

INNOWACYJNY ENERGOOSZCZĘDNY BY-PASS CHLOROWY

Jerzy DUDA, Wojciech PUTRA

Streszczenie: Rozwój nowych, energooszczędnych technologii produkcji cementu oraz wzrost udziału paliw alternatywnych z odpadów w procesie współspalania z węglem w piecu obrotowym, wymaga w celu ograniczenia niebezpiecznego dla procesu obiegu składników lotnych: chloru, siarki i alkaliów, zastosowania by-passa gazowego. W artykule na przykładzie pracy wybranego rozwiązania by-passa i wynikających z tego problemów eksploatacyjnych, przedstawiono sposób poprawy skuteczności działania takiej instalacji i sposób obniżenia strat cieplnych.

Słowa kluczowe: piec obrotowy, współspalanie, by-pass gazowy, ORC

1. Wprowadzenie

Proces produkcji cementu należy do procesów szczególnie energochłonnych w związku z tym, silnie oddziaływujących na środowisko naturalne. Decydujący wpływ na energochłonność wytwarzania cementu ma proces wypalania klinkieru cementowego w piecu obrotowym. Koszty energii związane z wypalaniem klinkieru cementowego, w zależności od rodzaju cementu, stanowią od 50-75% kosztów wytwarzania cementu. W związku z tym, praktycznie wszystkie działania w przemyśle cementowym dotyczące obniżenia energochłonności koncentrują się głównie na tym procesie. W ostatnich latach przemysł cementowy w Polsce został poddany głębokiej modernizacji, która polegała głównie na wyeliminowaniu praktycznie energochłonnej metody mokrej oraz modernizacji istniejących pieców pracujących metodą suchą. Eliminacja produkcji metodą mokrą polegała głównie na fizycznej likwidacji tych pieców (praktycznie likwidacji zakładów) lub przebudowaniu pieców na metodę suchą. W wyniku tej modernizacji prawie 99% cementu w kraju produkuje się obecnie nowoczesnymi technologiami suchymi, w piecach z wielostopniowymi zewnętrznymi wymiennikami ciepła i z układami wstępnej kalcynacji. Dzięki tej modernizacji uzyskano znaczne obniżenie energochłonności procesu wypalania klinkieru i w efekcie cementu. Praktycznie wszystkie piece obrotowe w kraju swoimi parametrami techniczno-ekologicznymi odpowiadają wskaźnikom BREF (BAT Reference Document). Dalsze obniżenie energochłonności procesu wypalania poprzez ograniczenie strat cieplnych procesu wypalania (rozbudowa o następne stopnie wymiennika) przy obecnym poziomie technicznym, jest już nieuzasadnione ekonomicznie. W związku z tym, poszukuje innych sposobów ograniczenia kosztów energetycznych, zastępując tradycyjne drogie paliwo - pył węgla kamiennego innym, tańszym paliwem alternatywnym z palnych odpadów przemysłowych i komunalnych. Wykorzystanie paliw alternatywnych pozwoliło na znaczne ograniczenie zużycia w procesie węgla kamiennego - paliwa nieodnawialnego. Oprócz efektów ekonomicznych wynikających z ograniczenia zużycia węgla kosztem wykorzystania tanich paliw alternatywnych, uzyskano dodatkowo obniżenie emisji gazów cieplarnianych, dzięki niższemu wskaźnikowi emisji CO₂ niż ze spalania węgla. Dzięki tym efektom obserwuje się w kraju znaczny postęp w wykorzystaniu w procesie paliw alternatywnych z odpadów. Jeszcze w roku 2000 paliwa alternatywne w przemyśle cementowym w Polsce

zabezpieczały niecałe 2% ciepła w procesie wypalania klinkieru, co sytuowało nas na szarym końcu w Europie. Obecnie, przy średnim ponad 50% (max. ponad 80%) udziale paliw alternatywnych w procesie wypalania należymy do czołówki w Europie i na Świecie. Wzrost wykorzystania paliw z przetworzonych odpadów przemysłowych i komunalnych oprócz wyżej przedstawionych efektów ekonomicznych i ekologicznych, stworzyło duże problemy eksploatacyjne pieców obrotowych. Paliwa te wprowadziły do procesu dodatkowo znaczne ilości składników lotnych - siarki, alkaliów oraz chloru, co wymaga już zastosowania nowego urządzenia w instalacji piecowej tzw. by-passa gazowego. Z eksploatacją instalacji by-passowej związana jest strata ciepła, energii elektrycznej oraz duży problem dotyczący zagospodarowania pyłów zawierających skondensowane składniki lotne. W związku z tym, poszukuje się ciągle nowych technik bocznikowania, które oprócz zwiększenia skuteczności (likwidacja narostów), ograniczą ilość pyłów by-passowych i wielkość strat energetycznych [1, 2].

