm i szerokości ok. $4,5 \div 7,5$ cm, patrz rys 7.9). Przez tak dużą szczelinę grube cząstki mogły się przedostawać na wylot z odsiewacza pomijając łopatki, co mogło pogrubiać przemiał.



Rys. 7.6 Wycięcie w górnej łopacie odsiewacza młyna 1 (mniejsze niż w młynie nr 3)

Do odsiewaczy pozostałych młynów nie wchodzono ze względu na długi okres stygnięcia młyna, a jedynie łopaty obserwowano przez właz w korpusie odsiewacza. Fotografia odsiewacza młyna 1 przedstawiona jest na rys. 7.5 i 7.6, a młyna nr 2 na rys. 7.7.



Rys. 7.7 Łopaty odsiewacza młyna nr 2



Rys. 7.8 Klapy odsiewacza młyna nr 3



Rys. 7.9 Wycięcie w górnej łopacie odsiewacza młyna 3, przez które pył może się przedostawać na wylot z odsiewacza bez zawracania na łopatach.

Podczas przeglądu młynów zauważono dosyć znaczne ilości dużych i małych elementów metalowych w dołku pod kołem bijakowym (szczególnie w młynie nr 2). Świadczy to o przedostawaniu się elementów metalowych do młyna, co nie powinno mieć miejsca, gdyż ma to wpływ na szybsze zużywanie się poszczególnych elementów młyna (rys. 7.10a i 7.10b).



Rys. 7. 10a Metalowe elementy wyciągnięte z młyna nr 2 podczas jego przeglądu.



Rys. 7. 10b Metalowe elementy wyciągnięte z młyna nr 2 podczas jego przeglądu.

Młyn 1



Szczelina na progu ok.
 $8 \div 12$ cm

Młyn 2



Szczelina na progu największa ok.
 $7,5 \div 14$ cm

Młyn 3



Szczelina na progu ok.
 $7,5 \div 10$ cm



Sposób zużywania się bijaków



Przysłonięcie ok. $D/2$



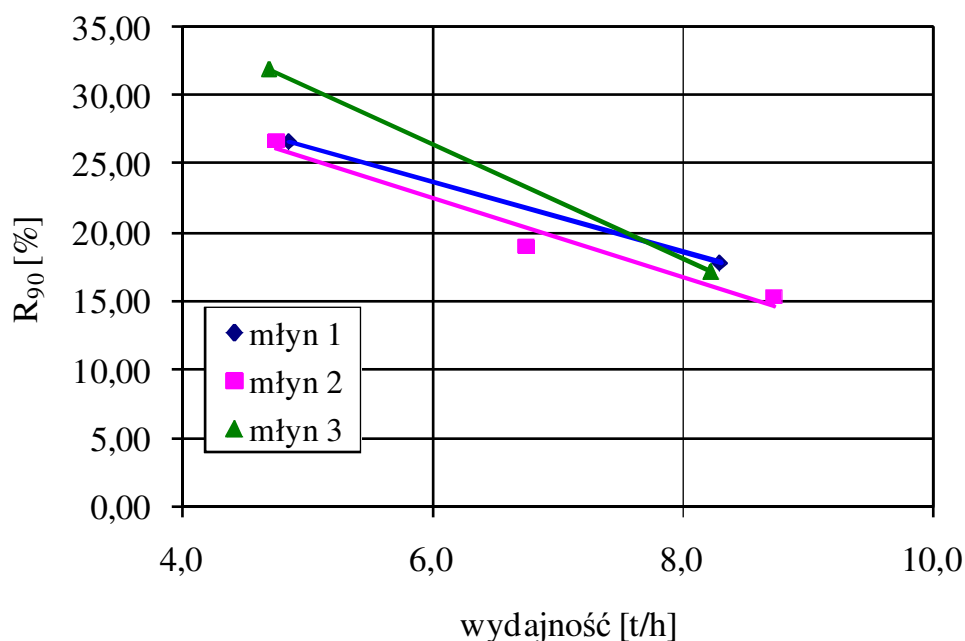
Przysłonięcie ok. $D/2 + 40$ cm



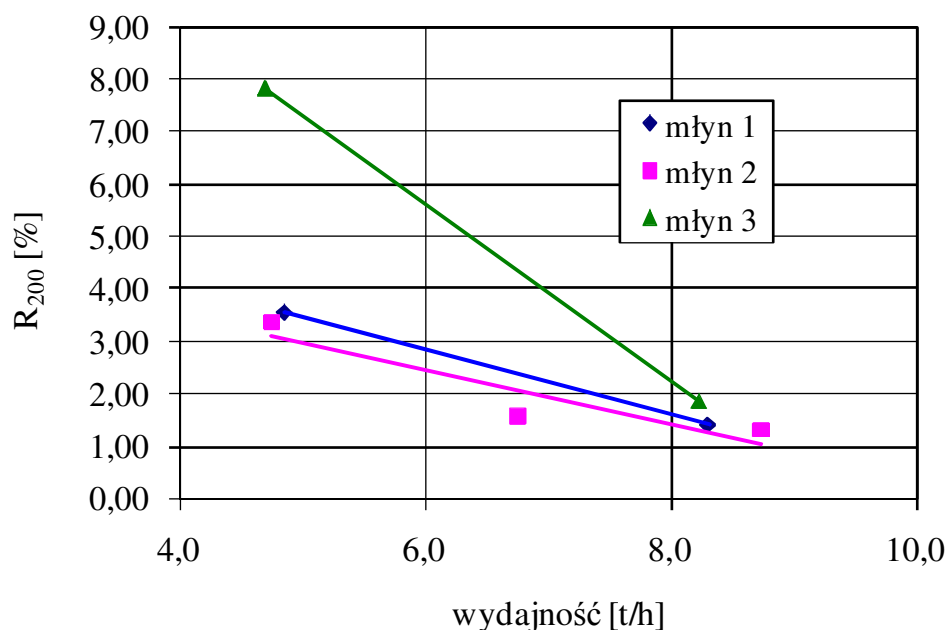
Przysłonięcie ok. $D/2 + 20$ cm

Rys. 7.11 Sposób i wielkość zużycia elementów młynów.

W odsiewaczu młyna 1 ciągnie również wystawało ponad górną łopatę, lecz szczelina była znacznie mniejsza, a łopatki były bardziej równoległe (rys. 7.5 i 7.6). W odsiewaczu młyna 2 górna łopata była bez wycięcia (rys. 7.7), a ciągnie było mocowane z dołu górnej łopaty. Tłumaczy to różnice w jakości pyłu uzyskiwanego w poszczególnych młynach. Po zmniejszeniu luzów między łopatkami i korpusem odsiewacza oraz szczelin w rejenie mocowania cięgna na górnej łopacie młyna 1 i 3, jakość pyłu w młynach uległa poprawie przy jednoczesnym niewielkim zmniejszeniu się wydajności maksymalnej trwałej młynów [7].



Rys. 7.12 Jakość przemiału w zależności od wydajności młyna MWk 12

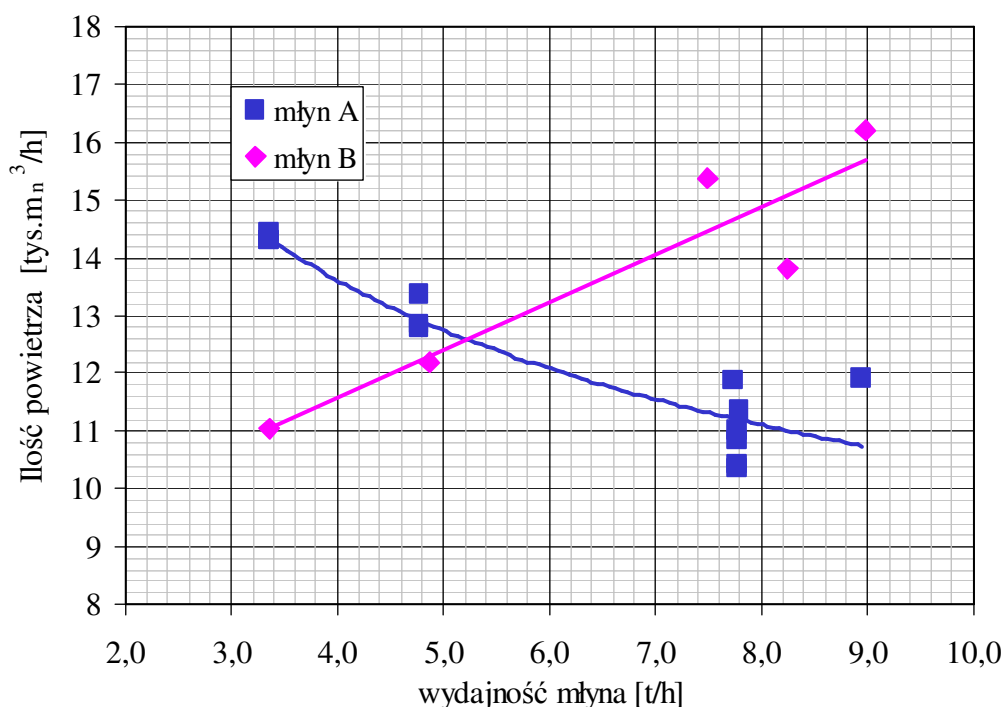


Rys. 7.13 Jakość przemiału w zależności od wydajności młyna MWk 12

Podsumowując, można stwierdzić, że młyny typu MWk ze zmodernizowanymi odsiewaczami skrzyniowymi w dosyć szerokim zakresie wydajności mogą dawać drobny pył określony pozostałością na sitach około $R_{0,09} < 20\%$ i $R_{0,2} < 2\%$. Wymagana jest przy tym dosyć duża staranność przy samym montażu i remontach odsiewaczy oraz młynów a także przy ich eksploatacji (np. unikanie dużych wentylacji przy małych wydajnościach). Na jakość pyłu ma również wpływ zużycie elementów mielących, zmienne w czasie okresu międzyremontowego. Przemiał zależy także od parametrów mielonego węgla. Dlatego nawet zmodernizowane odsiewacze skrzyniowe nie zawsze pozwalają otrzymać w młynach MWk wymaganą jakość pyłu i stąd podejmowane są próby zastosowania odsiewaczy odśrodkowych. Należy pamiętać, że zmodernizowane odsiewacze pozwalające uzyskać drobny pył wpływają na zmniejszenie maksymalnej wydajności młynów. Czasami, ze względu na większą cyrkulację pyłu w młynie, wpływają na skrócenie okresu międzyremontowego, a także mogą powodować większe zużycie energii na przygotowanie pyłu.

