

Tadeusz CHMIELNIAK

Józef CZEPIEL

## **WPLYW CECH GEOMETRYCZNYCH BIEŻNI MIAŻDŻĄCEJ NA WYDAJNOŚĆ MŁYNA PIERŚCIENIOWO-KULOWEGO - WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH**

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki eksperymentalnych badań wpływu wybranych cech geometrycznych układu mielącego młyna pierścieniowo-kulowego na jego wydajność, jednostkowe zużycie energii na przemiał, opory przepływu przez młyn i inne wyniki pracy. Eksperyment został przeprowadzony na instalacji badawczej Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej wyposażonej w młyn średniobieżny o skali półtechnicznej (młyn ten jest geometrycznie podobnym modelem młyna MKM-33 w skali 1:7,5). W szerokim zakresie zbadano wpływ zewnętrznego kąta opasania kul, a w węższym – wpływ nacisku kul miażdżących na warstwę mieliwa – na wyniki pracy młyna.

## **THE INFLUENCE OF THE GEOMETRICAL FEATURES OF GRINDING SYSTEM ON THE LOADING OF THE RING-BALL MILL - EXPERIMENTAL RESULTS**

**Summary.** The paper presents results of experimental studies of the influence of some geometric features of the pulverizing system of a ring and ball mill on its efficiency, energy consumption, resistance of flow inside the mill and other mill performance. The experiment was performed on a test stand equipped with a medium speed semi-industrial mill in the Institute of Power Machinery of the Silesian Technical University (the mill is a geometrically similar model of the MKM-33 mill in the scale of 1 : 7.5). The influence of the angle of contact of the balls (in broader range) and of the pressure exerted by the grinding balls (in narrower range) on mill performance was studied.

## DER EINFLUß DER KONSTRUKTIONSEIGENSCHAFTEN DES MAHLSYSTEMS AUF DIE LEISTUNGSFÄHIGKEIT DER RING-KUGELMÜLE - ERGEBNISSE DER EXPERIMENTALEN FORSCHUNGEN

**Zusammenfassung.** In dieser Behandlung sind Ergebnisse experimentaler Untersuchungen des Einflusses einer Auswahl geometrischer Merkmale der vermahlenden Elemente der Ring-Kugelmühle auf die Leistung, Energieverbrauch pro Vermahlungseinheit, Widerstand der Durchströmung durch die Mühle, sogleich andere aufgezeichnet worden. Diese Versuche wurden an einer Prüfanlage des Instituts für Energomaschinen und-anlagen der Schlesischen Technischen Universität durchgeführt, die mit einer Mittellaufmühle in halbtechnischer Skala ausgestattet war (diese Mühle ist ein geometrisch ähnliches Modell der Mühle MKM-33 im Maßstab 1 : 7.5). In einem weiten Umfang wurde der Einfluß des äußeren Umfassungswinkels der Kugeln auf die Leistungsparameter der Mühle überprüft, dagegen in einem engeren Umfang der Einfluß des Drucks der quetschenden Kugeln auf die Mahlgutschicht.

### 1. WSTĘP

Młyny pierścieniowo-kulowe są podstawowym rodzajem młynów stosowanych w krajowej energetyce do przemiału węgla kamiennego. Są one ważnym elementem bloku energetycznego, w dużym stopniu decydującym o ekonomicznym procesie spalania węgla w kotle, zużyciu energii na potrzeby własne, a także wpływającym na wielkość emisji do atmosfery szkodliwych związków – głównie tlenków azotu. Tlenki azotu  $\text{NO}_x$  należą obok dwutlenku siarki do tych związków nieorganicznych powstałych w procesie spalania, które mają zasadniczy negatywny wpływ na środowisko człowieka. Powstały w czasie spalania paliw tlenek azotu  $\text{NO}$  w powietrzu atmosferycznym ulega reakcjom chemicznym, powodując w rezultacie powstawanie tzw. fotochemicznego smogu, kwaśnych deszczy, powiększonej koncentracji w strefie przyziemnej. Tlenki azotu oddziałują negatywnie na świat roślinny – powodując głównie niszczenie lasów iglastych, oraz na organizmy żywe – wpływając szkodliwie na zdrowie ludzi i zwierząt. Na ilość wytworzonych w procesie spalania tlenków azotu istotny wpływ ma granulacja pyłu węglowego. Drobnny przemiał dwójako oddziałuje na ograniczone tworzenie się  $\text{NO}_x$ :

- a) pośrednio, przez zwiększenie szybkości spalania pyłu, pozwalając na spalanie z niedomiarem powietrza w strefie intensywnego spalania;
- b) bezpośrednio – przy spalaniu odpowiednio miążkiego pyłu z niedomiarem powietrza następuje redukcja już wytworzonego  $\text{NO}_x$ .

Polepszenie jakości przemiału węgla w młynach pierścieniowo-kulowych można uzyskać poprzez obniżenie wentylacji młyna i zmiany w klasycznym