2. Obieg składników lotnych

Modernizacja pieców i zastosowanie wysokosprawnych wymienników cyklonowych spowodowało, że alkalia, siarka i chlor wprowadzone z surowcem naturalnym i węglem kamiennym do procesu wypalania, zostały dzięki wysokiej sprawności cyklonów i urządzeń odpylających praktycznie zamknięte (brak naturalnego upustu z pyłami w gazach odlotowych) w instalacji piecowej, co sprzyja powstaniu tzw. wewnętrznego obiegu składników lotnych. Wprowadzone do procesu z surowcem - nadawą piecową i paliwem składniki lotne wraz ze wzrostem temperatury (w temperaturach > 1080K), przechodzą ze stanu stałego w lotny reagując w fazie gazowej ze sobą, tworząc siarczany i chlorki alkaliów. Po odparowaniu w strefie spiekania składniki lotne wraz z gazami piecowymi przepływają do zimniejszych stref pieca (wymiennika zewnętrznego), gdzie alkalia kondensują na surowcu w postaci siarczanów lub chlorków i wracają z surowcem do gorących stref pieca, gdzie ponownie przechodzą w stan lotny. Obecność siarki w związkach z alkaliami (K_2SO_4) powoduje obniżenie lotności alkaliów, natomiast obecność chloru (KCl) zwiększa lotność alkaliów. Wpływ chloru na lotność alkaliów przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Wpływ chloru na współczynnik lotności

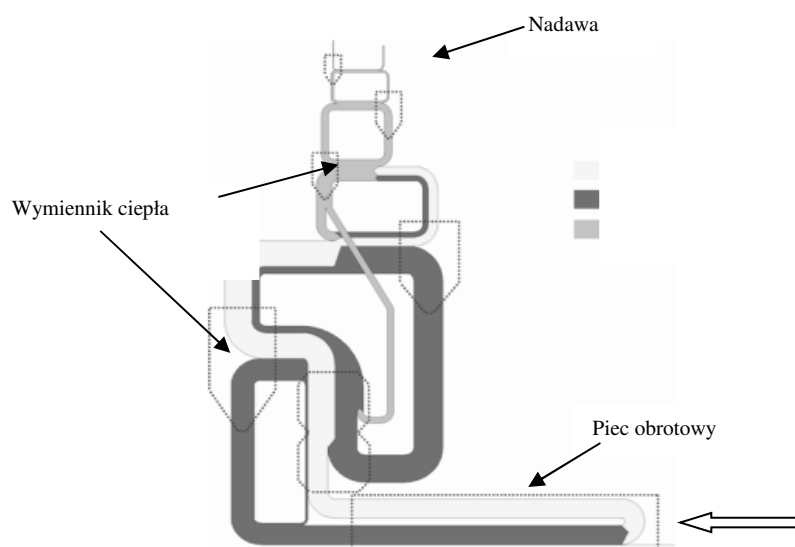
Składnik lotny	Lotność pierwotna bez Cl	Lotność pierwotna w obecności Cl	Lotność wtórna
K_2O	0,4–0,6	0,6–0,8	0,9
Na_2O	0,35–0,50	0,5–0,6	0,8
SO_3	0,9	0,9	0,9
Cl_2	-	1,0	1,0

Źródło: [2]

W wyniku „uszczelnienia” układu piecowego mamy do czynienia z powtarzającym się cyklem odparowanie – kondensacja składników lotnych, co powoduje niebezpieczny wzrost ich zawartości w piecu znacznie przewyższający ich ilość w nadawie i paliwie doprowadzonym do procesu. Skondensowane na pyłach surowca składniki lotne w postaci siarczanów i chlorków tworzą łatwo topliwy eutektyk w układzie trójskładnikowym K_2SO_4 -KCl-CaSO₄, który już w temperaturze 930-980K przechodzi w fazę ciekłą. Utworzona faza ciekła w kontakcie z gorącym surowcem (pyłem) powoduje powstawanie narostów.

Szczególne znaczenie w tworzeniu narostów ma chlor, który charakteryzuje się najwyższą lotnością (> 96%) i niskimi temperaturami sublimacji związków z alkaliami.

Na rysunku 1 przedstawiono na wykresie Sankey'a typowy obieg składników lotnych w instalacji piecowej, na przykładzie obiegu chloru.



