

*FRANCISZEK SŁADECZEK**
*JAROSŁAW TREMBACZ***

Możliwości wprowadzenia techniki spalania oxyfuel w piecach obrotowych do wypalania klinkieru

W artykule skupiono się nad możliwością wprowadzenia techniki spalania oxyfuel (spalanie w atmosferze wzbogaconej tlenem) w piecach obrotowych do wypalania klinkieru. Przedstawiono koncepcję techniczno-technologiczną wypalania klinkieru cementowego w piecach obrotowych techniką oxyfuel. Wykonano podstawowe obliczenia technologiczne dotyczące wypalania techniką oxyfuel oraz oceniono koszty prowadzenia wypalania klinkieru tą techniką.

1. Wprowadzenie

Radykalnym rozwiązaniem ograniczającym emisję CO₂ mogą być przyszłościowe technologie zeroemisyjne, polegające na zastosowaniu sekwestracji CO₂ (z ang. metoda CCS – wychwycenie oraz składowanie dwutlenku węgla). Dla efektywnego wprowadzenia sekwestracji w procesie wypalania klinkieru konieczne jest zastosowanie techniki spalania w atmosferze wzbogaconej tlenem oxyfuel. Właśnie oxyfuel są obiecującymi, przełomowymi technikami, które mogą przyczynić się do stopniowej redukcji kosztów procesu sekwestracji CO₂. Jednak pierwszym i niezbędnym krokiem do wprowadzenia techniki zeroemisyjnej przy wypalaniu klinkieru jest opracowanie i zastosowanie techniki oxyfuel w skali pilotowej.

Technika ta daje nowe możliwości zwiększenia sprawności energetycznej oraz obniżenia emisyjności procesu wypalania klinkieru, które to możliwości w stosowanej obecnie technologii, nawet na poziomie BAT – najlepszych dostępnych technik – są już praktycznie wyczerpane.

* Dr inż., Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych, Oddział Inżynierii Materiałowej, Procesowej i Środowiska w Opolu.

** Dr inż., Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych, Oddział Inżynierii Materiałowej, Procesowej i Środowiska w Opolu.

2. Spalanie w atmosferach modyfikowanych O₂

W ostatnim czasie, szczególnie w aspekcie redukcji emisji CO₂ do atmosfery, coraz więcej uwagi poświęca się technologii spalania w mieszaninach gazowych wzbogaconych tlenem. Sposób ten został zapoczątkowany głównie w hutnictwie i metalurgii, gdzie szczególnie ważne jest szybkie nagrzewanie metalu i surówki do bardzo wysokich temperatur [1].

Duże zainteresowanie spalaniem w procesie oxyfuel wynika przede wszystkim z jego kluczowych zalet, które na dzień dzisiejszy zaliczane są do przyszłościowych technologii spalania, określanych jako czyste. Argumentami działającymi na korzyść spalania w atmosferach modyfikowanych O₂ jest na pewno obniżenie emisji substancji szkodliwych wytwarzających się w trakcie spalania, podniesienie sprawności konwersji energii oraz możliwość w dalszym etapie bezpośredniej sekwestracji CO₂.

Wśród skutków wynikających ze spalania w procesie atmosfery wzbogaconej tlenem (AWT) na szczególną uwagę zasługują:

- obniżenie emisji substancji szkodliwych głównie NO_x [3–5],
- zwiększenie efektywności separacji CO₂ ze spalin spowodowane zwiększonym stężeniem tego gazu w spalinach [3],
- wzrost sprawności kotła w wyniku obniżenia strat niecałkowitego i niepełnego spalania [2–3],
- zmniejszenie wymiarów komory spalania [5–6],
- polepszenie warunków wypalania się paliwa [7],
- zwiększenie obciążenia komory paleniskowej [6],
- zmniejszenie objętości gazów spalinowych, a co za tym idzie zmniejszenie straty kominowej.

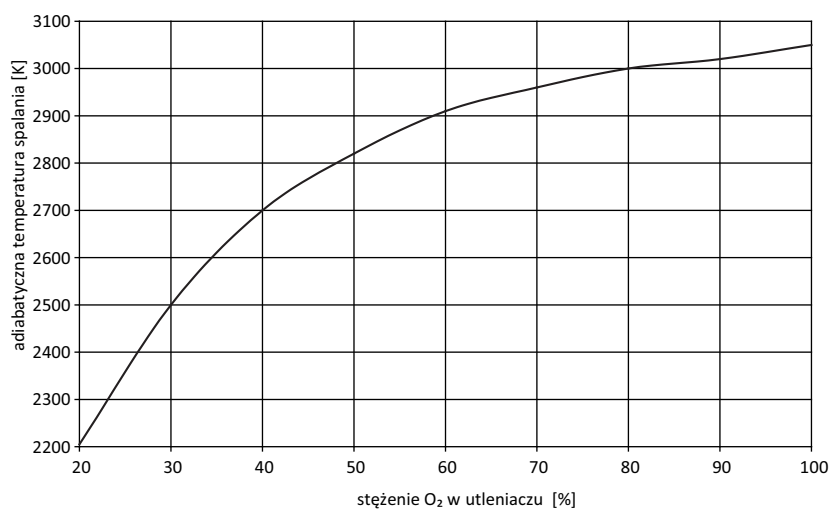
Wzbogacenie powietrza w tlen może się odbywać na kilka sposobów, uzależnionych od ilości dodawanego tlenu w stosunku do wymaganego powietrza w procesie spalania. Proces ten może być prowadzony w następujący sposób:

- dodawanie O₂ do dysz doprowadzających powietrze do komory spalania (wzbogacenie tlenowe),
- wtryskiwanie O₂ do płomienia (O₂),
- dostarczanie osobno powietrza i czystego tlenu do komory spalania (spalanie powietrzno-tlenowe),
- zastępowanie powietrza czystym tlenem (spalanie tlenowe).