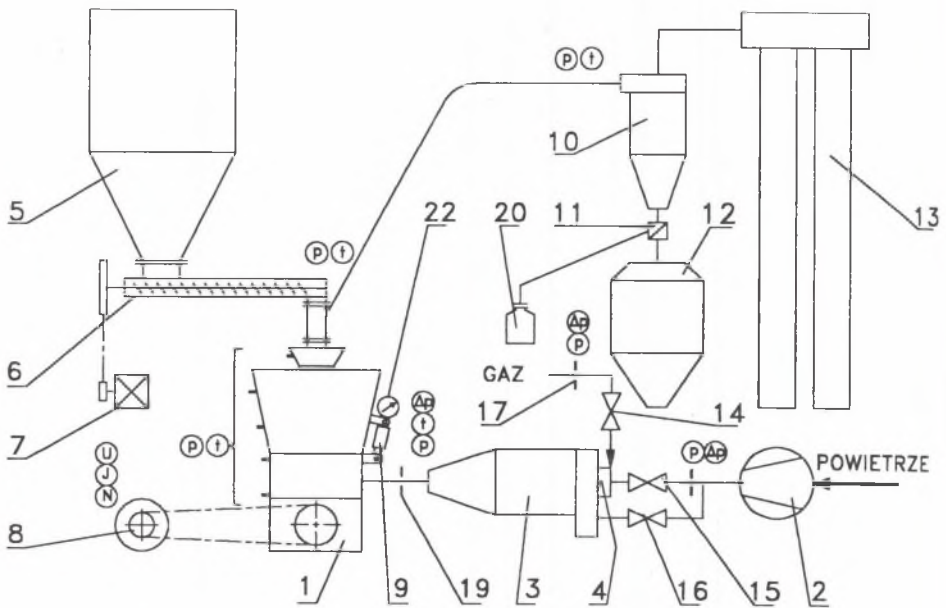
odsiewaczu odśrodkowym bądź przez zastosowanie odsiewacza wirującego. Polepszeniu jakości pyłu produkowanego przez młyn towarzyszyć będzie obniżenie maksymalnej wydajności młyna, wynikające z ograniczenia zdolności przemiałowej jego układu mielącego. Aby utrzymać moc bloku energetycznego na nie zmienionym poziomie, należy zapewnić właściwą wydajność młynów. Oczywistym rozwiązaniem byłaby wymiana istniejących w elektrowni młynów na jednostki większe. Pomijając mogące wystąpić ograniczenia lokalizacyjne, zasadniczą wadą takiego rozwiązania będą wysokie koszty. Powstaje więc potrzeba poszukiwania sposobów intensyfikacji procesu przemiału w układzie mielącym. Najbardziej wiarygodne wyniki można by uzyskać prowadząc odpowiednie badania na obiekcie rzeczywistym. Wiąże się jednak z tym wysokie nakłady oraz ograniczenia natury techniczno-organizacyjnej. Lepszym, jak się wydaje, rozwiązaniem jest przeprowadzenie ich na obiekcie doświadczalnym o mniejszej skali i dopiero potem zweryfikowanie (w sposób już ukierunkowany) w skali pełnej.

Głównym celem przedstawionych tu badań było poszukiwanie sposobów zintensyfikowania procesu mielenia w młynach średniobieżnych poprzez zmiany cech geometrycznych bieżni miazdzącej. Szczegółową charakterystykę zastosowanych układów mielących oraz podstawowe założenia do badań zamieszczono w p. 2.3.

## 2. STANOWISKO DOŚWIADCZALNE

### 2.1. Opis stanowiska

Ogólny schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 1. Odpowiednio przygotowany węgiel (nadawa do młyna) jest transportowany wózkiem samojezdnym do zasobnika 5, skąd za pomocą podajnika ślimakowego 6 podawany jest przez rurę zsypową do układu mielącego młyna 1. Wydajność podajnika można regulować w sposób ciągły za pomocą bezstopniowej przekładni pasowej napędzanej silnikiem 7. Czynnikiem susząco-transportującym (zwanym dalej czynnikiem wentylującym) w instalacji są rozcieńczone spaliny, uzyskiwane w wytwornicy spalin 3. Powietrze potrzebne do spalania gazu ziemnego oraz regulacji strumienia i temperatury czynnika wentylującego młyn jest tłoczone przez dmuchawę 2 przez zawory regulacyjne powietrza pierwotnego 15 i wtórno 16 oraz gazu 14. Strumień i temperatura czynnika wentylującego przed młynem ustalana jest niezależnie od siebie poprzez zmianę ilości spalanego gazu i ilości powietrza zimnego. Pomiar strumienia czynnika gazowego odbywa się za pomocą kryz ISA. Mieszanina pyłowo-powietrzna odprowadzana jest z młyna rurociągiem do odpylacza cyklonowego 10. Drobne frakcje pyłu unoszone z odpylacza są wychwytywane w baterii filtrów workowych 13. Pył odseparowany w odpylaczu cyklonowym może być



Rys. 1. Schemat stanowiska doświadczalnego

Fig. 1. Diagram of the test stand

kierowany za pomocą kłapy 11 do zbiornika pyłu 12 lub do naczynia do poboru próbek pyłu 20. Konstrukcja młyna doświadczalnego 1 jest w zasadniczych rozwiązaniach taka sama, jak konstrukcja młyna przemysłowego. W badaniach użyto 10-kulowego układu mielącego (jest on geometrycznie podobnym modelem układu mielącego młyna MKM-33, wykonanym w skali 1 : 7,5). Pierścień miazdzący jest napędzany silnikiem elektrycznym asynchronicznym za pośrednictwem przekładni pasowej oraz przekładni zębatej stożkowej. Przełożenie przekładni pasowej można stopniować przez zmianę kół pasowych. Nacisk na górny pierścień układu mielącego wywierany jest przez trzy zespoły dociskowe sprężynowo-dźwigniowe, które umożliwiają regulację nacisku w szerokim zakresie. Grubość mieliva pod kulami układu mielącego mierzy się za pomocą zespołu czujników zegarowych 22. Jest to wielkość pomocnicza, przydatna do interpretacji zjawisk fizycznych zachodzących w młynie.