Rys. 1. Obieg chloru w instalacji piecowej

Źródło: [3]

Chlorki dzięki niższym temperaturom sublimacji ulegają w strefie spiekania prawie całkowitemu odparowaniu co powoduje, że nie zdążą być związane w klinkierze i częściowo wyprowadzone z nim z procesu. Natomiast związki alkaliów z siarką, która powoduje utrudnienie odparowania siarczanów, sprzyjają wiązaniu alkaliów z klinkierem i częściowemu usuwaniu ich z procesu. Parametrem, który decyduje o zdolności wyprowadzenia alkaliów z klinkierem jest stosunek molowy SO_3 do sumy $Na_2O + K_2O$ wyrażony wzorem, który określany jest modułem siarczanowym:

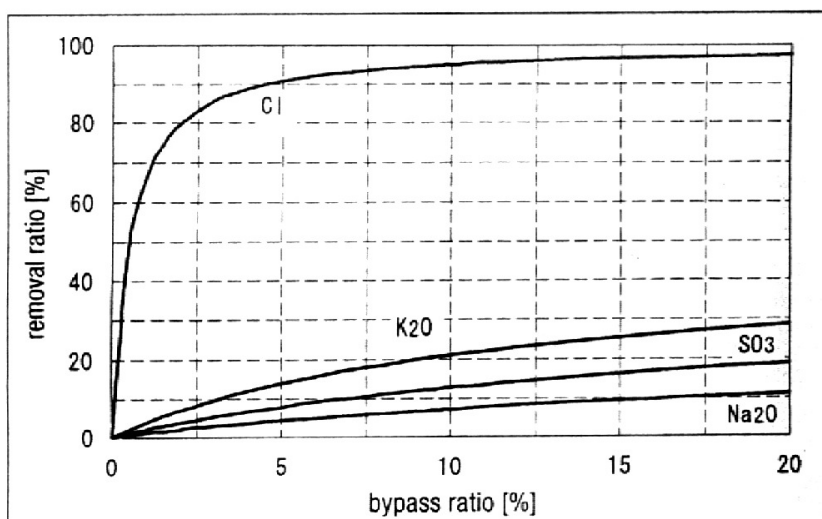
$$W_{SO_3} = (SO_3 / 80) : [K_2O / 94 + Na_2O / 62] \quad (1)$$

W zależności od zawartości siarki (SO_3) w stosunku do zawartości alkaliów możemy mieć do czynienia z narostami alkalicznymi ($W < 1$) lub siarczanowymi ($W > 1$), które są stosunkowo łatwe do usuwania.

Wzrost udziału paliw alternatywnych i wynikający z tego wzrost ilości chloru wprowadzonego do procesu wypalania powoduje, że chlorki stanowią główną przyczynę powstawania narostów i wynikających z tego zakłóceń w procesie. Wpływ chloru na powstanie niebezpiecznych koncentracji składników lotnych spowodował, że we wzorze określającym zdolność wyprowadzenia alkaliów z klinkierem uwzględniono jego udział. Wartość nowego modułu można wyznaczyć z zależności:

$$W_{SO_3} = (SO_3 / 80) : [K_2O / 94 + Na_2O / 62 - 2(CI^- / 35,5)] \quad (2)$$

Jak wynika z danych literaturowych utrzymywanie tego modułu na poziomie od 0,83÷1,0 zabezpiecza teoretycznie proces przed możliwością narastania napieków i wynikających z tego problemów technologicznych. Stosunkowo łatwo można było to uzyskać przy tradycyjnym opalaniu pieców pyłem węgla kamiennego, który zawierał chlor < 0,1%. Szerokie stosowanie paliw alternatywnych o znacznie wyższych zawartościach chloru powoduje, że obecnie jedynym skutecznym sposobem ograniczenia powstawania narostów jest by-pass gazowy często nazywany chlorowym, ze względu na skuteczność redukcji zawartości chloru w piecu. Na rysunku 2 przedstawiono skuteczność redukcji składników lotnych w zależności od wielkości by-passa.



Rys. 2. Stopień usuwania składników lotnych w zależności od wielkości by-passa

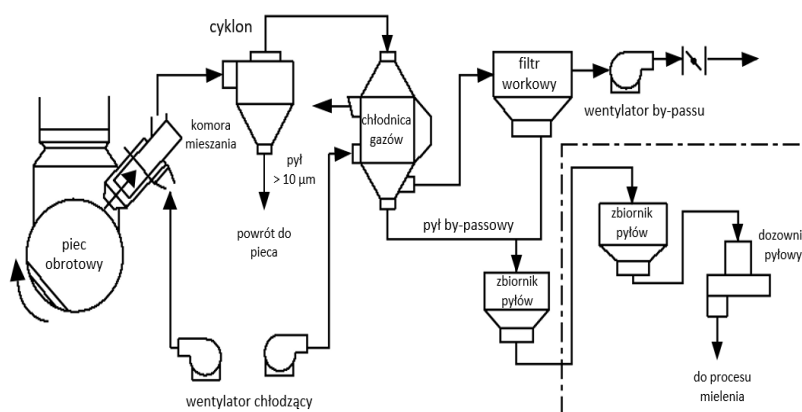
Źródło: [4]

Z przedstawionych danych wynika, że by-pass na szczęście najskuteczniej usuwa z obiegu chlor, który stanowi główne zagrożenie eksploatacyjne pieca. Już 5% by-pass usuwa ponad 85% chloru a tylko 15% potasu (K₂O) i siarki (SO₃). Najmniej skuteczny jest do usuwania sodu.