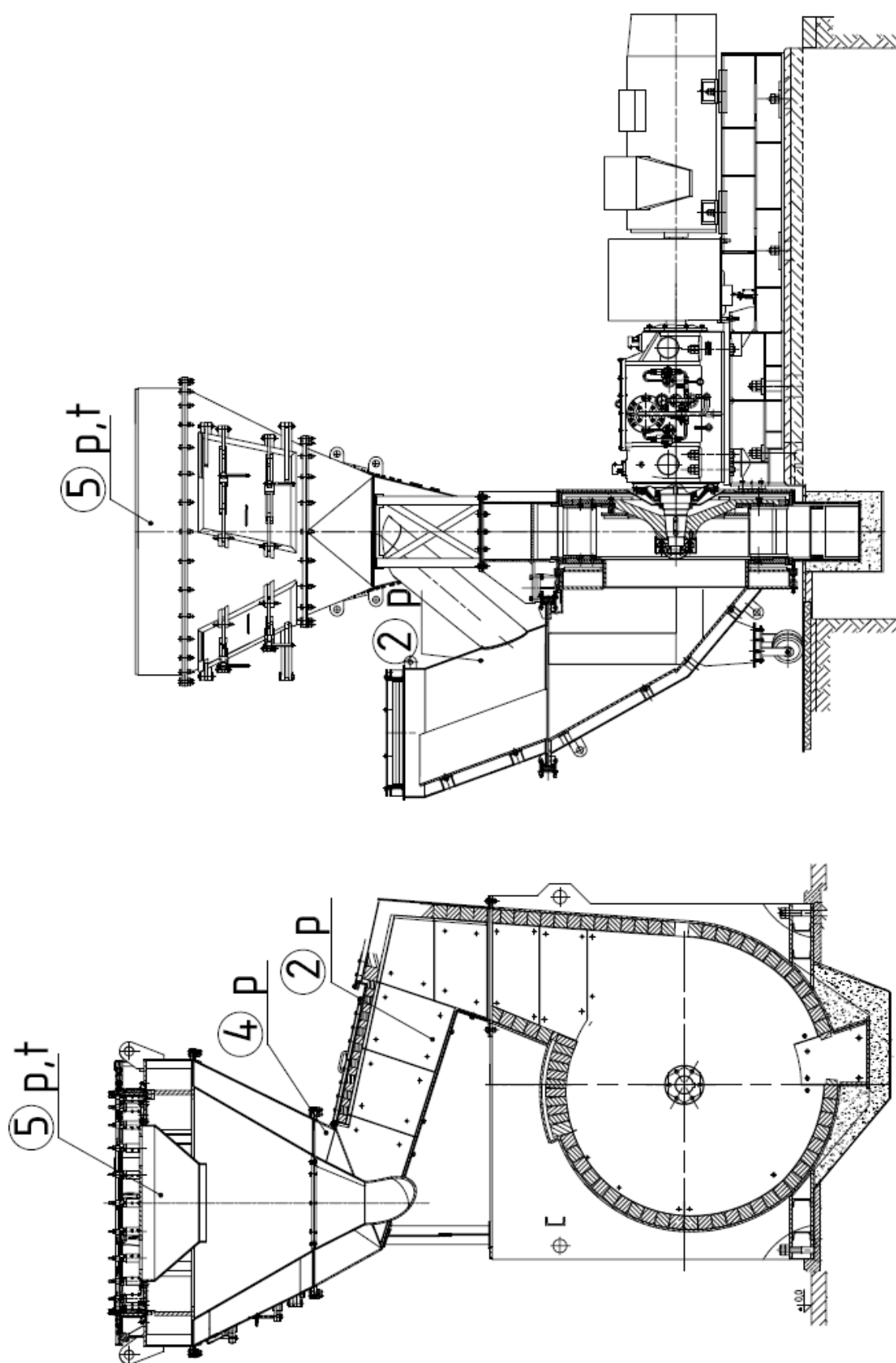
8. Charakterystyki młynów wentylatorowych po zastosowaniu odsiewacza odśrodkowego typu Reymonda

Chcąc uzyskać drobny pył, oprócz wykonywanych modernizacji odsiewaczy skrzyniowych, zaczęto do młynów MWk stosować odsiewacze odśrodkowe. Przy zastosowaniu takiego odsiewacza do młyna MWk 12 osiągnięto gwarantowane parametry pyłu [8], przy jednoczesnym ograniczeniu wydajności maksymalnej. Stwierdzono, że zastosowany odsiewacz odśrodkowy ma większą ostrość separacji (sprawność odsiewania) niż odsiewacz skrzyniowy. Ponadto zwrócono uwagę, że należy dbać, aby prędkość mieszanki na odcinku od wylotu z młyna do wejścia na łopatki odsiewacza nie spadała poniżej prędkości unoszenia najgrubszych cząstek (dla całego zakresu wydajności młyna). W młynie tym odsiewacz był umieszczony nad wylotem z młyna, co powodowało, że cząstki o dużej prędkości trafiały na ścianę wewnętrznego stożka odsiewacza, powodując jej dosyć duże zużycie. Podobne rozwiązanie zastosowano dla młynów MWk 9 [9] i [10] pracujących w instalacji umożliwiającej uzyskanie nadciśnienia czynnika suszącego przed młynem (gorące powietrze za podgrzewaczem o ciśnieniu do 1 kPa). Stąd istniała możliwość dowolnego kształtowania charakterystyki wentylacji od wydajności (rys. 8.1 - wentylacja rosnąca lub malejąca wraz wydajnością), co sprawdzono podczas pomiarów [10]. Uzyskiwano wtedy pył dobrej jakości. Jednak ze względu na dużą zawartość popiołu w mielonym węglu zużycie elementów mielących, jak również niektórych części odsiewacza, było dosyć duże.



Rys. 8.1 Dwa sposoby regulacji ilości powietrza podawanego do młyna MWk 9, charakterystyka wentylacji rosnąca lub malejąca w zależności od wydajności

Chcąc tego uniknąć, na następnych obiektach odsiewacz przesunięto znad wylotu z młyna wprowadzając między młynem a odsiewaczem opancerzony kanał (rys. 8.2 i 8.9a). Młyny, dla których to zastosowano, były młynami samowentylującymi, czyli sam młyn zasysał spaliny z komory kotła (nie było możliwości stworzenia nadciśnienia przed młynem jak w przypadku [10]), a jedynie dla obniżenia temperatury mieszanki mogło być podawane w niewielkiej ilości gorące powietrze do młyna. Odsiewacz odśrodkowy wprowadzał dosyć duże opory przepływu, a dodatkowo znaczne opory przepływu występowały w kanale pomiędzy wylotem z młyna i wlotem do odsiewacza. Ograniczyło to, w większym stopniu niż zakładano, wydajność maksymalną młynów. W przypadku samowentylującego młyna MWk 9 początkowo, aby zmniejszyć to ograniczenie, skrócono łopatki odsiewacza. Jednak maksymalna wydajność prawie wcale nie wzrosła, dlatego zdecydowano się przeprowadzić pomiary [11]. Na rys. 8.2 pokazano schemat młyna i rozmieszczenie punktów pomiarowych w obrębie młyna. Czas pracy badanych młynów MWk 9 zainstalowanych przy kotle CKTI 75 nr 2 w EC zakładów JANIKOSODA S.A od chwili uruchomienia do czasu rozpoczęcia pomiarów wynosił:



Rys. 8.2 Schemat młyna i rozmieszczenie punktów pomiarowych w obrębie młyna

- dla młyna nr 1 ok. 292 godzin,
- dla młyna nr 2 ok. 402 godzin,
- dla młyna nr 3 ok. 177 godzin.

Na rys 8.3 pokazano sposób zużywania się i wielkość zużycia elementów mielących młynów.

Młyn 1



Szczelina na progu ok. $2,5 \div 8$ cm



Małe zużycie krawędzi tnącej i bijaków

Młyn 2



Szczelina na progu ok. $3,5 \div 6$ cm



Małe zużycie krawędzi tnącej i bijaków

Młyn 3



Szczelina na progu ok. $2 \div 2,5$ cm



Małe zużycie krawędzi tnącej i bijaków

Rys 8.3 Sposób i wielkość zużycia elementów młynów

Klocki progowe spirali wylotowej, zwłaszcza młynów nr 1 i nr 2, były dosyć znacznie zużyte. Młyny miały bijaki napawane spoiną trudnościeralną i dlatego zużycie bijaków było małe. Zużycie elementów mielących zależy głównie od czasu pracy młyna, jakości węgla, sposobu pracy młyna (wydajność, ustawienie łopatek odsiewacza, wentylacja), stąd wielkość zużycia koreluje z ilością godzin przepracowanych przez młyn od uruchomienia.

W drzwiach młyna były ślady po zdemontowanej przepustnicy żaluzjowej (rys. 8.4), natomiast w kanale łączącym młyn z odsiewaczem zabudowano część przekroju, aby ograniczyć wytrącanie się tam pyłu (rys. 8.5). Obydwie te zmiany oraz skrócenie łopatek odsiewacza o kilka cm odróżniają badane młyny od początkowej wersji (od wersji wg pierwotnego projektu).

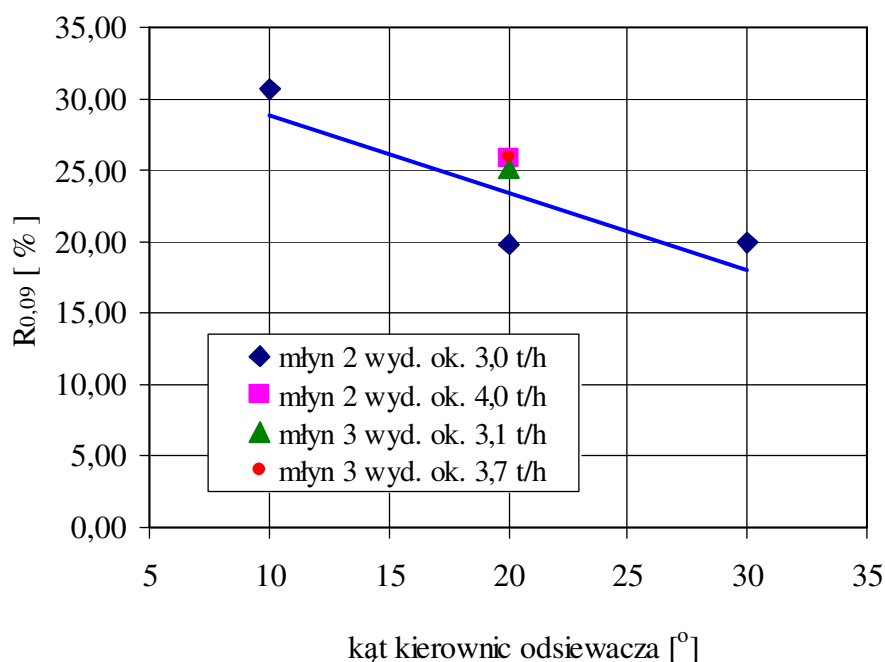


Rys. 8.4 Młyn z otwartymi drzwiami, fragment rurosuszarki i kanału nawrotu pyłu z odsiewacza do młyna, widoczne pozostałości żaluzji w drzwiach

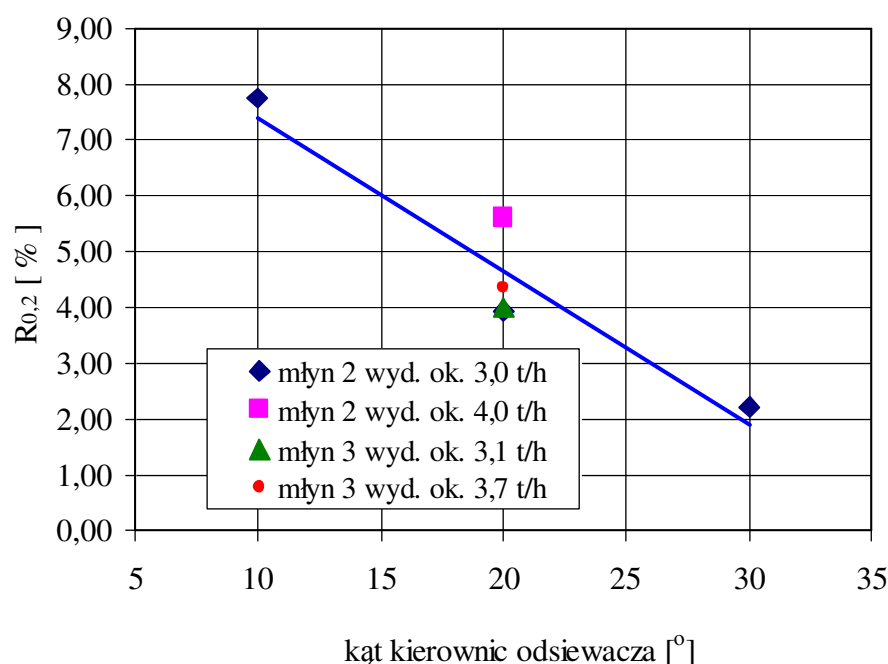


Rys. 8.5 Fragment odsiewacza i blacha zmniejszająca przekrój kanału łączącego młyn z odsiewaczem

Podczas ww. pomiarów stwierdzono, że nawet ponad 40% ciśnienia wytworzonego przez koło bijakowe młyna jest tracone przed wlotem na łopatki odsiewacza. Ponadto, w związku ze skróceniem łopatek odsiewacza, jakość pyłu dopiero przy kącie łopatek 30° w stosunku do promieniowego osiągała wymagany poziom $R_{0,09} < 20\%$ i $R_{0,2} < 2\%$. Przy mniejszych kątach pył był grubszy, lecz wydajność młynów mogła być większa. Ograniczenia wydajności młynów nie pozwalały na pracę kotła z pełną wydajnością.