## 2.2. Sposób wykonywania pomiarów

Rozruch instalacji ze stanu zimnego prowadzi się przy małej mocy cieplnej palnika do momentu ustalenia się temperatury za młynem na poziomie ok. 120°C, po czym załączany jest podajnik węgla i ustawiana planowana wydajność (ustawia się w ruchu żądaną prędkość obrotową ślimaka podajnika). Wprowadzenie węgla do młyna powoduje nagłą zmianę szeregu wielkości charakteryzujących proces. Dlatego też w sposób ciągły należy korygować strumień i temperaturę czynnika wentylującego przed młynem, tak by temperatura mieszanki pyłowo-powietrznej za młynem ustaliła się na poziomie ok. 120°C, a wartość strumienia masy czynnika wentylującego była równa wartości założonej dla danego pomiaru. Po uzyskaniu powtarzalności wyników pomiaru strumienia pyłu, ustaleniu się temperatur oraz spadków ciśnień w młynie i rurociągu pyłowym, pobierane są kilkukilogramowe próby pyłu do określenia przybliżonej wydajności młyna, składu ziarnowego i wilgoci pyłu.

Po pobraniu prób obniza się wentylację do kolejnego założonego poziomu i analogicznie – po uzyskaniu stanu ustalonego – pobiera się próby pyłu do analizy. Poziomy strumienia czynnika wentylującego obniza się skokowo aż do wyraźnego wzrostu oporów przepływu przez młyn.

## 2.3. Założenia do badań

Do badań wpływu zewnętrznego kąta opasania kul na wyniki pracy młyna użyto pięciu układów mielących dziesięciokulowych ( $z_k = 10$ ) o średnicy kul  $d_k = 100$  mm. Różnice między nimi polegały na tym, że ich pierścienie miazdzące miały zróżnicowaną wartość zewnętrznego kąta opasania kul –  $\alpha_2$ , (przy stałej w każdym przypadku wartości wewnętrznego kąta opasania kul  $\alpha_1 \sim 45^\circ$ ) – rys. 2. Trzy spośród nich wytoczono z pełnej płyty (rys. 2a, b, d), natomiast w dwóch przypadkach zastosowane zostały nadstawki spiętrzające (rys. 2c, e).

Zastosowano stałą w każdym przypadku prędkość obrotową układu mielącego  $\omega = 10,5$  1/s oraz 3 poziomy nacisku na powierzchnię miazdzenia:  $S = 10, 15, 18$  kN. Jednostkowy nacisk na powierzchnię miazdzenia  $s_k$  zdefiniowany jest wzorem [2]:

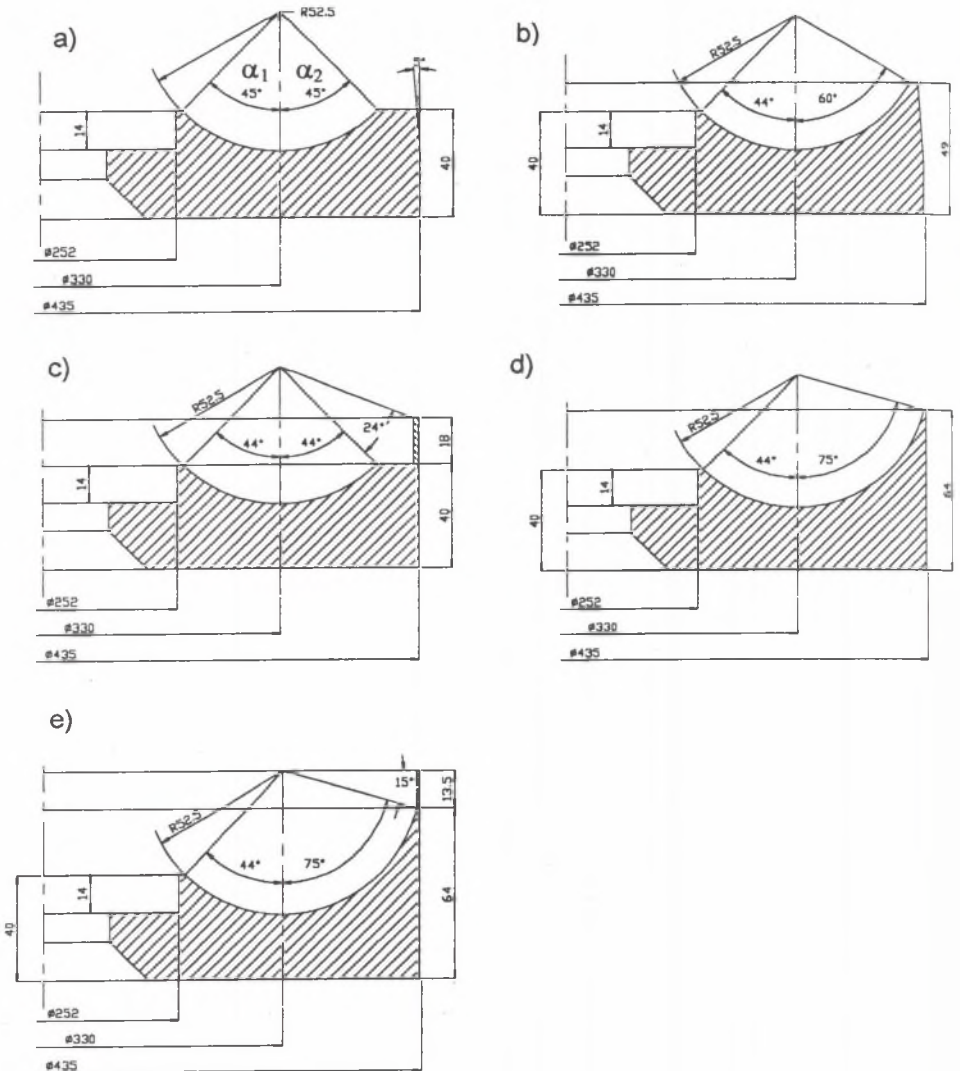
$$s_k = \frac{S}{z_k d_k^2} \quad (1)$$

gdzie:

$z_k$  – liczba kul,

$d_k$  – średnica kul,

$S$  – całkowity nacisk kul na warstwę mieliwa.