3. By-pass gazowy

Wysoka sprawność wymiennika ciepła oraz wzrost zużycia paliw alternatywnych w procesie wypalania klinkieru powodują, że nowe energooszczędne linie piecowe muszą być wyposażone w instalację by-passa chlorowego. Zasada działania by-passa polega na wyprowadzeniu z instalacji wypalania klinkieru części gazów pieca (ok. 5÷20%) z pominięciem wymiennika ciepła i szybkim jego schłodzeniu w celu doprowadzenia do kondensacji składników lotnych na pyłach wypalanego surowca oraz wyeliminowania powstawania narostów w instalacji by-passa. Po schłodzeniu i odpyleniu gazów by-

passowych pyły z urządzenia odpylającego magazynowane są w oddzielnym zbiorniku. Zarówno gazy jak i pyły by-passowe stanowią zawsze problem. Gazy by-passa o temperaturze $>450\text{K}$ są najczęściej emitowane do atmosfery lub wykorzystywane w procesach suszenia surowca. Gorzej przedstawia się problem pyłów by-passowych, które tylko w części mogą być wykorzystane jako dodatek do cementu. Znaczna część jest magazynowana w specjalnych silosach i praktycznie czeka na nową technologię, która pozwoli na całkowite ich zagospodarowanie. W związku z tym, jednym z ważniejszych celów przemysłu cementowego jest szukanie nowych energooszczędnych technik by-passa, aby ograniczyć jego wielkość i wynikające z tego straty energetyczne i surowcowe oraz zminimalizować ilość pyłów. Jak wynika z doświadczeń krajowych i zagranicznych każdy 1% upustu gazów piecowych o temperaturze ok. 1300K powoduje straty ciepłe rzędu $7\div 24$ kJ/kg kl. oraz około 1% straty surowca (pyły by-passowe) w odniesieniu do 10% upustu gazów. Oprócz w/w strat cieplnych i surowcowych, które są wynikiem wielkości by-passa, instalacja ta wymaga wielu dodatkowych napędów (wentylator powietrza chłodzącego, odpylacz i transport pyłów czy wentylator by-passa). Wynikający z tego dodatkowy wzrost zużycia energii elektrycznej procesu wypalania określa się na około 3 kWh/Mg kl. Wynika z tego, że instalacja by-passa jest źródłem stosunkowo wysokich strat i wzrostu kosztów produkcji. W związku z tym, poszukiwanie rozwiązań mniej energochłonnych o wyższej sprawności usuwania z procesu składników lotnych i mniejszej stracie pyłowej, jest dzisiaj jednym z ważniejszych zadań w przemyśle cementowym. Na rysunku 3 przedstawiono jedno z takich rozwiązań, które znacznie ograniczyło ilość pyłów by-passowych i poprawiło jego skuteczność.



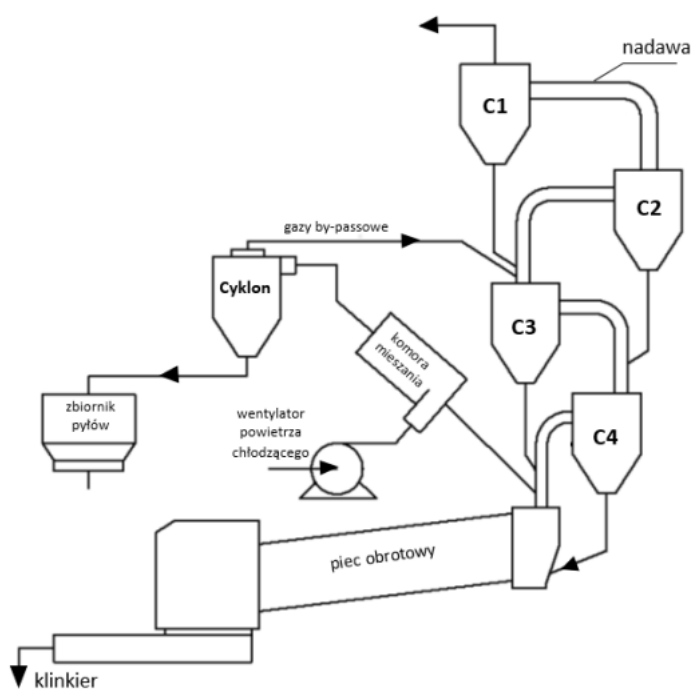
Rys. 3. Schemat instalacji by-passa chlorowego f-my Taiheiyo Cement Corporation
Źródło: [4]