Rys. 8.6 Jakość przemiału w zależności od położenia łopatek odsiewacza

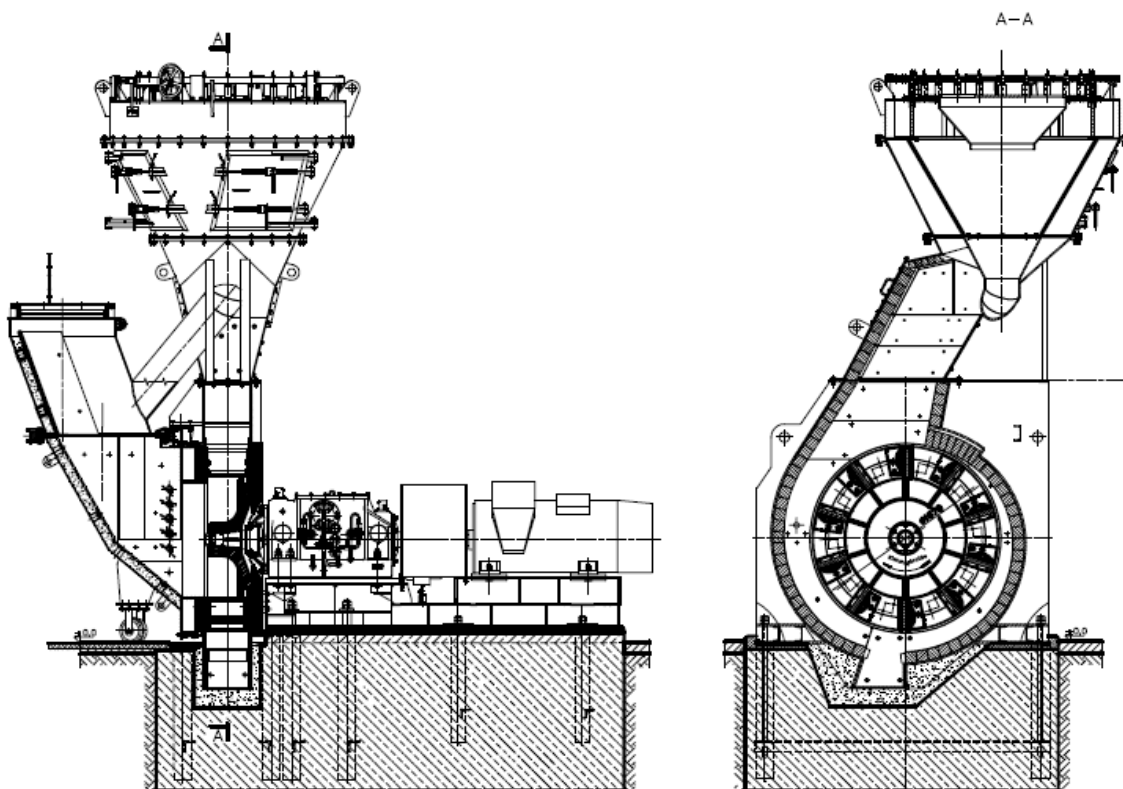


Rys. 8.7 Jakość przemiału w zależności od położenia łopatek odsiewacza

Generalnie można stwierdzić, że pozostałości na sicie 0,09 mm mieściły się dla młynów nr 2 i 3 w przedziale $19,88 \div 30,71\%$, a na sicie 0,2 mm w przedziale $2,23 \div 7,73\%$. Grubszy pył uzyskano przy ustawieniu kierownic pod kątem 10° w stosunku do promienia. Drobniejszy przy kącie kierownic 30° .

Podobnie dla młynów MWk 16 w wersji z przesuniętym odsiewaczem względem wylotu z młyna (jak na rys. 8.2 i 8.9a) podczas pomiarów [12] potwierdzono sygnalizowane przez obsługę duże zaniżenie maksymalnej wydajności w stosunku do zakładanej. W następstwie ograniczenia wydajności (i wentylacji) zasypywaniu ulegały pyłoprzewody. Ciśnienie wytworzone przez koło bijakowe nawet w ok. 30% było tracone przed wlotem do odsiewacza. Pył uzyskiwany w młynach, z małymi wyjątkami, spełniał zakładane parametry.

W związku z powyższym zdecydowano się przenieść odsiewacz na powrót w okolice wylotu z młyna (rys. 8.8 i rys. 8.9b). Takie rozwiązanie zapewniło wydajność wystarczającą do prowadzenia kotła. Dzięki temu również jakość pyłu była zgodna z oczekiwaniami.



Rys. 8.8. Sylwetka młyna MWk 9 oraz MWk 16 z odsiewaczem odśrodkowym przesuniętym na powrót w rejon wylotu z młyna

Po przeniesieniu odsiewacza, podczas uproszczonych pomiarów [13] stwierdzono, że wydajność maksymalna wzrosła prawie dwukrotnie, co zapewniło możliwość pracy kotła w wymaganym zakresie obciążeń i wyeliminowało zasypywanie się pyłoprzewodów. Ciśnienie na wylocie z odsiewacza wzrosło o ok. 30%, mimo pracy z większą wydajnością. Charakterystyka wentylacji od wydajności znacznie się przesunęła (rys. 8.10). Jakość pyłu, jak się później okazało, była lepsza od zakładanej. Tak więc młyny osiągnęły zakładane parametry.

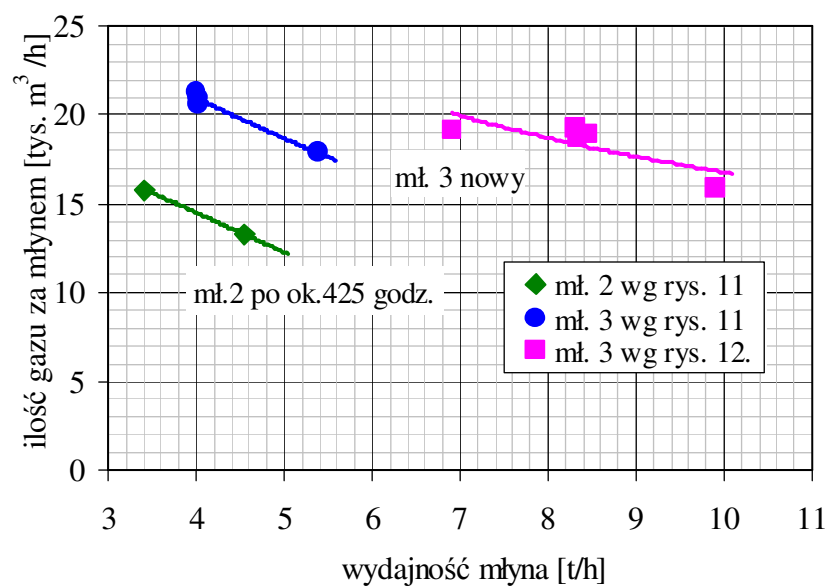


Rys. 8.9a



Rys. 8.9b

Dolna część odsiewacza młyna nr 3 podczas pomiarów opisanych w [12] 8.9a i [13] 8.9b



Rys. 8.10 Ilość gazu za młynem w zależności od wydajności młyna

9. Parametry pracy młynów wentylatorowych pracujących przy kotłach na węgiel brunatny

Z początkiem kwietnia 2012 r. zostały wykonane pomiary młynów na bloku nr 2 w TPP Kostolac B. Blok ten wyposażony jest przy kotle w 8 sztuk młynów węglowych N 270.45. W związku z zaplanowanym przestojem remontowym postanowiono wykonać pomiary porównawcze parametrów pracy młynów:

- M1 nie zmodernizowany o małym zużyciu elementów mielących,
- M5 nie zmodernizowany o dużym zużyciu elementów mielących,
- M2 zmodernizowany (klapa w nawrocie mieliwa i ruchoma przysłona w odsiewaczu) o dużym zużyciu elementów mielących,
- M6 zmodernizowany (klapa w nawrocie mieliwa i stała przysłona w odsiewaczu) o małym zużyciu elementów mielących.

Celem pomiarów było porównanie parametrów pracy dwóch młynów zmodernizowanych i dwóch nie zmodernizowanych typu N 270.45 pracujących przy kotle nr 2 w Elektrowni Kostolac B w Serbii.

Dane młynów (według tabliczek znamionowych i instrukcji eksploatacji):

- | | |
|----------------------------|---|
| • typ młyna | N 270.45 (rys. 9.1) |
| • producent | EVT Stuttgart / MINEL Kotlogradnja Beograd Yugoslavia |
| • rok produkcji | 1985 |
| • obroty | 420÷480 obr/min |
| • moc | 1300 kW |
| • wydajność | 76 t/h |
| • wentylacja | 75 m ³ /s |
| • nominalna liczba obrotów | 450 obr/min |
| • średnica koła bijakowego | 3600 mm |



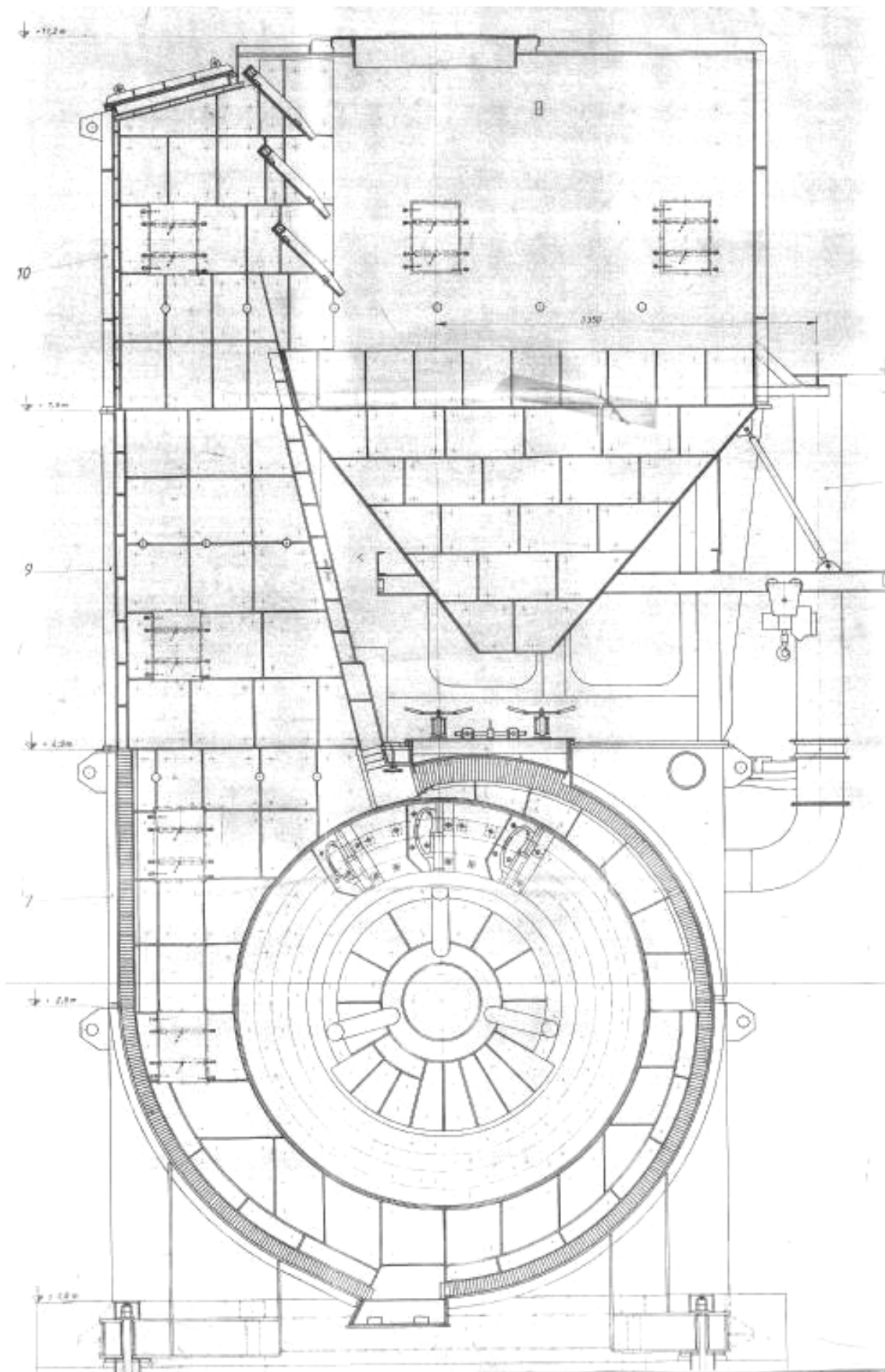
Rys. 9.1 Wentylatorowe młyny węglowe N 270.45 pracujące na węgiel brunatny

