

OPTIMALIZACJA PROCESU PRZEMIAŁU CEMENTU NA PRZYKŁADZIE CEMENTOWNI ODRA S.A.

**Joanna SITKOWSKA, Jerzy DUDA, Anna DUCZKOWSKA-KĄDZIEL,
Marek WASILEWSKI**

Streszczenie: Przemiał cementu jest procesem generującym wysokie koszty. Są one wynikiem wielu składowych, jednak najistotniejszym jest zużycie energii elektrycznej. Optymalizacja procesów rozdrabniania może być prowadzona w odniesieniu do wielu aspektów, a do jej prowadzenia można wykorzystać różne narzędzia. Jednym z nich jest kontrola stopnia rozdrobnienia mielonych materiałów przez wykonywanie krzywej przemiału.

Słowa kluczowe: młyny cementu, młyny żużla, przemiał, cement, żużel, optymalizacja, krzywa przemiału

1. Wstęp

W przemyśle cementowym procesom przemiału poddawane są materiały o bardzo różnych właściwościach fizyko-chemicznych. Podstawowym surowcem jest klinkier charakteryzujący się wysoką twardością, wymagającą użycia dużej energii dla uzyskania odpowiedniego rozdrobnienia w cemencie. Dodatkami do klinkieru są żużle wielkopieczowe - różniące się właściwościami chemicznymi od klinkieru jednak, podobnie jak on generujące wysokie zużycie energii w procesie przemiału [1]. Z kolei dodatki tj. gipsy, popioły lotne, kamienie wapienne, pucolany, mikrokrzemionki, łupki to dodatki, które na ogół są łatwomielne i nie wymagają tak dużego nakładu pracy by uzyskać wysoki stopień rozdrobnienia. Ponadto materiały po rozdrobieniu powinny cechować się szerokim rozkładem frakcyjnym ziaren [2-3]. Tak różnorodne materiały dostarczane jednocześnie do jednego urządzenia mielącego stwarzają konieczność podjęcia optymalnej decyzji dotyczącej metody wprowadzenia materiału aby uzyskać wspólny stopień rozdrobnienia mieszanki. Drugą możliwością jest nowa inwestycja w bardziej skomplikowane układy dające możliwość wspólnego mielenia materiałów łatwo- i trudnomielnych. Przy zastosowaniu wspólnego mielenia otrzymujemy produkt gotowy o wysokiej jakości i wysokim stopniu rozdrobnienia. Na wybór najbardziej odpowiedniego rodzaju młyna lub układu młynowego wpływa przede wszystkim koszt uzyskania gotowego produktu, a także łatwość sterowania i kontrolowania jego jakości.

Głównym czynnikiem generującym koszty w procesie przemiału cementu jest zużycie energii. Jest ono zależne od ilości pracujących w układzie urządzeń oraz wymaganego technologicznie stopnia rozdrobnienia cementu. Koszty energii można ograniczać na dwa sposoby:

- inwestując w nowe technologie,
- intensyfikując proces przemiału poprzez: dobór odpowiedniej receptury zakulowania młyna, wymianę opływaną, zmianę aspiracji czy zastosowanie środka (powierzchniowo czynnego) ułatwiającego mielenie. Jednak często bywa to niewystarczające.

W zależności od technologii przemiału działania te polegają najczęściej na zmianie w przypadku młynów rurowo-kulowych stopnia wypełnienia młyna kulami lub rekonstrukcji wnętrza młyna (polegającej na zmianie długości komór czy przegrody międzykomorowej). Natomiast w przypadku młynów pionowych sprowadza się to najczęściej do zmiany wysokości warstwy mielonego materiału na misie, sile docisku ról mielących lub regulacji obrotów separatora.

2. Rodzaje młynów stosowanych do przemiału cementu

Do przemiału cementu w przemyśle cementowym stosuje się różnego rodzaju układy mielące. W Polsce najczęściej spotykane są młyny rurowo-kulowe oraz coraz częściej młyny pionowe (rolowo-misowe lub walcowo-misowe). Ze względu na wysoką energochłonność przemiału cementu, która stanowi około 30% (około 32 kWh/Mg cem.) całkowitego zużycia energii elektrycznej na wyprodukowanie 1 Mg cementu, poszukuje się nowych rozwiązań technicznych o niższym zużyciu energii. Przykładem takich rozwiązań są młyny walcowe (prasy walcowe) lub poziome młyny walcowe, tzw. HOROMILL. Ze względu na wysokie koszty nowych instalacji przemiałowych, znacznie tańszym rozwiązaniem jest modernizacja istniejących młynów lub optymalizacja procesu przemiału dzięki wyposażeniu instalacji w nowoczesne układy pomiarowe i automatycznej regulacji [1].