W tej technologii wykorzystano fakt, że najdrobniejsze pyły by-passowe o granulacji $< 10\ \mu\text{m}$ zawierają ponad 85% chloru, resztę zawierają pyły od $10\div 100\ \mu\text{m}$. W związku z tym, po wstępnym schłodzeniu gazów by-passowych powietrzem z otoczenia w komorze mieszania, zostają one odpylone w odpylaczu mechanicznym - cyklonie, który nie jest w stanie odseparować cząstek poniżej $10\ \mu\text{m}$, a które oddzielone zostaną z gazów po wtórnym odpyleniu w filtrze tkaninowym po ich schłodzeniu w chłodnicy gazów do temperatury $< 420\text{K}$ (wynikającej z dopuszczalnej temperatury dla tkaniny filtracyjnej). Pyły po cyklonie,

które stanowią około 70% ilości pyłów by-pasowych zostają bezpośrednio zawrócone do pieca, natomiast drobna frakcja zawierająca ponad 85% chloru i stanowiąca około 30% pyłów, jest całkowicie zagospodarowana jako dodatek do cementu. Jest to z pewnością znacznie efektywniejsze rozwiązanie od dotychczas stosowanych. Wadą jego są również wysokie straty energetyczne.

4. Nowa innowacyjna technika by-passa

Problem ograniczenia strat ciepłych (entalpia gazów i pyłów by-passowych) jest ciągle jeszcze problemem nie rozwiązany. Całe dotychczasowe działania sprowadzają się do ograniczenia wielkości by-passa, co ze względu na zawartość chloru, siarki i alkaliów w surowcu i paliwie, jest ograniczone. Jedną z najskuteczniejszych metod obniżenia kosztów produkcji cementu jest wykorzystanie w procesie wypalania klinkieru paliw alternatywnych, które z kolei jak to wcześniej przedstawiono są głównym źródłem składników lotnych w procesie. Teoretycznie można znaleźć optymalną ilość spalanego paliwa alternatywnego, która pozwoli obniżyć koszty produkcji i zminimalizować wielkość by-passa co w efekcie pozwoli ograniczyć wielkość strat. Takie rozwiązanie wymaga jednak stabilnego składu chemicznego paliwa alternatywnego, co przy różnych dostawcach i stosowanych metodach wytwarzania paliw z odpadów jest praktycznie niemożliwe, a budowanie składowisk homogenizacyjnych nieopłacalne i niebezpieczne (zagrożenie samozapłonu). W związku z tym, szuka się innych sposobów ograniczających straty ciepłe by-passa. Na rysunku 4 przedstawiono jedno z takich rozwiązań, które ma na celu ograniczenie strat ciepłych.