Rys. 2. Geometria bieżni badanych pierścieni miazdzących

Fig. 2. Geometry of the raceways of the grinding rings

Materiał mielony (nadawę) stanowiła klasa ziarnowa 0 – 7,5 mm węgla z kopalni „Bielszowice”, odsiana na wstrząsarce mechanicznej przez sito o oczkach okrągłych 7,5 mm. Szczegółową charakterystykę użytego węgla zamieszczono w [6]. Podatność przemiałowa wyznaczona według metody Hardgrove’a – GrH = 55°. Łopatkki regulacyjne odsiewacza były ustawione promieniowo. Szerokość szczeliny dla przepływu czynnika unoszącego mieliwo spod kul (pomiędzy pierścieniem przelotowym a pierścieniem miazdzącym) wynosiła 3,5 mm.

## 2.4. Główne wielkości mierzone

- **Strumień węgla surowego B** jest zgrubnie określany przez pomiar prędkości obrotowej ślimaka podajnika i jego charakterystyki. Dokładny pomiar strumienia węgla odbywa się pośrednio przez: zważenie całej masy pyłu odseparowanego w odsiewaczu cyklonowym i filtrach tkaninowych ( $M_p$ ), zmierzenie czasu pracy podajnika węgla ( $\tau$ ), określenie zawartości wilgoci całkowitej w węglu surowym ( $W_t$ ) i w pyłe ( $W_p$ ) [%], a następnie wyliczenie strumienia węgla surowego (wydajność młyna) z wzoru:

$$B = \frac{M_p(100 - W_p)}{\tau(100 - W_t)} \quad (2)$$

- **Strumień czynnika susząco-transportującego** (wentylującego młyn) przed młynem ( $V$ ) jest mierzony za pomocą kryzy ISA z pomiarem przytarczowym i mikromanometru Recknagla.
- **Temperatury czynnika przed młynem ( $t_1$ ) i za młynem ( $t_2$ )** są mierzone za pomocą laboratoryjnych termometrów cieczowych. Niezależnie od tego mierzy się i rejestruje automatycznie temperatury w ok. dziesięciu charakterystycznych punktach instalacji za pomocą czujników termoelektrycznych Ni–NiCr i rejestratora.
- **Ciśnienia i spadki ciśnień** mierzy się za pomocą manometrów U–rurkowych.
- **Energię elektryczną zużywaną przez silnik napędowy młyna (E)** w określonym przedziale czasu mierzy się trójfazowym licznikiem energii o stałej 120 obr/kWh przez zliczanie obrotów tarczy licznika w czasie mierzonym stoperem. Dodatkowo mierzy się moc czynną silnika przy użyciu watomierza o działce elementarnej 0,12 kW.
- **Grubość warstwy mieliwa pod kulami ( $f_k$ )** jest mierzona pośrednio na dźwigniach zespołów dociskowych za pomocą czujników zegarowych o elementarnej działce 0,01 mm.
- **Właściwości fizyczne węgla i pyłu** oceniane są przez:
  - określenie pozostałości sitowych:  $R_{0,09}$ ,  $R_{0,12}$ , ( $R_{0,15}$ ),  $R_{0,2}$ ,  $R_{0,5}$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_5$  w węglu,

- określenie pozostałości sitowych:  $R_{0,09}$ ,  $R_{0,12}$ , ( $R_{0,15}$ ),  $R_{0,2}$ , w pyłe,
- określenie zawartości wilgoci przemijającej i higroskopijnej węgla ( $W_{ex}$ ,  $W_h$ ),
- określenie zawartości wilgoci całkowitej pyłu ( $W_p$ ),
- oznaczenie podatności przemiałowej węgla metodą Hardgrove'a.

### 3. WYNIKI POMIARÓW I ICH ANALIZA

Głównym celem badań [6] było eksperymentalne określenie wpływu zewnętrznego kąta opasania kul  $\alpha_2$  (w mniejszym zakresie także wpływu sumarycznego nacisku kul  $S$  na mieloną warstwę) na następujące wyniki pracy młyna doświadczalnego:

- wydajność maksymalną  $B$  [g/s] dla założonej jakości pyłu ocenianej pozostałością sitową  $R_{0,09}$  [%],
- jednostkowe zużycie energii na przemiał  $e$  [J/kg],
- spadek ciśnienia w młynie  $\Delta p$  [Pa].

Dodatkowo mierzone były i analizowane wielkości pomocnicze, służące głównie do interpretacji zjawisk zachodzących w młynie. Były to:

- grubość warstwy mieliwa pod kulami miazdzącymi  $f_k$  [mm],
- spadek ciśnienia wynikły z obecności fazy stałej w komorze mielenia  $\Delta p_w$  [Pa] i inne.