Według informacji służb technicznych, młyny przepracowały od wymiany elementów mielących do dnia 30.03.2012 r. następujące ilości godzin:

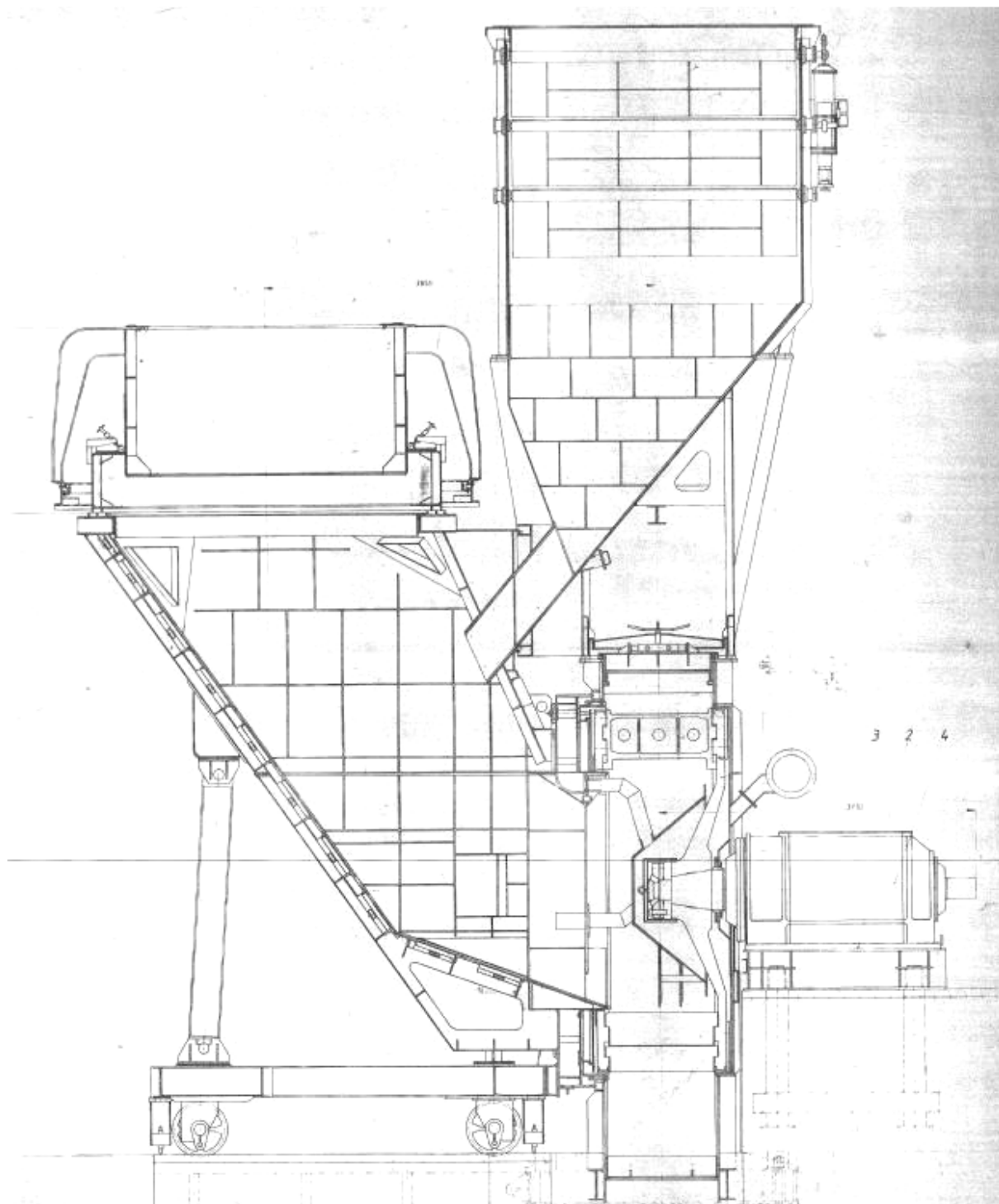
- | | |
|----------------------------|-------------|
| • młyn M1 | 24 godziny |
| • młyn M6 (zmodernizowany) | 122 godziny |
| • młyn M5 | 946 godziny |
| • młyn M2 (zmodernizowany) | 754 godziny |

Wg służb technicznych przeciętny okres międzyremontowy wynosi ok. 1400÷1500 godzin.

Nie wykonywano przeglądu młynów. Na podstawie zewnętrznych oględzin można jedynie powiedzieć, że nie stwierdzono nieszczelności w rejonie młynów i pyło-przewodów. Natomiast, jeśli chodzi o podajniki węgla, to stan ich zamknięcia wyglądał na dobry, jednak ze względu na ich długość i dużą ilość zdejmowanych osłon pracujących w trudnych warunkach, można przypuszczać, że w ich rejonie występowały doszania.



Rys. 9.2 Szkic młyna w wersji pierwotnej



Rys. 9.3 Szkic młyna w wersji pierwotnej – widok z boku

Młyny M6 i M2 miały w kanale recyrkulacyjnym pomiędzy odsiewaczem a wlotem do drzwi młyna zabudowaną klapę sterowaną zdalnie (rys. 9.4), pozwalającą częściowo przysłaniać kanał recyrkulacji (przy pionowym ustawieniu kłapy przysłonięcie kanału wynosi ok. 50%, przy położeniu ok. 40° od pionu, kłapa zrównuje się ze ścianą kanału i otwarcie jest 100%). Ponadto młyn M6 miał zmieniony odsiewacz w stosunku do wer-

311/
32-34

U
1:10
siehe Zchg. BG 313
see drawg. Ass. 313

T
1:10
siehe Zchg. BG 313
see drawg. Ass. 313

W
1:10

Innerfläche Mahlkammer (theoretisch)
Inner surface grinding chamber (theoretically)

(47.4)
Passlänge
Fitting length

792 li.W./clear

65

10

1315

542.5 x 2 li.W./clear

695.8

4385.2

705 x 415 li.W./clear

705 x 415 li.W./clear

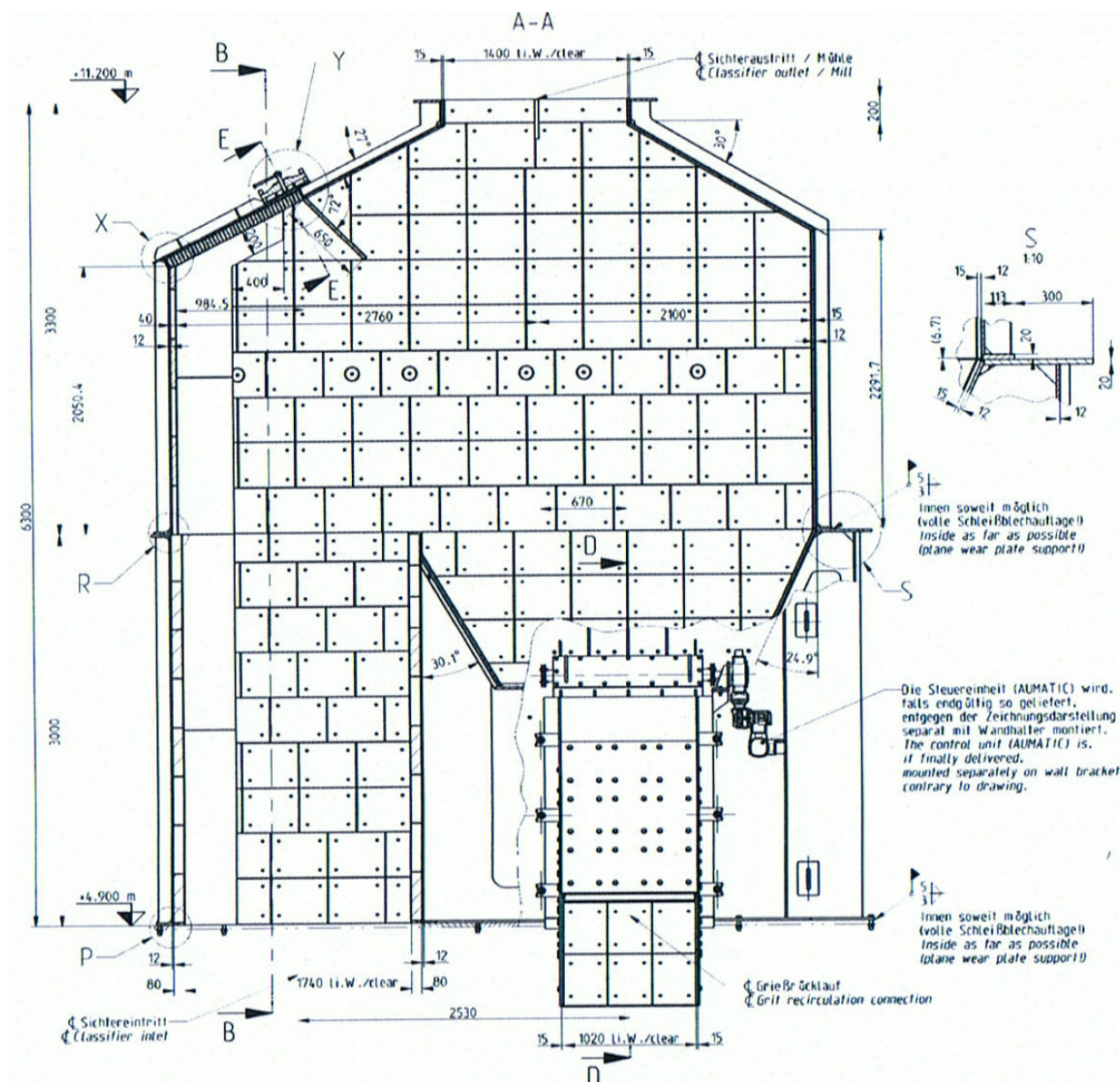
7.75°

2800 li.W./clear

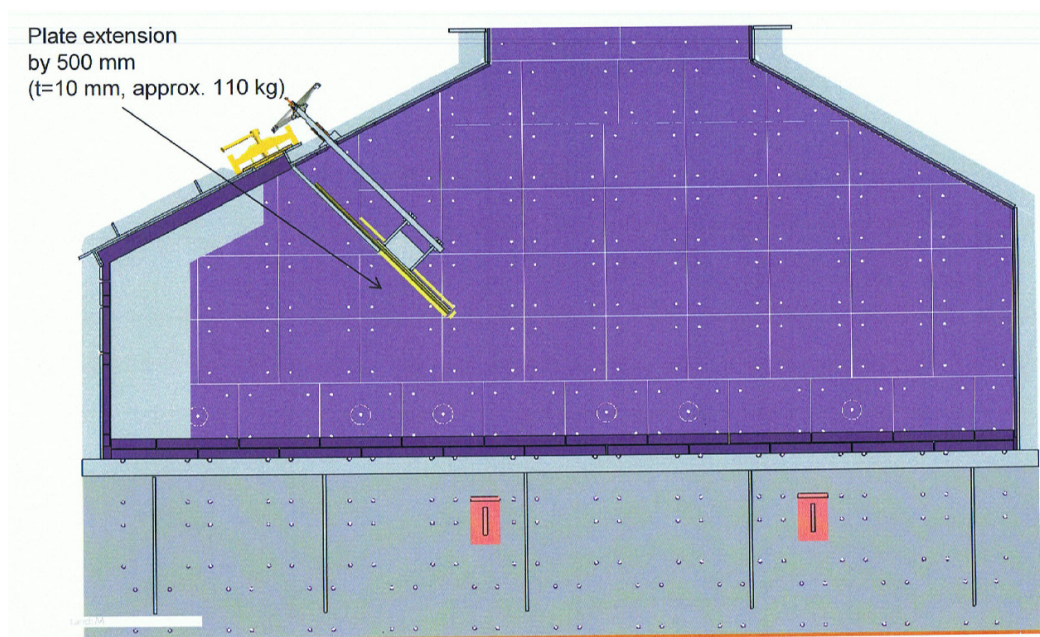
B-B
D-D

A

37



Rys. 9.5 Szkic pokazujący zabudowę płyty stałej w odsiewaczu (jak dla młyna M6)