2.1. Młyny rurowo-kulowe

W cementowniach do przemiału cementu najczęściej wykorzystuje się dwukomorowe młyny rurowo-kulowe, pracujące w układach zamkniętych (z separatorem) lub otwartych. Ich wnętrza wyłożone są okładziną pancerną wykonaną ze specjalnych stopów stali w celu ochrony płaszcza młynów przed ścieraniem powodowanym pracą mielników wypełniających komory. Prawidłowy proces przemiału wymaga zabezpieczenia w młynie warunków polegających na dopasowaniu średnicy (ciężaru) mielników do zmieniającego się rozdrobnienia (wielkości ziarna) mielonego materiału. Wraz ze zmniejszającym się ziarnem powinny zmniejszać się średnice kul. Aby to zabezpieczyć w starych młyna, które nie posiadały płyt samosortujących efekt ten uzyskiwano dzięki podziałowi młyna na więcej komór, często 4 a nawet 5. Komory te wzdłuż młyna w kierunku wylotu były wypełnione zmniejszającymi się kulami a w ostatniej stosowano cylpepsy. Większe średnice młyna oraz nowe płyty o własnościach sortujących mielniki pozwoliły zabezpieczyć ten warunek (im drobniejsze ziarno tym mniejsza średnica) w młynach dwukomorowych. Stosowane w młynach cementu mielniki to stalowe kule o średnicach od 90 do 15 mm, z różnym ich udziałem procentowym wielkości kul w poszczególnych komorach. W nowoczesnych młynach dwukomorowych, pierwsze komory (kruszące) wyłożone są płytami wznoszącymi, mającymi zadbać o poprawną pracę udarową kul. Komory te są zakulowane mielnikami o największych średnicach (od 90-60 mm). Drugie komory wyłożone są płytami o specjalnym profilu, które dbają o sortowanie kul, są to tzw. płyty samosortujące [4]. Ze względu na stopień rozdrobnienia materiału w tej części młyna i funkcję rozcierającą, wypełnione są mielnikami o mniejszych średnicach (od 50-15mm), zmniejszających się do wylotu młyna. Ważnym elementem młynów rurowo-kulowych są przegrody międzykomorowe, których głównym zadaniem jest zabezpieczenie przed przesypywaniem się mielników pomiędzy komorami. Dobrej konstrukcji przegroda powinna zabezpieczyć równomierny przepływ mielonego materiału, stwarzać małe opory

dla przepływającego powietrza aspirującego młyn oraz nie dopuścić do powstania martwych stref przy przegrodzie.

2.2. Młyny pionowe

Dążenie do obniżenia energochłonności i zwiększenia wydajności młynów spowodowało opracowanie nowej konstrukcji młyna, którego zasada działania opiera się o zgniatanie i rozcieranie materiału pomiędzy obracającymi się misą i elementem gniotącym. W zależności od rodzaju gniotownika rozróżnia się następujące młyny pionowe:

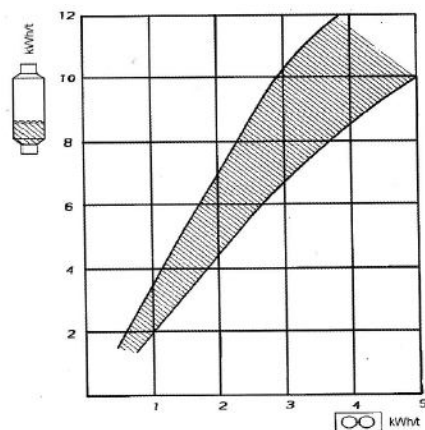
- rolowo-misowe,
- walcowo- misowe,
- kulowo-misowe (pierścieniowo-kulowe).

Są to urządzenia, które charakteryzują się przede wszystkim znacznie wyższymi wydajnościami, mniejszym zużyciem energii i mniejszą emisją hałasu od młynów rurowo – kulowych [5]. W przemyśle cementowym stosowane są głównie do przemiału surowca. Ze względu na zestawienie w jednym urządzeniu procesów suszenia, mielenia i separacji zajmują one mniej miejsca niż młyny kulowe wraz z dodatkowymi urządzeniami zapewniającymi ww. procesy. Młyny pionowe do rozdrobnienia wykorzystują mechanizm zgniatania oraz miażdżenia materiału między ruchomą misą, a toczącymi się po niej rolami, walcami lub kulami dociskanymi hydraulicznie lub mechanicznie za pomocą sprężyn do obracającej się misy. Podawany centralnie na obracającą się misę materiał siłą odśrodkową przemieszczany jest do krawędzi misy, pod element zgniatający gdzie poddawany jest zgnieceniu i rozcieraniu do momentu uzyskania wielkości ziaren mających zdolność uniesienia się w strudze gazów przepływających przez specjalnej konstrukcji dysze w kierunku separatora. Dysze te zabudowane są po obwodzie pomiędzy obracającą się misą a obudową młyna. Zintegrowany separator wewnętrzny młyna i możliwość regulacji siły docisku ról pozwala szybko i precyzyjnie uzyskać wymagany stopień rozdrobnienia mielonego materiału. Cechą charakterystyczną tych młynów jest duże zużycie elementów mielących przy materiałach o dużych własnościach ścieralnych lub zawierających domieszki np. krzemowe. Z tego względu młyny te nie były dotychczas stosowane do przemiału cementu lub żużli. Nowe konstrukcje młynów pionowych a zwłaszcza ról lub walców oraz nowe materiały konstrukcyjne o wyższej odporności na ścieranie, pozwoliły na wykorzystanie tych młynów również do przemiału cementu i żużli.