Opracowana w Instytucie metodyka określania maksymalnej wydajności młyna jest szczegółowo opisana między innymi w [2, 5]. W skrócie metodyka ta polega na wyznaczeniu w pierwszym kroku tzw. charakterystyk wentylacyjnych młyna. Są to zależności charakteryzujących pracę młyna wielkości (np. pozostałość sitowa  $R_{0,09}$  dla pyłu, opory przepływu przez młyn, zużycie energii na przemiał, grubość warstwy mieliwa itd.) od masowego strumienia czynnika wentylującego młyn  $V$ , przy stałym strumieniu  $B$  mielonego węgla. Przebieg charakterystyki  $R_{0,09} = f(V)$ , mającej kluczowe znaczenie dla oceny wydajności młyna) jest podobny dla różnych parametrów pracy, to znaczy zawsze obserwuje się poprawę jakości pyłu (obniżanie się wartości  $R_{0,09}$ ) wraz z obniżaniem wentylacji  $V$  [2, 5]. Przy pewnej jednak wartości strumienia wentylującego zależność ta osiąga minimum i dalsze obniżanie wentylacji prowadzi do nagłego pogorszenia się jakości pyłu spowodowanego tzw. zasypianiem młyna. Podobny przebieg ma charakterystyka  $\Delta p = f(v)$ . Minima obu krzywych są nieznacznie przesunięte względem siebie (występują przy nieznacznie różnych wartościach  $V$ ). W ten sam sposób wykonuje się charakterystyki wentylacyjne dla innych strumieni węgla  $B$ . Służą one za podstawę do zbudowania tzw. charakterystyk uniwersalnych [2, 5], tj. zależności jakości przemiału, spadku ciśnienia w młynie, jednostkowego zużycia energii i in. od wydajności młyna (strumienia węgla  $B$ ). Przyjęto, że poszczególne charakterystyki uniwersalne buduje się z wartości odczytanych z odpowiednich krzy-



wych wentylacyjnych w miejscach występowania minimów spadków ciśnienia w młynie. Aby z kolei móc ocenić wpływ np. zewnętrznego kąta opasania kul na wydajność młyna i pozostałe wyniki jego pracy, należy przyjąć kryterium do porównań. Jako takie kryterium przyjęto tu stałą jakość produkowanego przez młyn pyłu, charakteryzowaną przez pozostałość sitową  $R_{0,09}$ . W tym celu na rysunku zestawieniom charakterystyk uniwersalnych, sporządzonych według wyżej opisanych zasad, dla różnych kątów opasania kul prowadzi się prostą poziomą odpowiadającą przyjętej do porównań wartości pozostałości sitowej. Rzutując wartości odciętych odpowiadających punktom przecięcia się prostej z poszczególnymi charakterystykami  $R_{0,09} = f(B)$  na odpowiednie krzywe można z odczytanych rzędnych zbudować końcowy wykres  $B = f(\alpha_2)_{R_{0,09} = \text{idem}}$  inne, jak np.  $e = f(\alpha_2)_{R_{0,06} = \text{idem}}$ . W podobny sposób tworzy się zależność  $B = f(s_k)_{R_{0,06} = \text{idem}}$  i pozostałe. Jednostkowe zużycie energii na przemiał i wentylację jest ważnym kryterium porównawczym efektywności procesu przygotowania pyłu w danej konstrukcji młyna. W badaniach określano bezpośrednio tylko zużycie energii na przemiał  $e$  [J/g], które jest tu zdefiniowane zależnością:

$$e = \frac{E - E_0}{B\tau} = \frac{N - N_0}{B} \quad (3)$$

gdzie:

$E, E_0$  – zużycie energii przez silnik w czasie pracy młyna odpowiednio z obciążeniem  $B$  i przy biegu jałowym,

$N, N_0$  – moc czynna pobierana przez silnik w czasie pracy młyna odpowiednio z obciążeniem  $B$  i przy biegu jałowym,

$\tau$  – analizowany przedział czasu.

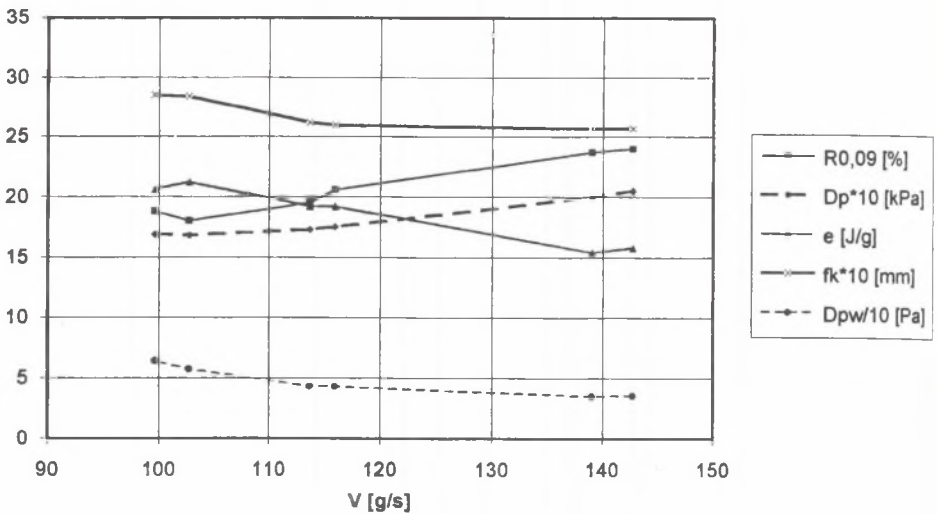
Zużycie energii na wentylację nie jest wyliczane, ale za jego miarę względną uznaje się zmierzony spadek ciśnienia w młynie  $\Delta p$ .

### 3.1. Charakterystyki pracy młyna

Na rysunku 3 pokazano przykładowe charakterystyki wentylacyjne dla jednej z serii pomiarowych (z ogólnej liczby 21 analizowanych w [6] serii pomiarowych).