Rys. 9.6 Szkic pokazujący zabudowę płyty o stałym kącie mającej możliwość zmiany długości (jak dla młyna M2)

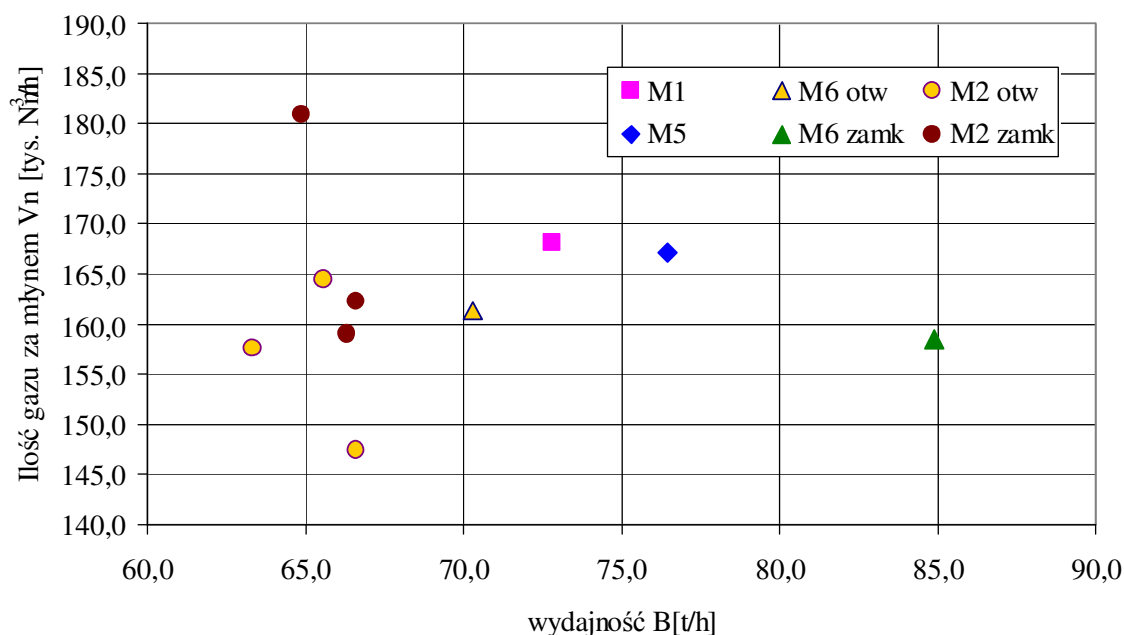
Dla młynów nie zmodernizowanych (M1 i M5) zaplanowano wykonać po jednym pomiarze przy maksymalnej ich wydajności. Dla młyna M6 zaplanowano wykonać dwa pomiary przy maksymalnej wydajności i dwóch położeniach kłapy w kanale recyrkulacji. Dla młyna M2 przewidziano realizację pomiarów przy dwóch położeniach kłapy w kanale recyrkulacji i przy trzech długościach płyty przysłaniającej w odsiewaczu (750 mm, 800 mm, i 850 mm), czyli w sumie przy sześciu reżimach pracy. Numerację pomiarów oraz ustawienia młynów w poszczególnych pomiarach scharakteryzowano w tablicy 9.7.

Tablica 9.7. Sposób ustawienia i pracy młynów podczas poszczególnych pomiarów

Data	Nr pomiaru	Młyn	Otwarcie recyrkulacji	Długość/kąt łopaty odsiewacza [mm]	Ustawienia podajnika łańcuchowego		Ustawienia podajnika taśmowego	
					%	Hz	%	Hz
30.03.2012	1	M1	--	$\alpha=25^\circ$	72	60	85	57
	2	M6	zamknięta	650	72	60	90	60
	3	M6	otwarta	650	60	50	75	50
31.03.2012	4	M5	--	$\alpha=25^\circ$	63	52	77	51
	5	M2	otwarta	750	55	45	67	45
	6	M2	zamknięta	750	55	45	67	45
	7	M2	otwarta	850	55	45	67	45
	8	M2	zamknięta	850	55	45	67	45
	9	M2	otwarta	800	55	45	67	44
	10	M2	zamknięta	800	55	45	67	44

Młyny podczas poszczególnych pomiarów pracowały w stanie ustalonym. W pomiarze 2 (pomiar młyna M6) po ok. 1 godzinie pracy zauważono zasypanie się pyłoprzewodu do palnika na poziomie ok. 22,5 m.

W poszczególnych pomiarach węgiel miał podobne właściwości i nie był czynnikiem znacznie różnicującym warunki odniesienia przy porównywaniu pracy młynów. Wg GIG Katowice wartość opałowa zawierała się w przedziale 8520÷9734 kJ/kg, wilgoć całkowita 39,73÷42,50%, zawartość popiołu 15,65÷22,15% a zawartość części lotnych w substancji palnej 57,5÷58,3%. Wysoka wilgoć mówi o potrzebie odparowania dużej ilości wody w młynach. Natomiast duża zawartość części lotnych czyni mniejszymi wymagania odnośnie jakości przemiału (przy większych zawartościach części lotnych pył za młynem może być grubszy).

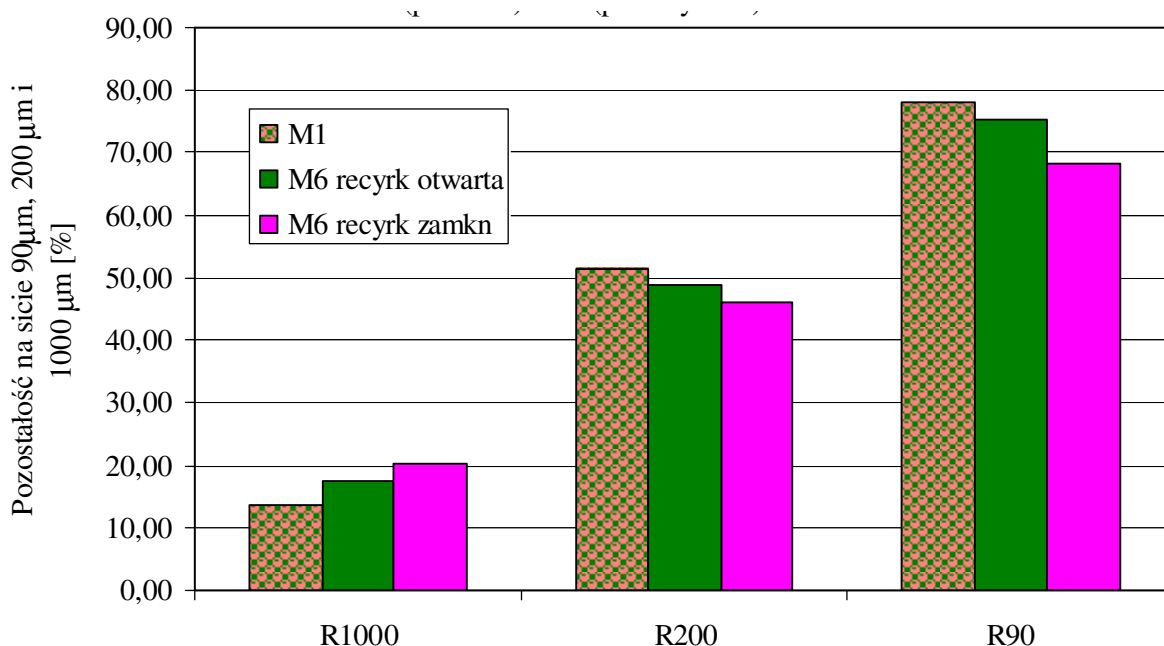


Rys. 9.8 Wydajność i wentylacja w poszczególnych pomiarach – obszar pracy

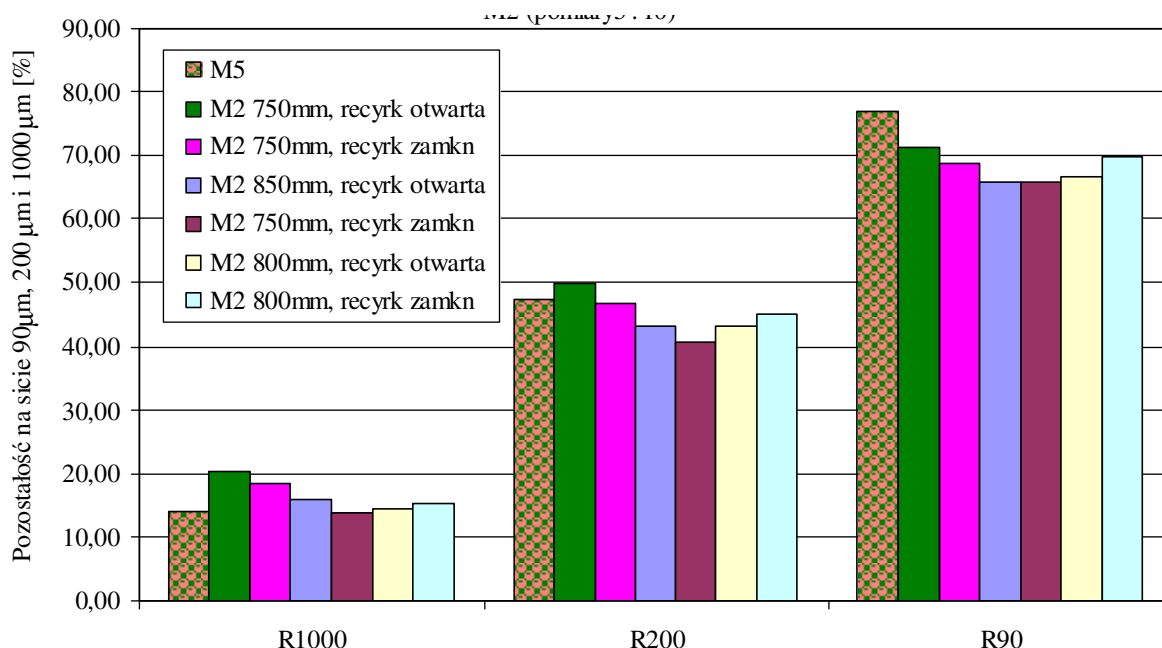
Parametry pyłu za młynem wyliczono na podstawie parametrów pyłu w pyłoprzewodach jako średnia ważona, gdzie wagą były masy próbek przypadające na powierzchnię przekroju pyłoprzewodu pomiarowego. Na rys. 9.9 pokazano pozostałości na sicie o oczkach 0,09 mm, 0,2 mm i 1 mm dla pyłu za młynami z mało zużytym kołem bijakowym (młyny M1 i M6). Natomiast na rys 9.10 dla młynów z bardziej zużytym kołem bijakowym (młyny M5 i M2).

Jakość pyłu za poszczególnymi młynami niewiele się różniła. Pozostałości na sicie o oczkach 0,09 mm wynosiły $65,7 \div 78,1\%$, a na sicie 1 mm $13,7 \div 20,3\%$. Można zauważyć następujące związki:

- Dla młynów zmodernizowanych występują nieznacznie mniejsze pozostałości na sitach 0,09 mm, niż dla młynów przed modernizacją, natomiast w młynach nie zmodernizowanych są mniejsze pozostałości na sitach o oczkach 1 mm.
- Zazwyczaj przy pracy z przymkniętym kanałem recyrkulacji z odsiewacza do drzwi młyna pył jest nieznacznie drobniejszy, niż przy całkowicie otwartym kanale.
- Im większa długość płyty w odsiewaczu młyna M2, tym uzyskiwany pył był nieznacznie drobniejszy.