2.3. Młyny walcowe

Kłopoty eksploatacyjne młynów pionowych jakie wynikały z wykorzystania ich do przemiału materiałów ścieralnych spowodowały, że poszukiwano innych metod przemiału tych materiałów. Wynikiem tych badań było opracowanie skojarzenia młyna rurowo-kulowego z prasą walcową (młynem walcowym). Zasada działania takiego układu przemiałowego, tzw. tandemu, polega na dwustopniowym przemiale. Najpierw materiał podobnie jak w młynie pionowym jest zgniatany przez dwa walce (jeden posiada napęd) w urządzeniu zwanym prasą walcową i następnie już znacznie rozdrobniony materiał jest następnie mielony w jednokomorowym młynie rurowym. Wykorzystano tutaj zależność, że im drobniejsza nadawa, tym większa wydajność młyna i niższe jednostkowe zużycie energii elektrycznej. W technologii przemiału w układzie tandemowym, prasa walcowa pełni rolę pierwszej komory typowego młyna dwukomorowego. Na rys. 1 przedstawiono zużycie energii w I komorze młyna w porównaniu ze zużyciem energii w młynie

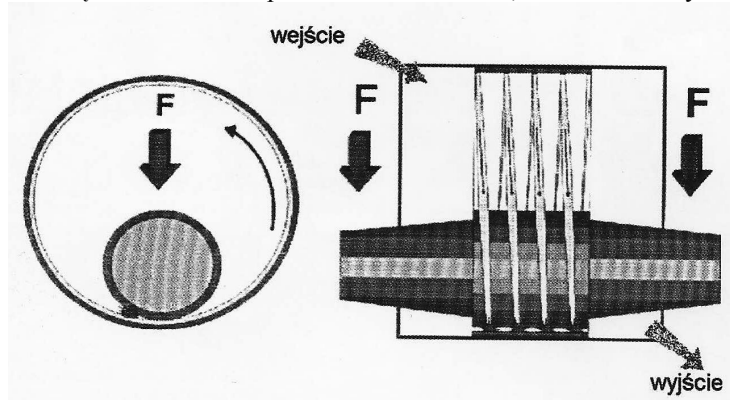
walcowych dla tego samego materiału i wydajności.



Rys. 1. Jednostkowe zużycie energii dla różnych układów przemiałowych

Wraz z rozwojem konstrukcji pras walcowych, opracowano układ polegający na przemiale jednostopniowym, bez młyna rurowego. Prasa walcowa okazała się również doskonałym urządzeniem do produkcji cementów żuźlowych.

Zalety młyna rurowo-kulowego oraz prasy walcowej wykorzystano w nowej konstrukcji młyna walcowego-poziołego „Horomill”. Zasadę działania tego młyna przedstawiono na rys. 2. Składa on się z trzech stref: wprowadzenia materiału, mielenia i strefy rozładkowej.



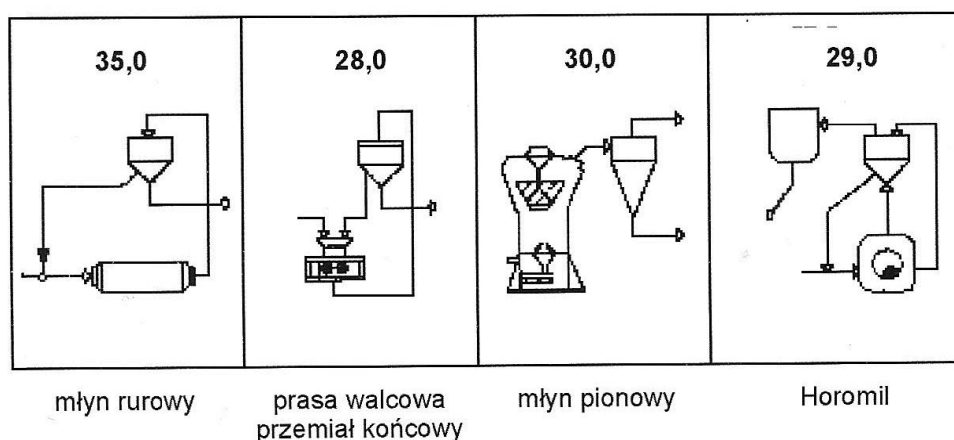
Rys. 2. Zasada działania młyna typu Horomill