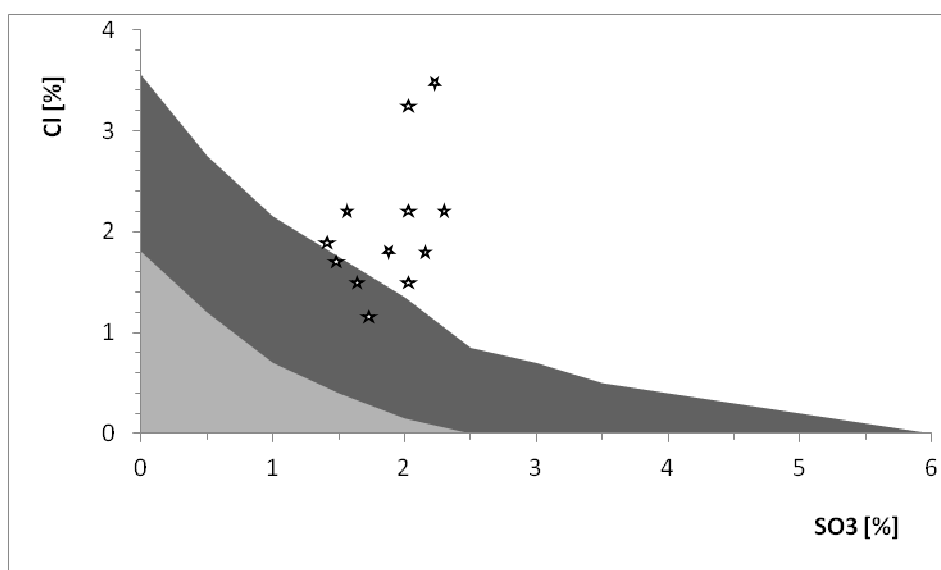


Rys. 4. By-pass ze zwrotem gazów do wymiennika
Źródło: opracowanie własne

W technologii tej gazy by-passa po schłodzeniu w mieszalniku powietrzem z otoczenia i po odpyleniu w cyklonie skierowane są do przewodu łączącego cyklon 2-go stopnia z cyklonem 3-go stopnia wymiennika ciepła [5]. Jest to rozwiązanie sprzeczne z wcześniej przedstawionym na rysunku 3, gdzie dążono do wyeliminowania z procesu najdrobniejszych cząstek pyłów by-passowych zawierających najwięcej chloru. Generalnie w instalacjach tych unika się zawrotu gazów do procesu, aby wyeliminować zagrożenie powstania tzw. zewnętrznego obiegu składników lotnych, który tworzy się przy zwrocie do procesu pyłów z urządzeń odpylających. W nowo budowanych zakładach, gdzie instalacja by-passa jest już uwzględniona w projekcie gazy by-passowe nie wracają do procesu, tylko po dokładnym odpyleniu są emitowane do atmosfery. Z obiegiem zewnętrznym mamy najczęściej do czynienia w modernizowanych zakładach, gdzie ze względu na ograniczone możliwości powierzchniowe i często koszty inwestycyjne wykorzystuje się istniejące w linii technologicznej odpylacze, najczęściej piecowe co może powodować powstanie zewnętrznego obiegu składników lotnych. Przedstawione na rysunku 4 rozwiązanie jest przykładem takiego obiegu. Gazy by-passa po mechanicznym odseparowaniu pyłów w cyklonie zawierające praktycznie całą drobną frakcję $<10\ \mu\text{m}$, którą cyklon nie jest w stanie oddzielić z gazów, są w całości zawracane do procesu tworząc obieg zewnętrzny składników lotnych. Zawarte w tych pyłach skondensowane składniki lotne a zwłaszcza chlor znacznie przekraczają ich udział w pozostałych pyłach, które nie wracają już do pieca, tylko są zagospodarowane w cemencie lub składowane. Stworzony obieg zewnętrzny obniża skuteczność usuwania składników lotnych z procesu w związku z czym zakład ratuje się stosowaniem większego by-passa, co w konsekwencji powoduje wzrost strat energetycznych i surowcowych oraz problemy technologiczne. Problematyczny jest też zakładany odzysk ciepła z tych gazów. Po cyklonie by-passa gazy o temperaturze około 500K wprowadzone zostają do strumienia gazów piecowych o wyższej temperaturze, około 800K w związku z czym występuje schłodzenie gazów przed wlotem do 2 stopnia wymiennika, co w konsekwencji powoduje spadek temperatury materiału po tym stopniu i w efekcie końcowym obniżenie temperatury materiału na wlocie do pieca. Dodatkowym problemem, który jest efektem zawrotu gazów by-passowych do wymiennika ciepła, jest wzrost ilości gazów w wymienniku o ilość powietrza schładzającego gorące gazy o temperaturze około 1300K do temperatury poniżej 500K. Ze względu na wymagane szybkie schłodzenie gazów, aby zabezpieczyć instalację by-passa przed zarastaniem, udział powietrza chłodzącego jest znaczny. Wynikający z tego wzrost ilości gazów powoduje zwiększenie prędkości gazów na wlocie do cyklonów 2 i 1 stopnia, wynikiem czego nastąpi wzrost oporów hydraulicznych wymiennika, co może ograniczyć możliwości regulacyjne procesu spalania paliwa w piecu oraz zwiększenie zużycia energii. Dużym problemem tego rozwiązania, jest również znaczna ilość pyłów by-passowych, które trudno zagospodarować w cemencie.

Podobne rozwiązanie zastosowano na zmodernizowanym piecu obrotowym w Cementowni Odra. Decyzja o zastosowaniu takiego rozwiązania wynikała z ograniczeń wynikających z braku wolnej powierzchni po modernizacji pieca i zabudowaniu dodatkowych urządzeń oraz ze stosunkowo niskich kosztów takiej instalacji. Wyeliminowanie odpylacza gazów by-passa oraz założony odzysk ciepła z tych gazów były dodatkowym argumentem przemawiającym za takim rozwiązaniem. Dotychczasowa eksploatacja by-passa nie tylko potwierdziła wyżej wymienione zastrzeżenia, ale również niską skuteczność usuwania składników lotnych z procesu, a zwłaszcza chloru. O skuteczności by-passa i możliwości wyeliminowania powstawania narostów, decyduje zawartość siarki i chloru w gorącej mące na wlocie do pieca. Na wykresie (rys. 5) przedstawiono kilka pomiarów zawartości chloru i siarki w gorącej mące na wlocie do pieca.