### Wpływ zewnętrznego kąta opasania na wyniki pracy młyna [6]

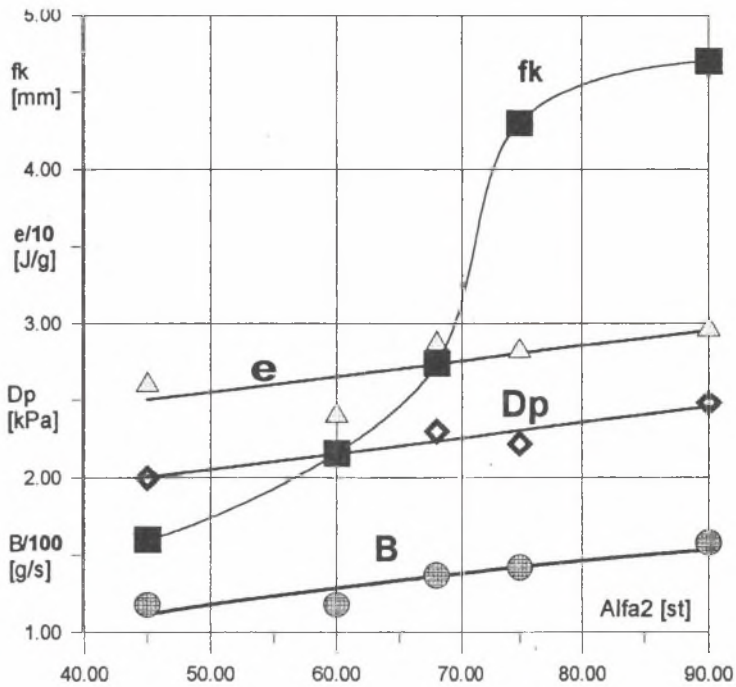
Wyniki badań 10–kulowego układu mielącego przy prędkości kątowej  $w = 10,5$  1/s, maksymalnym nacisku  $S = 18,3$  kN i jakości przemiału charakteryzowanej pozostałością sitową  $R_{0,09} = 18\%$  w funkcji zewnętrznego kąta opasania kul  $\alpha_2$  (przy  $\alpha_1 = 45_0$ ) ilustruje rys. 4. Analizując przedstawione tu charakterystyki można zauważyć, że ze wzrostem kąta opasania  $\alpha_2$  wzrasta rów-



Rys. 3. Przykładowe charakterystyki wentylacyjne

Fig. 3. Sample ventilation characteristics

niez graniczna (maksymalna) wydajność młyna. Jest to zjawisko korzystne. Efekt wzrostu, jak się wydaje, jest tu spowodowany głównie pogrubianiem się zalegającej w zagłębieniu bieżni warstwy mieliwa. W mniejszym stopniu na efektywność mielenia oddziałuje długość zewnętrznego łuku opasania. Tezę tę potwierdzają pomiary układów asymetrycznych o kątach zewnętrznych  $\alpha_2 = 68^\circ$  (powstałego na bazie pierścienia symetrycznego  $45/45^\circ$  przez zastosowanie nadstawki spiętrzającej) i  $\alpha_2 = 75^\circ$  (bez takiej nadstawki). Wydłużenie łuku miażdżenia nie spowodowało tu istotnej zmiany wydajności, natomiast istotny jest jej przyrost między  $\alpha_2 = 45$  i  $68^\circ$ . Interesująca jest też przy tej okazji wielkość zaobserwowanych obszarów intensywnego wycierania bieżni przez mieliwo – rys. 6. Inną istotną informacją, której dostarczają nam omawiane badania, jest wzrostowa (ze wzrostem  $\alpha_2$ ) tendencja zarówno oporów młyna, jak i jednostkowego zużycia energii na przemiał. Należy przy tym jednak zauważyć, że jednostkowy opór młyna (odniesiony do wydajności) jest dla  $\alpha_2 = 90^\circ$  nawet trochę niższy niż dla  $\alpha_2 = 45^\circ$ . Inaczej przedstawia się sprawa jednostkowego zużycia energii na przemiał. Mimo że w każdym przypadku pył cechuje się taką samą pozostałością sitową ( $R_{0,09} = 18\%$ ), to jednostkowe zużycie energii rośnie. Jest to zjawisko niekorzystne. Prawdopodobną przyczyną tego jest wzrastająca wraz z kątem krotność mielenia ziarna (innymi słowy ziarna dostatecznie rozdrobnione są niepotrzebnie poddawane dalszemu rozdrabnianiu wskutek pogorszonych warunków opróżniania bieżni).