W strefie mielenia, cylindryczny wał jest dociskany, podobnie jak w prasie walcowej - ale ze znacznie mniejszym naciskiem (ok. 20% nacisku wymaganego w prasie walcowej). Powoduje to zgniatanie materiału, który w wyniku obrotów walczaka młyna jest poddawany wielokrotnemu (4-5 razy) zgniataniu. Dzięki znacznie niższym naciskom w porównaniu do prasy walcowej, urządzenie to jest znacznie mniej awaryjne od prasy. Zużycie energii w młynie Horomill jest podobne do zużycia w prasie walcowej. Zalety tego młyna to:

- duża stabilność procesu,

- prosta obsługa,
- małe gabaryty,
- niski poziom hałasu,

Na podstawie danych eksploatacyjnych z wdrożonych młynów Horomil można stwierdzić, że konstrukcja ta pozwala uzyskać wysoki stopień przemiału (do 6000 cm²/g wg. Blaina) i niskie jednostkowe zużycie energii ok. 17-19 kWh/Mg. Jest to technologia konkurencyjna w stosunku do przedstawionych wyżej metod przemiału. Na rys. 3 przedstawiono porównanie wskaźników jednostkowego zużycie energii dla omawianych technik przemiału.



Rys. 3. Porównanie wskaźników zużycia energii elektrycznej na przemiał cementu (o powierzchni 3200 cm²/g) dla omawianych metod przemiału

2.4. Opis układów młynowych pracujących w Cementowni ODRA S.A.

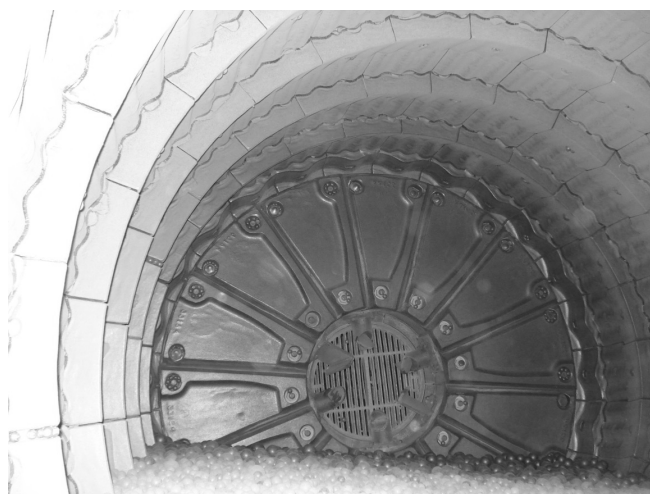
W Cementowni ODRA S.A. pracują 4 układy produkujące cement, w których skład wchodzi 7 młynów. Charakterystyka ich została zaprezentowana w tabeli 1. Tabela ta prezentuje różnice między rodzajem przegrody (rys. 4), opłytowaniem komór, stopniem ich wypełnienia oraz obiegu materiału.

Wykorzystywane w Cementowni młyny cementu charakteryzują się dwoma rodzajami przegród: szczelinowa i pełna z lejami przesypowymi. Opłytowanie I komory we wszystkich młynach cementu jest takie samo – płyty wznoszące, natomiast w opłytowaniu II komory występują trzy rodzaje płyt: samosortujące, samosortujące z jednym rzędem płyt wysokich (młyn cementu 5) oraz płaskie z deflektorami (młyn cementu 7). W młynach cementu 1-4 występuje obieg materiału zamknięty i otwarty, natomiast w młynie 5 i 7 tylko otwarty. Stopień wypełnienia I/II komory wynosi od 25 do 33%.

Każdy z układów jest przystosowany do mielenia danej (jednej lub dwóch) marki cementu, co ułatwia optymalizację ich pracy. Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę układów.

Tabela 1. Charakterystyka układów młynowych stosowanych w Cementowni Odra S.A.