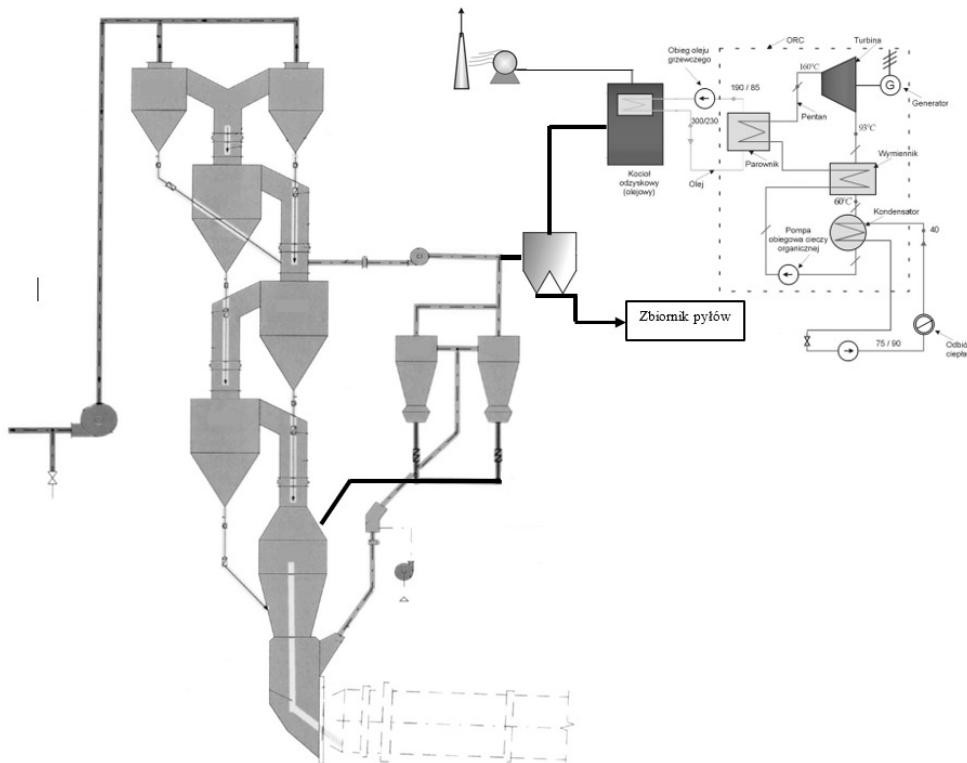
Na tzw. trójkącie: chlor – siarka (zawartość Cl i SO₃ w gorącej mące na wlocie do pieca) wydzielono 3 obszary o różnej skłonności do tworzenia narostów w instalacji piecowej [6]. Obszar ograniczony zawartością chloru (Cl<1,8%) i siarki (SO₃<2,5%) charakteryzuje się bezpieczną eksploatacją pieca bez skłonności do tworzenia narostów. Obszar o zawartości Cl<3,5% i SO₃<5,2% charakteryzuje się już tendencją powstawania narostów, które jednak można metodami technologicznymi eliminować. Ostatni obszar ograniczony zawartościami Cl>3,5% i SO₃>5,2% jest narażony na zarastanie instalacji trudne do opanowania.



Rys. 5. Tendencje powstawania narostów w zależności od zawartości chloru i siarki
Źródło: pracowanie własne na podstawie [6]

Z przedstawionych danych wynika, że ten sposób usuwania składników lotnych do poziomu bezpiecznego nie spełnia swojego zadania. Przez większość czasu pracy zawartości Cl i SO₃ znacznie przekraczają dopuszczalne wartości. Aby wyeliminować niebezpieczeństwo tworzenia się narostów prowadzi się piec z większym upustem gazów, co powoduje oprócz wzrostu zużycia ciepła, kłopoty eksploatacyjne wynikające ze wzrostu ilości gazów procesowych. Zwiększa się również częstotliwość zrywania narostów pulsatorami powietrznymi, co dodatkowo wpływa na ilość gazów procesowych. Dyskusyjny jest również odzysk ciepła w wyniku zawrotu gazów by-passa do procesu. W związku z tym, poszukuje się nowego rozwiązania tej instalacji, które oprócz zwiększenia skuteczności usuwania chloru pozwoli na obniżenie ilość pyłów by-passowych i zmniejszyć straty energetyczne.

Nowe innowacyjne rozwiązanie przedstawiono na schemacie technologicznym na rysunku 6. W celu ograniczenia kosztów modernizacyjnych wykorzystuje się w całości istniejącą instalację by-passa dobudowując do niej nowe urządzenia.



Rys. 6. Schemat nowej techniki by- passa z nadbudową WHR-ORC
 Źródło: opracowanie własne

Zasadnicza różnica polega na całkowitym wyeliminowaniu zwrotu gazów z by-passa do układu piecowego. Zmienia się również zwrot pyłów po istniejącym cyklonie odpylającym gazy po komorze chłodzącej. Pyły z cyklonu, które dotychczas magazynowane były w zbiorniku zostały bezpośrednio skierowane do komory wzniosowej łączącej wylot z pieca z wymiennikiem cyklonowym. Natomiast gazy po istniejącym cyklonie zostaną oczyszczone w dodatkowym odpylaczu o wysokiej sprawności i następnie wykorzystane w instalacji WHR (ang. Waste Heat Recovery - odzysku ciepła odpadowego).