Rys. 9.9 Jakość pyłu za młynem z mało zużytymi kołami bijakowymi M1 (pomiar 1) i M6 (pomiar 2 i 3)

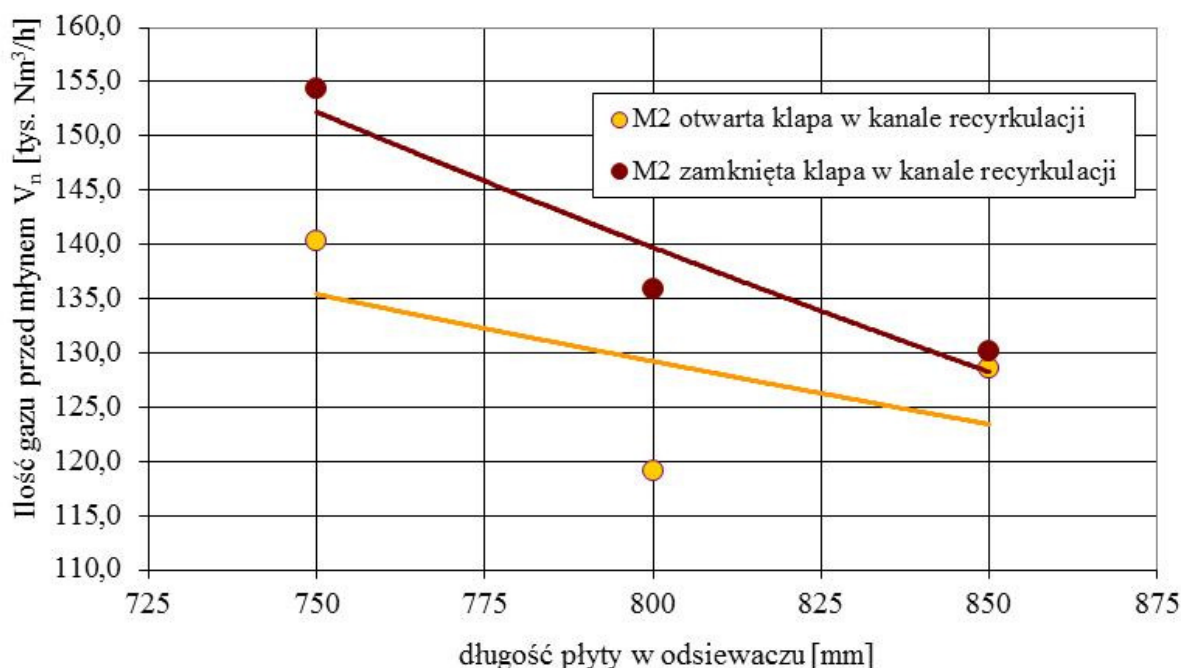


Rys. 9.10 Jakość pyłu za młynem o dłuższym czasie pracy koła bijakowego M5 (pomiar 4) i M2 (pomiar 5÷10)

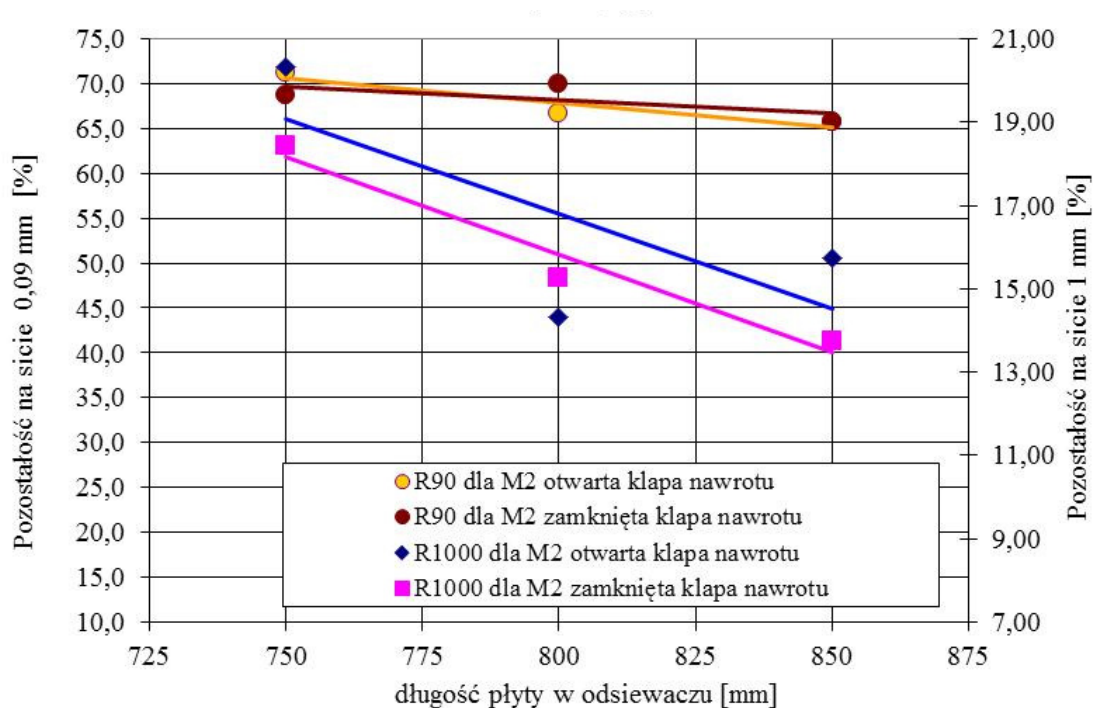
Dla młyna M6 pracującego z maksymalną wydajnością ok. 84,9 t/h (będącego jednak blisko zasypania pyłoprzewodu na poziomie ok. 22,5 m) otwarcie kłapy w kanale recyrkulacji sprawiło, że trzeba było obniżyć wydajność do ok. 70 t/h. Jeśli chodzi o wentylację i jakość przemiału, to nie należy wyciągać daleko idących wniosków, gdyż decydujące zmiany w przypadku młyna M6 mogą pochodzić od różnych wydajności z jakimi pracował młyn i z prowadzenia pomiarów w fazie początkowego zasypywania się pyłoprzewodów. Teoretycznie, przy otwartej klapie w kanale recyrkulacji, wydaje się, że większa ilość gazu wraca wraz z pyłem na wlot do drzwi młyna, co powinno zmniejszyć wentylację a zarazem prędkości w pyłoprzewodach a zatem również obniżyć granicę, przy której zaczyna się osadzać pył w pyłoprzewodach czyli zmniejszyć wydajność maksymalną młyna. Przy bardziej otwartym kanale recyrkulacji można się spodziewać zawracania większej ilości pyłu z odsiewacza do drzwi młyna (nie tylko grawitacyjnie, ale również z większą masą recyrkulującego gazu) i zatem drobniejszego pyłu za odsiewaczem, czego raczej nie zauważono na podstawie uzyskanych wyników.

Dla młyna M2, który pracował przy stałej wydajności na rys. 9.11 i 9.12 pokazano wpływ zmian długości płyty w odsiewaczu i przymknięcia kłapy w kanale recyrkulacyjnym pomiędzy odsiewaczem i drzwiami młyna na wentylację i jakość pyłu. Dla otwartej kłapy w kanale recyrkulacji wentylacja młyna była mniejsza. Wentylacja

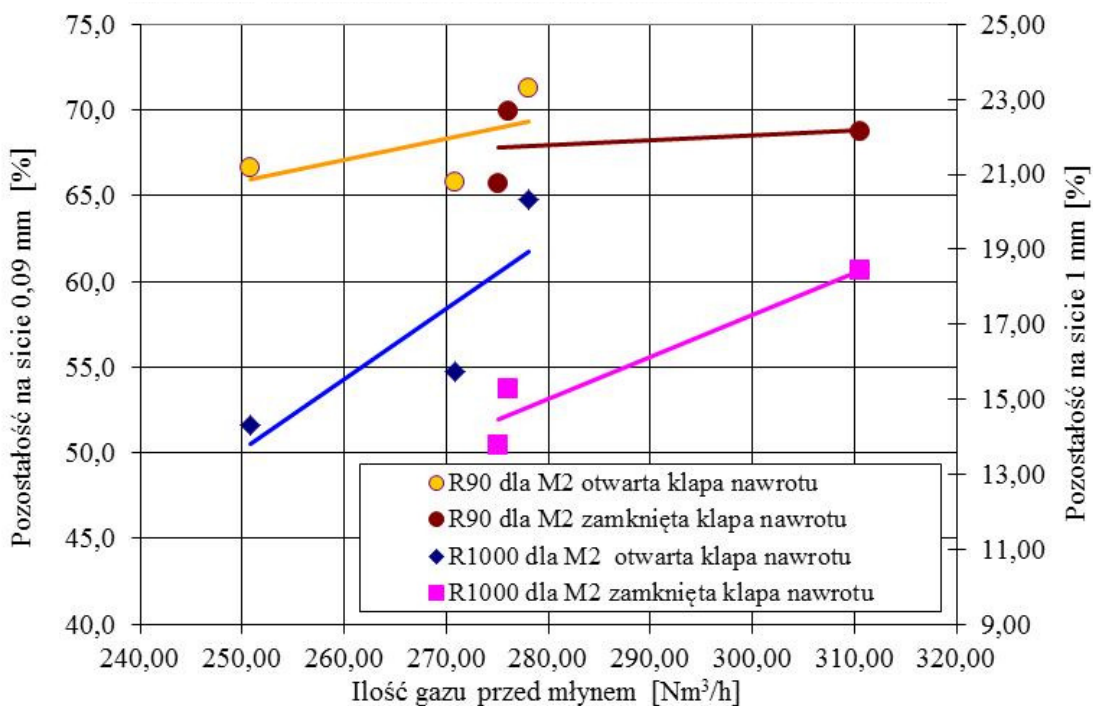
zmniejszała się również wraz z wydłużaniem płyty w odsiewaczu. Wraz z wydłużaniem płyty w odsiewaczu pył za młynem stawał się drobniejszy. Przymknięcie kłapy w kanale recyrkulacji nie wpływało jednoznacznie na jakość pyłu, ale raczej pył przy zamkniętej klapie był drobniejszy, co widać również na rys. 9.13, gdzie jakość pyłu uzależniono od wentylacji (od ilości gazu przed młynem). Dodatkowo można stwierdzić, że wraz ze wzrostem wentylacji pył stawał się grubszy. Zużycie energii na przemiał było mniejsze przy przymkniętym kanale recyrkulacji, gdyż wtedy młyn jako wentylator pracował z większą sprawnością. Przy długości płyty w odsiewaczu wynoszącej 800 mm zużycie energii było mniejsze niż przy długości 750 mm i 850 mm, co jest trudne do wytłumaczenia.



Rys. 9.11 Wentylacja młyna M2 w poszczególnych pomiarach w zależności od długości płyty w odsiewaczu



Rys. 9.12 Jakość pyłu za młynem M2 w poszczególnych pomiarach w zależności od długości płyty w odsiewaczu



Rys. 9.13 Jakość pyłu za młynem M2 w poszczególnych pomiarach w zależności od ilości gazu przed młynem i otwarcia kanału recyrkulacji

Oceniając działanie kłapy w kanale recyrkulacji pomiędzy odsiewaczem a drzwiami młyna można stwierdzić, że:

- zamknięcie kłapy recyrkulacji pozwala zwiększyć wydajność maksymalną młyna (dla młyna M6 było to o ok. 14 t/h),
- przy stałej wydajności młyna (na podstawie pomiarów na młynie M2) zamknięcie kłapy pozwala zwiększyć wentylację młyna,
- jakość pyłu przy zamkniętej klapie w kanale recyrkulacji była nieznacznie lepsza (w jednym przypadku pył był nieznacznie grubszy).