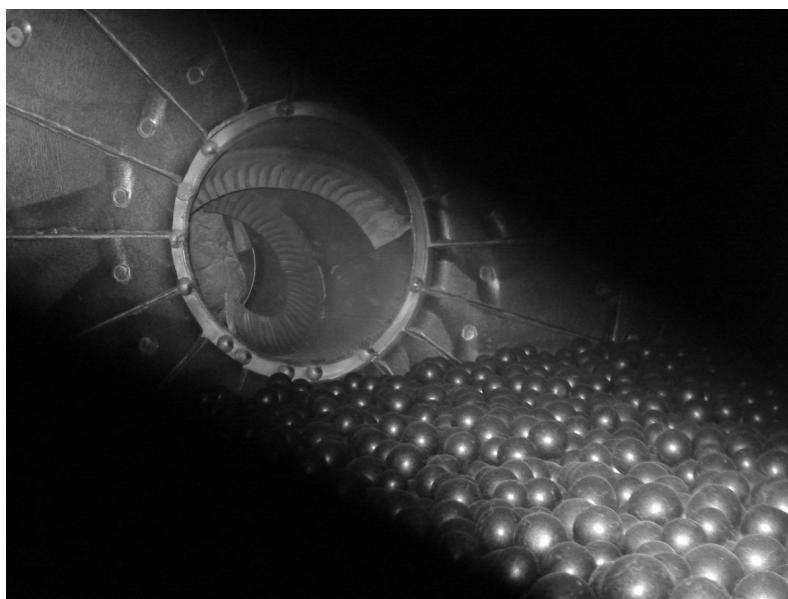
	Młyn cementu 1	Młyn cementu 2	Młyn cementu 3	Młyn cementu 4	Młyn cementu 5	Młyn cementu 6	Młyn cementu 7
Rodzaj przegrody	pełna + leje przesypowe	szczelino-wa	szczelino-wa	szczelino-wa	pełna + leje przesypowe	pełna + leje przesypowe	szczelino-wa
Oplytowanie I komory	plyty wznoszące	plyty wznoszące	plyty wznoszące	plyty wznoszące	plyty wznoszące	plyty wznoszące	plyty wznoszące
Oplytowanie II komory	plyty samo-sortujące	plyty samo-sortujące	plyty samo-sortujące	plyty samo-sortujące	plyty samo-sortujące + 1 rząd płyt wysokich	plyty samo-sortujące	plyty płaskie + deflektory
Obieg materiału	zamknięty + otwarty	zamknięty + otwarty	zamknięty + otwarty	zamknięty + otwarty	otwarty	zamknięty	otwarty
Stopień wypełnienia I / II komory [%]	28 / 28	28 / 26	29 / 27	27 / 29	28 / 28	30 / 33	25 / 25



Rys. 4. Młyn cementu 1 – przegroda pełna z lejami przesypowymi

a) Młyny cementu nr 1 – 4

Młyny cementu 1 - 4 to dwie pary bliźniaczych młynów dwukomorowych I i II (rys. 5). Zainstalowane są one w jednej hali. Posiadają wspólny transport mieszanki przed i wspólny odbiór cementu spod młynów. Z tego względu jest to układ trudny w sterowaniu w układzie zamkniętym, jednak pozwalający uzyskać wysokie rezultaty jakościowe.



Rys. 5. Młyn cementu nr 1 – I komora mieląca

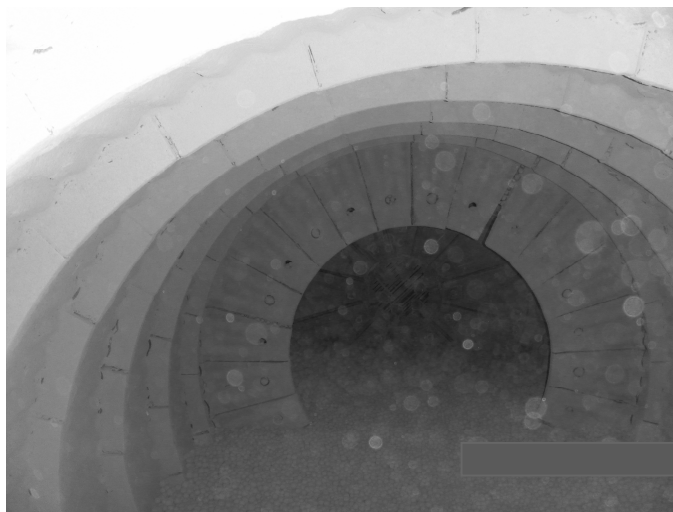
Młyny te, jako pierwsze w Polsce mają możliwość pracy wspólnie z młynem susząco-mielącym produkującym żużel dla cementów żużlowych. Całość pozwala na łatwą kontrolę jakości gotowego produktu oraz znaczący wzrost wydajności młynów z jednoczesnym ograniczeniem zużycia energii.

b) Młyn cementu nr 5

Młyn cementu nr 5 pracuje w układzie otwartym z dwukomorowym młynem kulowym. W drugiej komorze (rys. 6) zainstalowano płyty sortujące kule oraz jeden pierścień płyt wysokich tworzących przewężenie komory. Jest to rozwiązanie dedykowane młynom podczas przejścia z systemu trzykomorowego na dwukomorowy. Celem takiego zabiegu jest przytrzymanie materiału i uzyskanie wyższej powierzchni przemiału, podobnie jak w systemie trzykomorowym, jednak ze znaczącym obniżeniem oporów przepływu gazu przez przegrodę. Na rysunku 3 przedstawia rząd płyt wysokich w komorze nr II przytrzymujących materiał dla uzyskania lepszego przemiału

c) Młyn cementu nr 7

Młyn pracuje w układzie otwartym i podobnie jak młyn cementu nr 5 w drugiej komorze posiada innowacyjne rozwiązanie. Zainstalowano tam opłytowanie posiadające tzw. deflektory tworzące ślimacznice (rys. 7), która pozwala uzyskać wzrost prędkości gazów przepływających przez młyn. Jego celem jest poprawa przewietrzania młyna, co dodatkowo powoduje wzrost wydajności jednostki mielącej przy jednoczesnym obniżeniu zużycia energii.