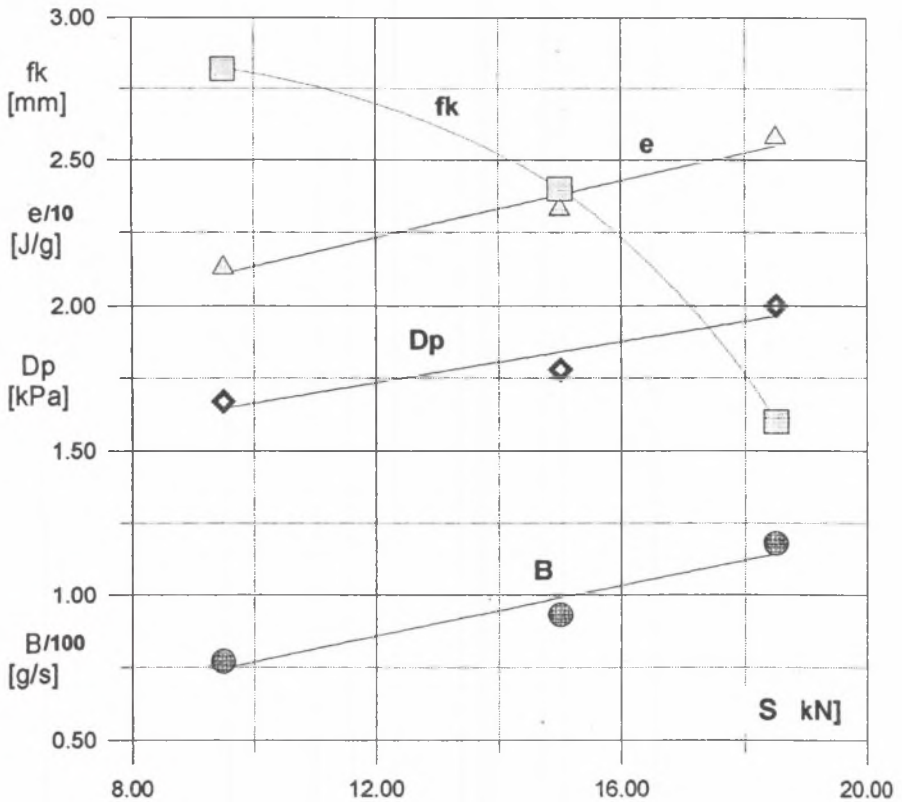


Rys. 4. Zależność wyników pracy młyna od zewnętrznego kąta opasania kul  $\alpha_2$  przy:  
 $d_k = 100$  mm;  $z_k = 10$ ;  $\alpha_1 = 45^\circ$ ;  $\omega = 10,5$  1/s;  $S = 18,3$  kN

Fig. 4. Mill performance vs. exterior angle of constant of the balls  $\alpha_2$  when  
 $d_k = 100$  mm;  $z_k = 10$ ;  $\alpha_1 = 45^\circ$ ;  $\omega = 10,5$  1/s;  $S = 1.3$  kN

### Wpływ nacisku kul na warstwę mieliva na wyniki pracy młyna

W najszerszym zakresie te badania przeprowadzone zostały dla symetrycznego pierścienia miazdzącego ( $\alpha_1 = \alpha_2 = 45^\circ$ ). Zastosowano tu trzy poziomy całkowitego nacisku kul na mieloną warstwę:  $S = 9,5; 15; 18,3$  kN. Nacisk najmniejszy odpowiada naciskom średnim stosowanym w praktyce przemysłowej (obliczony wg formuły (1)). Najważniejsze wyniki badań ilustruje rys. 5. Stwierdzono znaczący wzrost granicznej wydajności układu mielącego (młyna) ze wzrostem nacisku  $S$  w zbadanym (relatywnie szerokim) zakresie. Występuje jednak przy tym także wzrost całkowitego oporu młyna  $\Delta p$  i wzrost jednostkowego zużycia energii na przemiał  $e$  (jednostkowy opór młyna, tj. odniesiony do wydajności, jednak korzystnie spada). Wzrost jednostkowego zużycia energii na przemiał, jak się przypuszcza, jest spowodowany – podob-



Rys. 5. Zależność wyników pracy młyna od nacisku S na mieloną warstwę

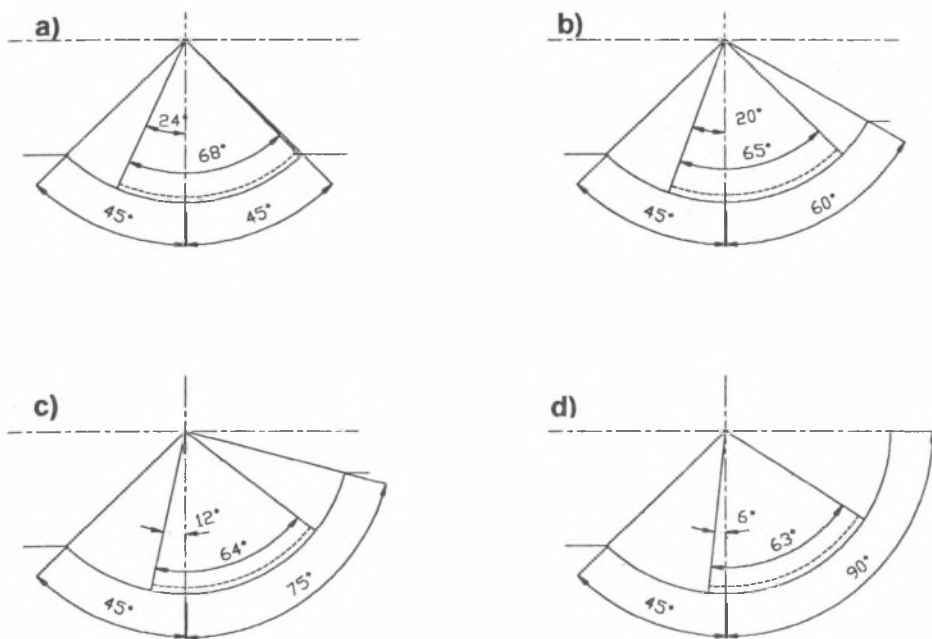
Fig. 5. Mill performance vs. pressure S exerted on the ground material

nie jak w poprzednio analizowanym przypadku – niepotrzebnie nadmiernym rozdrabnianiem węgla w pojedynczym akcie miażdżenia. Świadczą o tym także obserwowane tendencje zmian liczby polidispersji  $m_{40}$  pyłu, która maleje od 1,44 (przy  $S = 9,5$  kN) do 1,22 (pył staje się mniej jednorodny).