Ponadto oceniając działanie długości płyty w odsiewaczu można stwierdzić, że:

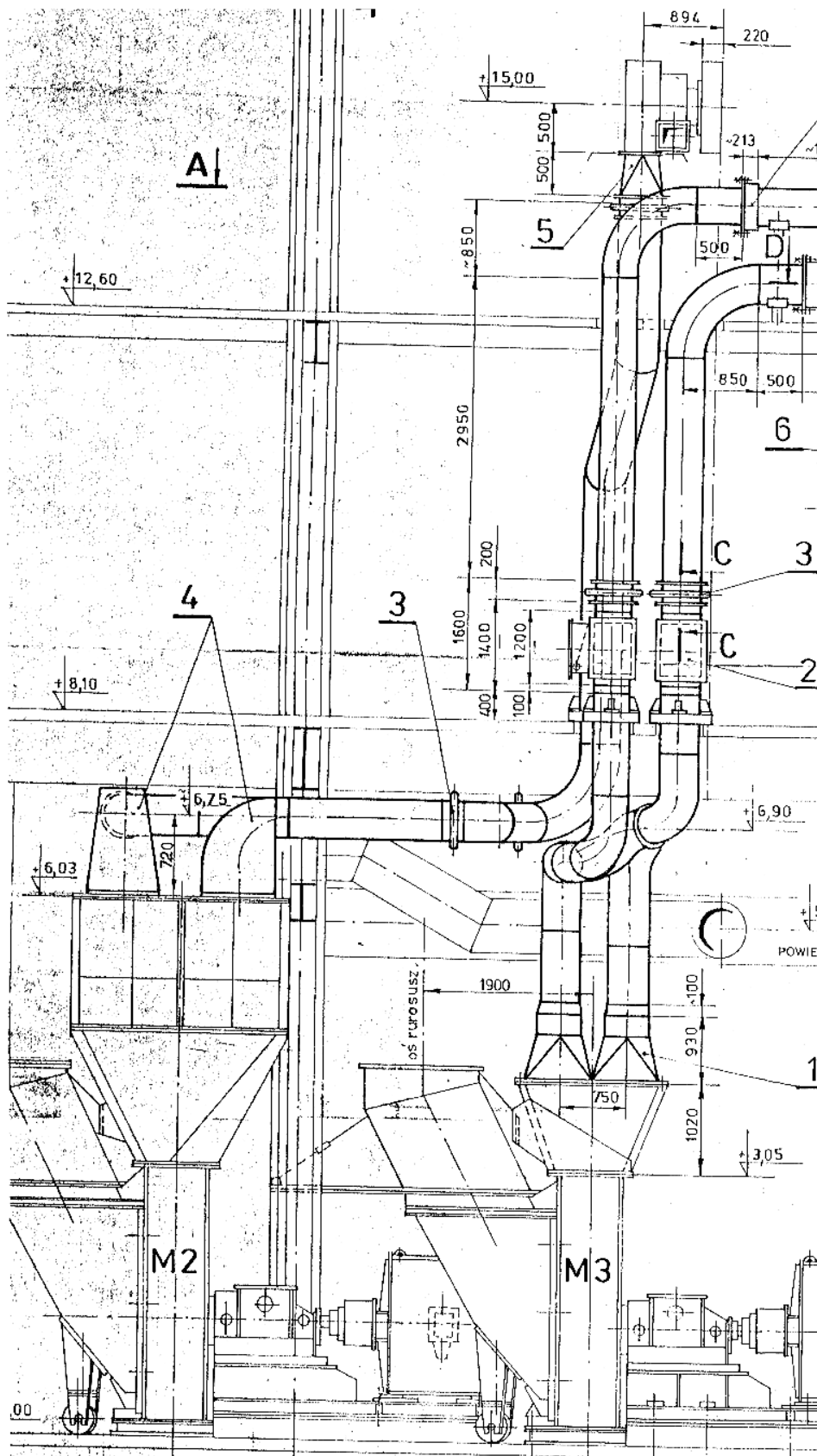
- wraz z wydłużeniem płyty (od 750 mm do 850 mm w młynie M2) pył stawał się drobniejszy,
- wraz z wydłużeniem płyty zmniejszała się wentylacja.

10. Parametry pracy młynów wentylatorowych na węgiel brunatny pracujących przy kotle fluidalnym

Przy kotle OF100 w Elektrociepłowni Zgierz pracują trzy młyny MWk 16. Dwa spośród nich nie posiadają odsiewaczy. Produkują one gruby pył węglowy dodawany do złoża fluidalnego (pomiaru ww. młynów bez odsiewacza nie były wykonywane). Trzeci młyn o numerze zakładowym 2 posiada odsiewacz. Pył wyprodukowany w tym młynie jest w związku z tym drobniejszy niż w pozostałych młynach i podawany jest dwoma pyłoprzewodami, poprzez dwa palniki wirowe, do kotła powyżej złoża fluidalnego.

W związku z szybkim zużywaniem się palników wirowych (erozyjne wycieranie się ścianek) postanowiono wykonać pomiary młyna z uwzględnieniem rozkładu pyłu w pyłoprzewodach.

Należy dodać, że badany młyn, mimo iż podstawowo przeznaczony jest do mielenia węgla kamiennego, podczas pomiarów mIELił węgiel brunatny, choć w przeszłości były okresy, gdy mIELił również węgiel kamienny.



Rys. 10.1 Młyn M2 i M3 wraz z pyłoprzewodami



Rys. 10.2 Lokalizacja punktów poboru pyłu na poziomie 12 m przed palnikiem, widoczny palnik wirowy

Według informacji zawartej w instrukcji eksploatacji młyn M2 powinien dawać pył charakteryzujący się następującymi pozostałościami na sitach:

- pozostałość na sicie 2 mm $0 \div 5\%$,
- pozostałość na sicie 0,5 mm $8 \div 13\%$,
- pozostałość na sicie 0,1 mm $30 \div 42\%$.

Wyżej wymienione sita są rzadko stosowane do oceny jakości pyłu za młynami. Przeliczając powyższe na pozostałości na sitach powszechnie stosowanych (0,09 mm, 0,2 mm i 1 mm) byłoby w przybliżeniu:

- pozostałość na sicie 1mm $2 \div 4\%$,
- pozostałość na sicie 0,2 mm $20 \div 29\%$,
- pozostałość na sicie 0,09 mm $32 \div 46\%$.

Natomiast według informacji zawartej w instrukcji eksploatacji młyn M1 i M3 (bez odsiewacza) powinny dawać pył charakteryzujący się następującymi pozostałościami na sitach:

- pozostałość na sicie 2 mm $0 \div 10\%$
- pozostałość na sicie 0,5 mm $7 \div 20\%$
- pozostałość na sicie 0,1 mm $22 \div 35\%$

Przeliczając powyższe na pozostałości na sitach powszechnie stosowanych (0,09 mm, 0,2 mm i 1 mm) byłoby w przybliżeniu:

- pozostałość na sicie 1mm $7 \div 20\%$,
- pozostałość na sicie 0,2 mm $47 \div 58\%$,
- pozostałość na sicie 0,09 mm $73 \div 80\%$.

Pomiary młyna M2 zostały przeprowadzone w końcowych dniach sezonu grzewczego 2011/2012. Według służb technicznych Elektrociepłowni koło bijakowe młyna pracowało od wymiany ok. 1810 h czyli powinno być już przeznaczone do remontu. W okresie międzyremontowym młyn miał węgiel brunatny (ale również nie jest wykluczone, że miał węgiel kamienny).

Po odstawieniu kotła, krótko po wykonaniu pomiarów młyna, dokonano przeglądu młyna i wzorcowania podajnika węgla. Podczas przeglądu stwierdzono:

- młyn miał koło bijakowe wyposażone w 10 bijaków,
- pomiędzy zewnętrznym obwodem tarczy przedniej koła bijakowego a otworem w korpusie młyna była szczelina dochodząca do $30 \div 40$ mm,
- w rejonie wewnętrznego obwodu tarczy przedniej koła bijakowego wchodził do wnętrza koła kołnierz wystający z drzwi młyna (dla uszczelnienia i ograniczenia przepływu gazu z pyłem na zewnątrz koła bijakowego),
- w drzwiach młyna był swobodny przepływ, nie było żadnych blach dławiących ani żaluzji,
- szczelina pomiędzy bijakiem ustawionym pod klockiem progowym spirali wylotowej a klockiem progowym wynosiła ok. 30 mm i była na szerokości dosyć równomierna,
- klocek progowy zużywał się dosyć równomiernie, a jedynie znacznie większe zużycie wystąpiło w pobliżu tylnej tarczy czyli od strony silnika młyna,
- bijaki były zużyte w miarę równomiernie, większe zużycie występowało w bliskości tylnej tarczy w rejonie wylotu pyłu „z owiewek”, wewnętrzna krawędź bijaka („krawędź tnąca”) było dosyć mocno zaokrąglona,
- klapka w kanale recyrkulacji pyłu z odsiewacza do drzwi młyna miała widoczne ślady zużycia.

Podczas pomiarów mielono węgiel brunatny z Bełchatowa. Węgiel podczas pomiarów miał wartość opałową 8,88 MJ/kg, zawartość popiołu wynosiła 6,8 %, natomiast zawartość wilgoci 53,3%. Wilgoć przemijająca stanowiła 45,2%. Zawartość siarki w węglu wynosiła 0,38%. W związku z informacją o nadmiernym wycieraniu się palników wirowych, wykonano oznaczenie zawartości piasku w mielonym węglu. Zawartość piasku wyniosła 0,09% czyli mało, co jednak nie wyklucza sytuacji, że w innych okresach (np. węgiel z innego złoża) zawartość ta może być większa i piasek może powodować nadmierne zużywanie się palników. Młyn MWk 16 jest podstawowo przeznaczony do mielenia węgla kamiennego, dlatego węgiel brunatny jest nietypowym mielivem dla tego młyna i może stwarzać nietypowe warunki eksploatacyjne. Duża wilgoć węgla sprawia, że dla utrzymania wymaganej temperatury za młynem trzeba dostarczyć dużej ilości ciepła do młyna, a więc więcej gazu o wyższej temperaturze. W związku z powyższym nie można się opierać na danych technicznych młyna (gdzie przy wydajności 16 t/h ilość gazu za młynem jest określana na 16 tys. m³_n/h) a należy liczyć się ze znacznie mniejszymi wydajnościami młyna (ograniczenie termiczne) przy podobnych do znamionowych wentylacjach. Mielenie węgla brunatnego może zachodzić bez obawy wybuchu przy znacznie wyższych temperaturach mieszanki niż w przypadku węgla kamiennego (między innymi ze względu na wyższe zawartości pary wodnej oraz w związku z mniejszą zawartością O₂ przy suszenia węgla spalinami). Wyższe temperatury sprawiają, że występują większe prędkości (ze względu na większą objętość gazu) a większa wilgoć gazu może wpływać na większe zużywanie się elementów instalacji i być może wymaga innych materiałów.

Podczas pomiarów kocioł pracował z niską wydajnością (ze względu na brak odbioru ciepła) i między innymi dlatego badany młyn pracował przy wysterowaniu podajnika węgla 10% i 18%, któremu odpowiadały wydajności ok. 2,35 t/h i 4,24 t/h. Wydajności te nie były granicznymi dla pracy młyna. Praca młyna z niewielką wydajnością jest typową dla badanego młyna, gdyż wspomaga on jedynie pracę paleniska fluidalnego podając drobny pył węglowy nad złożę fluidalne.

Jakość pyłu w obydwu pomiarach była podobna $R_{1000}=0,39$ i $0,32\%$ a $R_{90}=39,17$ i $39,14\%$. W obydwu pyłoprzewodach pył był podobnej jakości, w lewym pyłoprzewodzie (patrzac na kocioł) pył był nieznacznie grubszy. Ze względu na nietypowe zastosowanie badanego młyna (dostarczanie pyłu ponad złożę w kotle fluidalnym) trudno jest oceniać uzyskaną jakość pyłu. Oceny jakości pyłu można dokonać na podstawie uzyskiwanych parametrów pracy kotła, ale to nie wchodziło w zakres pracy. W kotłach

pyłowych często jest spalany z dobrymi efektami pył węgla brunatnego o grubszej granulacji R_{1000} =kilka %, a R_{90} =do ok. 65%. Tak więc, może w badanym młynie węgiel mielony jest zbyt drobno, co zwiększa zużycie energii na przemiał i powoduje większe zużycie elementów mielących młyna.