Rys 6. Młyn cementu nr 5 – Rząd wysokich płyt w II komorze



Rys. 7. Młyn cementu nr 7 – Ślimacznica deflokatorów w II komorze mielącej

d) Młyn żuźła

Do mielenia i suszenia żuźła wielkopieczowego będącego ważnym składnikiem cementów żuźlowych produkowanych w Cementowni ODRA S.A. wykorzystuje się susząco-mielący pionowy młyn rolowo-misowy. Jest on usytuowany w pobliżu układu młynów nr 1 – 4 i ich separatora. Jego praca jest niezależna od pracy układu młynów nr 1-4, natomiast jest niemożliwa podczas postoju obrotowego pieca klinkierowego, skąd do suszenia mokrego żuźła czerpie się gorące gazy odpadowe z chłodnika klinkieru będącego częścią linii piecowej.

3. Sposoby optymalizacji pracy młynów

Jednym ze sposobów optymalizacji pracy młynów jest kontrola stopnia rozdrobnienia cementu prowadzona dla każdego młyna z osobna. Można ją diagnozować na wiele sposobów, najczęściej jednak stosuje się następujące trzy metody:

a) badanie powierzchni właściwej wg Blaine'a

W przemyśle cementowym najczęściej stosowaną metodą pomiaru stopnia rozdrobnienia cementu jest wyznaczanie powierzchni właściwej Blaine'a. Określa się tu powierzchnię jaką zajmuje 1g badanego materiału uzyskując jednostkę cm^2/g . Sposób prowadzenia badania określono dokładnie w Polskiej Normie PN-EN 196-6:2011 - Metody badania cementu. Oznaczanie stopnia zmielenia [6]. Wykonuje się je metodą suchą z użyciem aparatu Blaine'a. Polega na przeprowadzeniu przez przygotowaną próbkę powietrza i określenia jego ilości. Odpowiednie przeliczenia dają wynik końcowy.

Metoda ta pozwala uzyskać informacje o tym jaką powierzchnię zajmuje 1g badanego materiału, jest jedynie metodą porównawczą. Dodatkowo jest obarczona błędem ludzkim, wynik zależy od dokładności przygotowania próbki, jej temperatury oraz dokonania przez badającego odczytu z aparatu. Z tego powodu coraz częściej zastępuje się wyznaczanie powierzchni właściwej Blaine'a metodami dokładniejszymi, eliminującymi do maksimum ingerencję człowieka i możliwość popełnienia przez niego błędu.

b) badanie pozostałości na sitach

Analizę sitową prowadzi się głównie dla określenia ilości grubej frakcji – powyżej 200 lub $90\mu\text{m}$. Dzięki niej, można określić udział procentowy wybranych frakcji w całej próbce. Badanie wykonuje się przez przesianie przez stos sit o różnym (malejącym) rozmiarze oczek i zważeniu materiału pozostałego na każdym z nich. W odniesieniu do całej próbki określa się ich udział procentowy. Jest to badanie proste, dające wynik w krótkim czasie, jednak nie daje wiarygodnych wyników dla ziaren bardzo małych – poniżej 63 lub $45\mu\text{m}$.