#### 4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W artykule przedstawiono najważniejsze wyniki eksperymentalnej weryfikacji dwóch prostych metod zintensyfikowania procesu przemiału w młynach średniobieżnych. Jedną z nich polega na zwiększeniu grubości miażdżonej pod





Rys. 6. Ślady intensywnego wycierania pierścienia miazdzącego dla różnych kątów opasania kuli: a)  $\alpha_2 = 45^\circ$ ; b)  $\alpha_2 = 68^\circ$ ; c)  $\alpha_2 = 75^\circ$ ; d)  $\alpha_2 = 90^\circ$

Fig. 6. Traces of intensive wear on the grinding ring at various angles of contact of the balls when: a)  $\alpha_2 = 45^\circ$ ; b)  $\alpha_2 = 68^\circ$ ; c)  $\alpha_2 = 75^\circ$ ; d)  $\alpha_2 = 90^\circ$

kulami warstwy mielniwa przez zastosowanie zwiększonego zewnętrznego kąta opasania kul. Druga – na zwiększeniu nacisku kul na mieloną warstwę. Uzyskane wyniki eksperymentu przeprowadzonego na instalacji z młynem pierścieniowo-kulowym o skali półtechnicznej prowadzą do wniosków:

- 1) wraz ze wzrostem zewnętrznego kąta opasania kuli w zakresie od  $45^\circ$  do  $90^\circ$  (przy  $\alpha_1 = 45^\circ = \text{idem}$ ):
  - korzystnie rośnie graniczna wydajność młyna B,
  - rośnie całkowity graniczny opór młyna  $\Delta p$  (jednak średni opór jednostkowy, tj.  $\Delta p/B$ , maleje, co jest zjawiskiem korzystnym),
  - niekorzystnie rośnie jednostkowe zużycie netto energii na przemiał e,
  - grubość warstwy mielniwa pod kulami rośnie,

- 2) wraz ze wzrostem całkowitego nacisku kul na mieloną warstwę mielniwa w zakresie  $S = 9,5$  do  $S = 18,3$  kN (przeciętnie stosowanemu w praktyce energetycznej naciskowi odpowiada tu nacisk  $S = 9,5$  kN):
  - korzystnie rośnie graniczna wydajność młyna B (można przypuszczać, że charakter tego wzrostu zależy będzie od właściwości mielonego węgla),
  - rośnie całkowity graniczny opór młyna  $\Delta p$  (jednak średni opór jednostkowy, tj.  $\Delta p/B$ , istotnie maleje, co jest zjawiskiem korzystnym),
  - niekorzystnie wzrasta jednostkowe zużycie netto energii na przemiał e,
  - maleje grubość warstwy mielniwa pod kulami,
- 3) otrzymane rezultaty badań mogą być wykorzystane w praktyce młynowej jako ważne informacje wspierające decyzje projektowe i modernizacyjne oraz jako pomoc w interpretacji zjawisk występujących w procesie mielenia węgla w młynach energetycznych, co służyłoby dalszemu rozwojowi teorii młynów.

## LITERATURA

- [1] Czepiel J., Mroczek K.: Badania na stanowisku doświadczalnym wpływu charakterystyki węgla na wydajność młyna i proces suszenia węgla w młynie pierścieniowo-kulowym. Opracowanie Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych Pol. Śl. (niepublikowane). Gliwice 1984.
- [2] Chmielniak T., Czepiel J., Mroczek K.: Charakterystyki określające wpływ prędkości kątowej na wydajność młyna. Opracowanie Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych Pol. Śl. (niepublikowane). Gliwice 1987.
- [3] Czepiel J., Mroczek K.: Badania modelowe układu mielącego młyna pierścieniowo-kulowego. Część 1 i 2. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., seria Energetyka, z. 104, Gliwice 1988.
- [4] Czepiel J.: Badania właściwości fizycznych węgla kamiennego – dane wejściowe do modelowania procesu przemiału. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., seria Energetyka, z. 107, Gliwice 1990.
- [5] Czepiel J.: Wpływ prędkości kątowej układu mielącego na wydajność młyna pierścieniowo-kulowego. Praca doktorska. Gliwice 1990.
- [6] Chmielniak T., Czepiel J., Mroczek K.: Badania wpływu cech geometrycznych bieżni na wydajność młyna i zużycie energii. Sprawozdanie wewnętrzne z badań, opracowane w ramach projektu badawczego KBN nr 7 1061 91 01 pt. „Intensyfikacja procesu przemiału w młynach średniobieżnych” (niepublikowane). Gliwice 1992.

**Abstract**

One of the necessary conditions for reducing nitrogen oxides emissions from coal combustion is the improved fuel fineness. In the existing systems this may be achieved for instance by modernizing the static sifter or by installing a dynamic sifter. While the quality of the dust produced in the mill is increased, the maximum grindability of the grinding system decreases and this, in some cases, necessitates the lowering of the power rating of the power unit. The installation of larger mills may solve the problem, but apart from the high cost of such undertaking, it is not always possible because of the space requirements. Ways must be then found to intensify the grinding process in the existing pulverizing system by modernizing the mill. This paper presents the results of grinding intensification tests made by changing the exterior angle of contact of the grinding balls and the pressure exerted on the ground coal. The tests were performed on an experimental semi-industrial installation with a grinding mill. The ring and ball grinding system of the mill uses ten 100 mm – diameter balls. The experiment showed that the increase of the exterior angle of contact in the 45 – 90° intervals results in the rise of the limiting efficiency of the grinding system producing dust with constant amount of sieve residue  $R_{0,09}$ . There is, however, an disadvantageous rise of power consumption and a decrease in the polydispersion number of the dust. The application of high pressure exerted by the balls on the ground coal layer increases the limiting efficiency of the grinding system (when producing dust with constant amount of sieve residue  $R_{0,09}$ ). Flow resistance (per unit of output) decreases – an advantageous phenomenon. However, the polydispersion number of the dust decreases and the power consumption rises.