11. Wnioski i uwagi końcowe

Na wydajność i wentylację młyna mają wpływ głównie:

- parametry mielonego węgla,
- temperatura i ciśnienie czynnika suszącego,
- opory przepływu przed młynem i opory instalacji pyłowej,
- zapełnienie młyna powiązane ściśle z krotnością cyrkulacji,
- ustawienie elementów regulacyjnych,
- parametry konstrukcyjne młynów oraz stopień zużycia elementów mielących,
- wielkość dosań w instalacji.

W młynie wentylatorowym istnieje duża wzajemna zależność wydajności i wentylacji. Przy małej wentylacji do młyna jest dostarczane mało ciepła i staje się to ograniczeniem dla zwiększenia wydajności. Patrząc na wpływ ilości węgla na wentylację można stwierdzić, że dodanie węgla wpływa na wzrost gęstości czynnika przepływającego przez młyn, a zatem również wpływa na zmiany wentylacji.

Z punktu widzenia poprawnej pracy młynów i kotła należy dostarczyć do młyna maksymalną ilość ciepła przy możliwie małej ilości gazu przed młynem. Przy małej wydajności młynów i suchych węglach należy przy zachowaniu małej ilości gazu ograniczyć również ilość ciepła podawanego do młynów.

Niżej, dla zobrazowania złożoności wzajemnego oddziaływania, opisano jakościowo spodziewane oddziaływanie w/w czynników na wydajność i wentylację młynów.

Parametry węgla. Z punktu widzenia osiąganey przez młyn wydajności i wymaganej wentylacji bardzo istotna jest wilgotność węgla. Bardzo istotnym składnikiem bilansu cieplnego młyna jest ciepło na odparowanie wilgoci. Znaczący wzrost wilgoci węgla wymaga większej ilości ciepła w czynniku wentylującym lub wymaga obniżenia wy-

dajności ze względów cieplnych (ograniczeniem dla wzrostu wydajności jest niemożliwość wysuszenia węgla).

Temperatura i ciśnienie czynnika suszącego. Temperatura gazu przed młynem, obok jego ilości, określa ilość ciepła podawanego do młyna. Ciśnienie czynnika przed młynem (wypadkowa z podciśnienia gorących spalin, nadciśnienia chłodnych spalin i gorącego powietrza oraz zerowego ciśnienia powietrza zimnego i dostanego) ma bezpośredni wpływ na strumień gazu przepływającego przez młyn a temperatura wpływa pośrednio zmieniając gęstość czynnika przetwarzanego przez młyn jako wentylator.

Opory przepływu przed młynem i opory instalacji pyłowej zależą od konfiguracji przewodów oraz od ustawienia elementów regulacyjnych. Dla konkretnego młyna położenie klap gorącego i zimnego powietrza, chłodnych spalin, ewentualnie innych elementów regulacyjnych będzie miało wpływ na wentylację a zatem na osiąganą maksymalną wydajność.

Zapełnienie młyna powiązane ściśle z krotnością cyrkulacji czyli z ilością pyłu zawracanego z odsiewacza na wlot do młyna wpływa znacząco na gęstość czynnika pyłowego gazowego w młynie a zatem na wielkość wentylacji młyna jako wentylatora, ale również na zmianę spadków ciśnień w obrębie młyna i odsiewacza.

Ustawienie elementów regulacyjnych wpływa na opory przepływu oraz na krotność cyrkulacji pyłu (elementy w odsiewaczu) i na wewnętrzną cyrkulację gazu (stopień otwarcia kłapy w kanale nawrotu pyłu). Tak więc, również oddziałuje na maksymalną wydajność oraz na uzyskiwaną wydajność.

Parametry konstrukcyjne młynów oraz stopień zużycia elementów mielących. Nawet niewielkie różnice w konstrukcji młynów (nieznaczna różnica w wymiarach koła bijakowego, kształcie odsiewacza, spirali wylotowej itp.) mogą znacząco oddziaływać na osiąganą wydajność i wentylację. Dodatkowo duży wpływ na wydajność i wentylację ma zużycie elementów mielących. Wraz z zużywaniem się klocka progowego zwiększa się szczelina między progiem a bijakami, co ma wpływ na wentylację. Zużycie wewnętrznej krawędzi bijaków (ich zaokrąglenie) sprawia, iż część ziaren węgla zostaje podczas pierwszego przejścia przez koło uderzone pod innym kątem, co powoduje, że dłużej przebywają w obrębie koła. Jeżeli kąt uderzenia bijaka w taką cząstkę jest zbyt mały, to cząstka nie ulega rozbiciu tak jak w przypadku, gdy jest uderzona prostopadłe. Więcej grubych cząstek trafiających do odsiewacza sprawia, iż rośnie strumień zawracanego pyłu a więc i strumień pyłu kierowanego do odsiewacza. W ten sposób rośnie

zapełnienie młyna i jest ograniczana wentylacja oraz tym samym maksymalna wydajność.

Wielkość dopływ powietrza w instalacji przed młynem (niekontrolowanego powietrza z otoczenia) przy szczególnie długich podajnikach węgla pracujących w podciśnieniu może przyczyniać się do obniżenia temperatury gazu suszącego i wpływać na obniżenie wydajności młyna.

Wyprodukowane w dość dużej ilości w latach 70 i 80-tych ubiegłego stulecia młyny typu MWk z odsiewaczami skrzyniowymi grawitacyjnymi były tak zaprojektowane, aby pył opuszczający odsiewacz charakteryzował się pozostałością na sitach o oczkach 90 i 200 μm wynoszącą $R_{0,09} < 30\%$ i $R_{0,2} < 5\%$. W rzeczywistości uzyskiwany przemiał był gorszy, co wynika z szeregu przeprowadzonych badań. W związku z nowymi technologiami spalania zaistniała potrzeba uzyskania drobnego pyłu (o parametrach $R_{0,09} < 20\%$ i $R_{0,2} < 2\%$) w możliwie szerokim zakresie pracy młynów (pełny zakres wydajności i wentylacji, dla całego okresu międzyremontowego, dla różnych węgli). Wymusiło to podjęcie modernizacji odsiewaczy młynów MWk.

Na różnych obiektach można spotkać mniej kompleksowe modernizacje odsiewaczy skrzyniowych, ingerujące w określony fragment odsiewacza, lub często bardziej kompleksowe, wprowadzające między innymi rozdzielacz kaskadowy w kanale pomiędzy młynem a odsiewaczem, mający na celu rozdzielenie i nakierowanie strugi na poszczególne wydłużone łopatki odsiewacza. Poszczególne modernizacje, mniej i bardziej kompleksowe, poszerzają zakres pracy młyna, w którym produkowany jest pył o wymaganej jakości. Niedokładny lub niestaranny montaż lub remont zmodernizowanych odsiewaczy, bądź niewłaściwa eksploatacja może spowodować, że pył będzie zbyt grubym.

Innym rozwiązaniem jest zastąpienie odsiewaczy skrzyniowych odsiewaczami odśrodkowymi, które pozwalają osiągnąć wymagany pył dobrej jakości. Jednocześnie zastosowanie takich odsiewaczy wpływa na zmniejszenie wydajności maksymalnej młynów. Dlatego ich zastosowanie wymaga odpowiedniego doboru poszczególnych elementów. Mając na uwadze, oprócz jakości pyłu i wydajności również ograniczenie zużycia elementów młyna. Działania takie są podejmowane z sukcesem i obecnie pracuje wiele młynów typu MWk osiągając zakładane parametry. W proces modernizacji włącza się często pomiary eksploatacyjne młynów, które pozwalają nie tylko określić parametry osiągane przez młyny, ale pozwalają również na dopracowanie zastosowanych rozwiązań.

Literatura

- [1] Pronobis Marek, *„Modernizacja kotłów energetycznych”*, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 2002.
- [2] PN-89/M-34130/01, *„Energia ciepła. Instalacje młynowe. Wymagania i badania.”*
- [3] PN-91/M-34131, *„Energia ciepła. Instalacje młynowe. Pobierania próbek pyłu.”*
- [4] Korzuch St., Parys R.: *„Opracowanie charakterystyk zbiorczych młynów wentylatorowych na podstawie zebranych wyników krajowych badań i pomiarów oraz doświadczeń eksploatacyjnych”*. Opracowanie CBKK nr archiwalny 8.1766, Tarnowskie Góry 1985 r.
- [5] Parys R. *„Wykonanie pomiarów młyna MWK-6 dla określenia jakości przemiału”*. Opracowanie BUTiH EKOKAL Kalety nr ewidencyjny P-89/2003
- [6] Parys R.: *„Pomiary młynów MWk 12 (3 szt.) przy kotle OP-140 nr 9 w Energetyce Dwory Sp. z o.o. Oświęcim”*. Opracowanie BUTiH EKOKAL Kalety nr ewidencyjny P-199/2009
- [7] Parys R.: *„Pomiary młynów MWk 12 (3 szt.) przy kotle OP-140 nr 9 w Synthos Dwory Sp. z o.o. Oświęcim – II seria pomiarów”*. Opracowanie BUTiH EKOKAL Kalety nr ewidencyjny P-210/2010
- [8] Korzuch St., Parys R., Sroczyński S.: *„Zastosowanie odsiewacza odśrodkowego statycznego w młynie wentylatorowym MWk-12”*. IX Konferencja Kotłowa „Aktualne problemy budowy i eksploatacji kotłów”, Szczyrk 2002 r.
- [9] Parys R.: *„Praca młyna MWk-9 z odsiewaczem odśrodkowym w instalacji umożliwiającej uzyskanie nadciśnienia czynnika suszącego przed młynem”*. Jubileuszowa Konferencja Kotłowa 2009 „Aktualne problemy budowy i eksploatacji kotłów”, Szczyrk 2009 r.
- [10] Parys R.: *„Pomiary optymalizacyjne dwóch młynów MWk-9 przy kotle OCG 64 nr 5 w EC Moszczenica w Jastrzębiu Zdroju”*. Opracowanie BUTiH EKOKAL Kalety nr ewidencyjny P-122/2005
- [11] Parys R.: *„Pomiary 2 szt. młynów MWk 9 w EC Janikowo”*. Opracowanie BUTiH EKOKAL Kalety nr ewidencyjny P-212/2010

- [12] Parys R.: „*Pomiary młynów MWk 16 nr 2 i nr 3 przy kotle OP-140 nr 4 w EC Zofiówka w Jastrzębiu Zdroju*”. Opracowanie BUTiH EKOKAL Kalety nr ewidencyjny P-214/2010
- [13] Parys R.: „*Uproszczone pomiary młyna MWk 16 nr 3 przy kotle OP-140 nr 4 w EC Zofiówka w Jastrzębiu Zdroju po zmianach konstrukcji odsiewacza*”. Opracowanie BUTiH EKOKAL Kalety nr ewidencyjny P-215/2010
- [14] Golec T.: „*Symulacja numeryczna pracy separatora młyna MWk-12*”. III konferencja naukowo – techniczna „Budowa i eksploatacja młynów do przemiału węgla i innych minerałów”, Ustroń Zawodzie 1998 r.
- [15] Zaręba R., Świrski J.: „*Modernizacja separatorów młynów wentylatorowych*”. III konferencja naukowo – techniczna „Budowa i eksploatacja młynów do przemiału węgla i innych minerałów”, Ustroń Zawodzie 1998r.
- [16] Parys R.: „*Pomiary młynów N 270.45 o numerach zakładowych M1, M2, M5 i M6 w Elektrowni TPP „Kostolac B” na bloku nr 2*”. Opracowanie BUTiH EKOKAL Kalety nr ewidencyjny P-283/2012
- [17] Parys R.: „*Pomiary młyna węglowego MWk 16 nr 2 przy kotle OF 100 w EC Zgierz oraz pomiary rozkładu pyłu w pyłoprzewodach za młynem*”. Opracowanie BUTiH EKOKAL Kalety nr ewidencyjny P-240/2012