c) badanie składu granulometrycznego

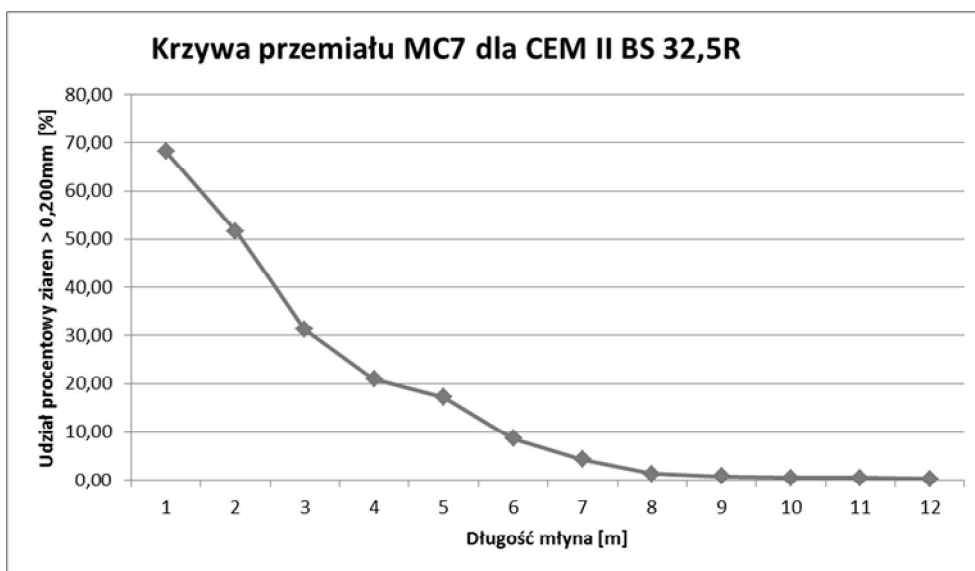
Badania składu granulometrycznego dokonuje się w specjalnych granulometrach, urządzeniach wykorzystujących laser, pozwalający określić udziały poszczególnych średnic cząstek ciała stałego. W zależności od ilości laserów i detektorów można analizować rozkład ziarnowy bardzo zróżnicowanych materiałów – grubo i bardzo drobnoziarnistych. Aparatura ta bada materiał metodą moką i suchą w zależności od ich własności fizycznych. Próbkę wprowadza się do komory urządzenia skąd automatycznie jest pobierany, struga powietrza transportuje materiał jednocześnie rozdzielając jego ewentualne agregaty. Wynikiem pomiaru jest najczęściej krzywa obrazująca dokładny rozkład udziałów poszczególnych frakcji.

Producenci granulometrów laserowych, wraz z oprogramowaniem, dają użytkownikowi wiele możliwości zaprezentowania wyników. Istnieje możliwość wygenerowania zestawienia tabelarycznego lub graficznego, badacz może wyznaczyć która frakcja ma być prezentowana w zestawieniu – może wybrać jedną wartość lub kilkanaście jeśli musi wykonać dokładną analizę. Zaletą takiego pomiaru jest wysoka powtarzalność wyników

niezależnie od operatora aparatu lub przygotowania próbki. Wyniki uzyskuje się w bardzo krótkim czasie.

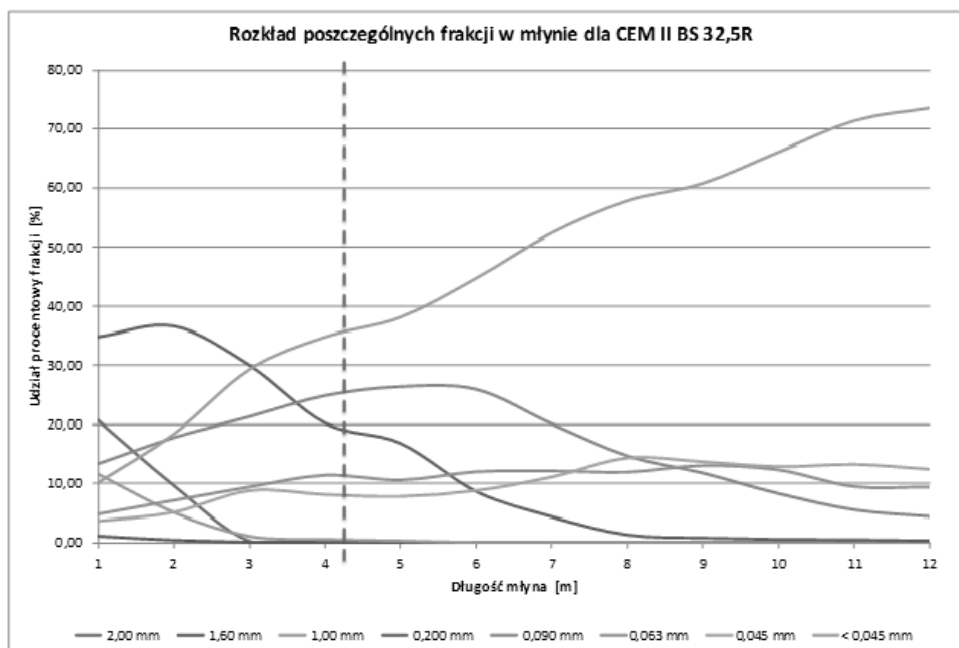
4. Optymalizacja pracy młynów na podstawie badań w Cementowni ODRA S.A.