Z doświadczeń własnych i z danych literaturowych wynika, że jedynym skutecznym sposobem ograniczenia strat energetycznych by-passa jest minimalizacja upustu gazów z procesu. Ponieważ wielkość upustu zależy od zawartości składników lotnych (głównie chloru) w związku z tym, przy prawidłowo zaprojektowanej instalacji możliwości ograniczenia są praktycznie zerowe. W przedstawionym na rysunku 6 rozwiązaniu zmieniono podejście do problemu ograniczenia strat by-passa w ten sposób, że entalpia tych gazów wykorzystana jest do wytworzenia dodatkowej energii elektrycznej, która ma pokryć straty wynikające z pracy tego układu. W związku z tym, dobudowany zostanie odpylacz o sprawności >99%. Pyły z tego odpylacza ze względu na znacznie mniejszą ilość zostaną całkowicie zagospodarowane w cemencie, natomiast oczyszczone gazy skierowane zostaną do wymiennika ciepła układu WHR. Ze względu na stosunkowo niską temperaturę gazów po by-passie (ok. 550K) do wytworzenia energii elektrycznej zastosowany zostanie obieg ORC (Organic Rankine'a Cycle) lub cykl Kaliny [7]. Ze wstępnych analiz i obliczeń wielkości

mocy wytwarzanej energii z entalpii gazów by-passowych wynika, że 5% upust gazów pozwoli wyprodukować energię, która całkowicie zabezpieczy zapotrzebowanie na energię przez instalację by-passa.

4. Podsumowanie

Obserwowany w ostatnim okresie wzrost udziału paliw alternatywnych w procesie wypalania klinkieru, jest jedną z zasadniczych przyczyn powstawania niebezpiecznych technologicznie narostów w instalacji nowoczesnego pieca z wielostopniowym wymiennikiem ciepła. W związku z tym, wymagane jest wyposażenie instalacji piecowej w układ by-passa chlorowego. Jak wynika z danych dotyczących pracy instalacji by-passowych, stwarzają one istotne problemy eksploatacyjne, które dotyczą głównie strat cieplnych oraz problemów wynikających z pozostałości pyłów by-passowych, trudnych do zagospodarowania. Przedstawiony w artykule sposób wykorzystania entalpii gazów by-passa oraz sposób odpylenia, pozwala na znaczny zwrot pyłów do procesu i wytworzenie dodatkowej czystej energii bez dodatkowego spalania paliwa, która nie tylko zabezpieczy pracę urządzeń instalacji by-passa. Tak jak każda nowa technika, rozwiązanie to wymagać będzie dodatkowych badań między innymi dotyczących wyznaczenia najkorzystniejszego dla danego pieca wielkości upustu gazów uwzględniając straty cieplne i moc wytwarzanej energii.

Literatura

1. Duda J.; Energooszczędne i proekologiczne techniki wypalania klinkieru cementowego. Prace IMMB, Opole 2004
2. Kalinowski W., Janecka L.; Zakłócenia procesu wypalania klinkieru przy zwiększonym udziale paliw alternatywnych, Prace ICiMB nr15/2013
3. Jřns E., Hundebřl S., Clausen K.; New reasons for installing a chloride by-pass interaction between chloride and sulphur, FLS , 2008 IEEE
4. Sutou K., Harada H., Ueno N .; New chloride bypass system for stable kiln operation and recycling of waste, ZKG INTERNATIONAL No.3/2001,p.121-127,
5. Maury H.D., Pavenstedt R.G.; Chlor-Bypass zur Erhöhung des Brennstoffeinsatzes aus Mull beim Klinkerbrennen, Zement-Klak-Gips No11/1988, s.540-543,
6. Schoffmann H., Gas-Bypass-Anlagen zur Beherrschung von Chlorid-Kreislaufen im Zementwerk, materiały Lafarge CTEC, Wien,
7. Tomasiak J., Duda J., Poprawa efektywności energetycznej procesów technologicznych poprzez zastosowanie układu ORC, „Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji” pod redakcją R. Knosali, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystw Zarządzani Produkcją, Opole 2016, s. 514-523.

Dr hab. inż. Jerzy DUDA, prof. PWSZ w Nysie
Instytut Nauk Technicznych
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nysie
48-300 Nysa, ul. Armii Krajowej 7
tel.: (0-77) 409 11 55
e-mail: jerzy.duda@pwsz.nysa.pl

Mgr inż. Wojciech PUTRA
Cementownia Odra
e-mail: wputra@odrasa.com.pl