W Cementowni ODRA S.A. wykonuje się wszystkie trzy powyżej przedstawione badania, jednak do badań optymalizacyjnych pracy młynów korzysta się z krzywej przemiału (rys. 5) prezentującej wyniki pozostałości na sitach o rozmiarach oczek o średnicy od 2 do 0,045mm. Pobrane podczas awaryjnego postoju młyna próby poddawane są analizie sitowej. Zatrzymanie awaryjne oznacza, że zatrzymanie następuje nagle, z materiałem, przy jednoczesnym zatrzymaniu urządzeń dodatkowych – przede wszystkim wentylatora wyciągowego młyna. Pobierając próby z całej długości w I i II komorze (co pół metra pobiera się ok 3 próbki) oraz sprawdzając kolejno stopień rozdrobnienia każdej z nich można ocenić pracę młyna. Wyniki analizy przedstawia się w formie graficznej. Rysunek 8 przedstawia przykładową krzywą przemiału wykonaną w Cementowni ODRA S.A.



Rys. 8. Przykładowa krzywa przemiału (opracowanie własne)

Jest to krzywa przedstawiająca rozkład ziaren > 0,200mm. Analizując wykres można stwierdzić, czy praca młyna jest prawidłowa. Największe ziarna, przesuując się od wlotu do wylotu, są równomiernie rozdrabniane, a od 10m zanikają. Wadą takiego zestawienia wyników jest brak informacji o pojawianiu się drobnych ziaren cementu i ich rozkładzie na całej długości młyna. Poniżej na rysunku 9 zaprezentowano inną interpretację krzywej przemiału.



Rys. 9. Rozkład poszczególnych frakcji dla produktu CEM II BS 32,5R (opracowanie własne)

Powyższy wykres, poza prawidłowym rozdrobieniem frakcji $> 0,200\text{mm}$ w pierwszej komorze, pokazuje jak wygląda rozkład drobnych frakcji w drugiej komorze młyna. Dla zapewnienia wysokiej jakości cementu istotna jest drobna frakcja ziaren, zatem warto więcej uwagi poświęcić analizie pracy II komory. Tutaj widać, gdzie interesująca nas frakcja zaczyna się tworzyć i kiedy przestaje narastać jej ilość. Dodatkowo, zestawiając analizę sitową wykonaną dla krzywej przemiału z analizą rozkładu granulometrycznego gotowego cementu wykonaną z użyciem granulometru laserowego, można jasno ocenić skuteczność wykonanych zmian w układzie młynowym.

5. Wnioski

Zaproponowana powyżej analiza wyników ułatwia ocenę skuteczności pracy młyna, pozwala stwierdzić, która część komory pracuje efektywnie, a która powoduje jedynie zwiększenie zużycia energii. Nowa metoda dotycząca rozbicia rozpadu poszczególnych frakcji pozwala w szybszy i bardziej optymalny sposób podjąć decyzję m.in.: o zmianie asortymentu kul w II komorze lub o zmianie długości komór. Oba badania uzupełniają się. Efektem każdego z tych zabiegów będzie bezpośrednio ograniczenie zużycia energii elektrycznej lub pośrednie poprzez zwiększenie wydajności pracy młyna, co zmniejszy jednostkowe zużycie energii elektrycznej.

Literatura

1. Kurdowski W.: Poradnik technologa przemysłu cementowego. Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1981r.

2. Duda J., Rojek R., Wrzuszczak J.: Analiza metrologiczna młyna dla potrzeb automatycznego sterowania. Materiały konferencyjne „Automatyka” - Gdańsk '94".
3. Wasilewski M.: Optymalizacja konstrukcji cyklonów pierwszego stopnia instalacji wypalania klinkieru. Praca doktorska. Opole, 2015 r.
4. Nowak E., Pałka E., Płocica M., Stanoch W., Szeliga A.: Procesy przemielania i młyny w przemyśle cementowym. Prace Instytutu Mineralnych Materiałów Budowlanych nr 26, Opole 1999 r.
5. Duda J.: Wpływ przemysłu cementowego na środowisko naturalne- przemiał cementu, BMP- Surowce i Maszyny Budowlane, nr 2/2005, s. 8-10.
7. Fahrland T., Zysk K-H.: Cements ground in the vertical roller mill fulfil the quality requirements of the market. Cement International, nr 2, 2013.
8. Polska Norma PN-EN 196-6:2011 - Metody badania cementu. Oznaczanie stopnia zmielenia.

Mgr inż. Joanna SITKOWSKA
Cementownia ODRA S.A.
45-005 Opole, ul. Budowlanych 9
e-mail: jsitkowska@odrasa.com.pl

Dr hab. inż. Jerzy DUDA, prof. PWSZ w Nysie
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nysie
48-300 Nysa, ul. Armii Krajowej 7

Dr Anna DUCZKOWSKA-KĄDZIEL
Dr inż. Marek WASILEWSKI
Instytut Innowacyjności Procesów i Produktów
Politechnika Opolska
45-370 Opole, ul. Ozimska 75
e-mail: a.duczowska-kadziel@po.opole.pl
m.wasilewski@po.opole.pl