Zwiększenie stężenia tlenu w utleniaczu nie jest bez znaczenia dla adiabatycznej temperatury spalania paliwa, co więcej powoduje jego wyraźny wzrost.

Na rycinie 1 przedstawiono wzrost adiabatycznej temperatury spalania w zakresie stechiometrycznym w przypadku spalania węgla pierwiastkowego. Widać na nim gwałtowny wzrost adiabatycznej temperatury spalania, szczególnie w niskim zakresie wzbogacenia w tlen ($\Omega < 0,30$), który przypada na stężenie tlenu w utleniaczu w zakresie od 21 do 50%. Wraz z dalszym zwiększeniem się stężenia tlenu wzrost temperatury spalania nie jest już taki gwałtowny.

Murphy i inni [12] podają, że wzrost stężenia tlenu w mieszaninie utleniającej z 6 do 36% powoduje wzrost temperatury ziaren pyłu węglowego w trakcie jego spalania odpowiednio z 1800 K do 2400 K oraz dwukrotne skrócenie czasu spalania.



Ryc. 1. Adiabatyczna temperatura płomienia w funkcji zawartości tlenu na przykładzie stechiometrycznego spalania węgla pierwiastkowego [8]

W chwili obecnej największym problemem w upowszechnianiu technologii spalania w tlenie są wysokie koszty uzyskiwania czystego tlenu. Olbrzymi postęp w tej dziedzinie dokonał się ostatnio w technice separacji membranowej oraz PSA i TSA z użyciem zeolitów, jak również zintegrowanej adsorpcji PTSA i adsorpcji pod obniżonym ciśnieniem VSA. Nadal jednak słaba selektywność metod membranowych wymaga zwykle kilkukrotnej recyrkulacji gazów przez membranę lub zastosowania kilkustopniowej separacji. Całość pomnaża koszty i energochłonność rozwiązania, a mimo wszystko czystość otrzymywanych gazów jest tu zdecydowanie niższa w porównaniu z innymi technikami. Popularność zyskują też metody adsorpcyjne (gdzie do separacji dwutlenku węgla stosuje się coraz częściej zeolity o różnym składzie chemicznym) oraz procesy absorpcji gazów [2]. Proponuje się także metodę kriogeniczną do prowadzenia procesu separacji

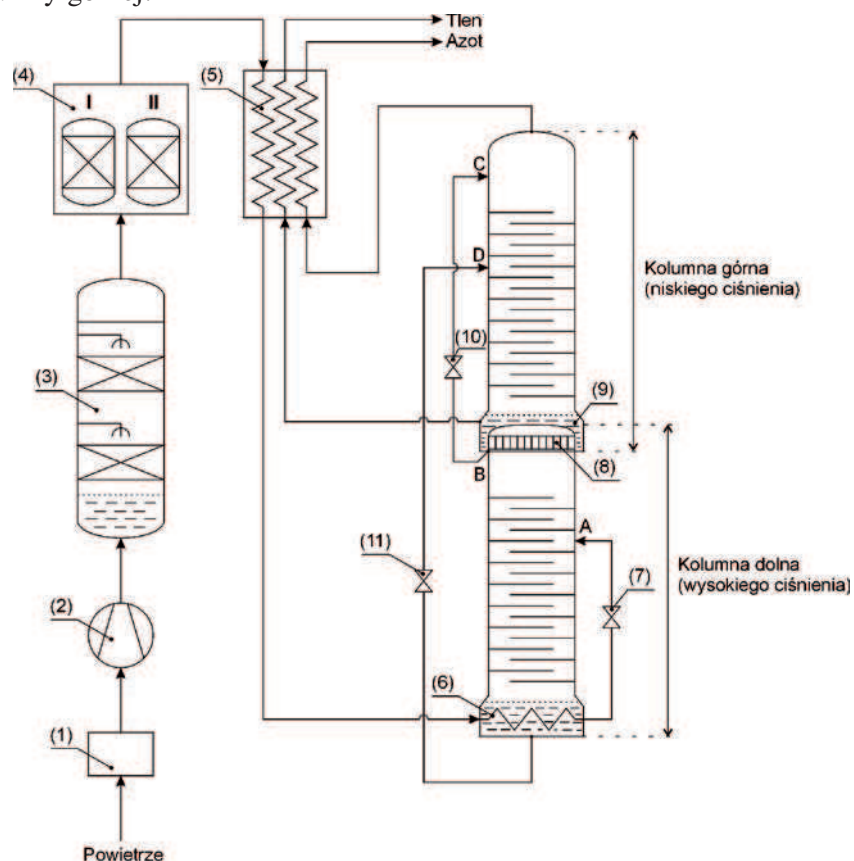
tlenu z powietrza. Na dzień dzisiejszy czystość tlenu otrzymywanego przez separację powietrza sięga już 95,0% – dla metod adsorpcyjnych oraz 99,9% – dla metody kriogenicznej [8]. Najmniej inwazyjnym sposobem dostarczania tlenu do procesu jest magazynowanie go w zbiornikach buforowych na terenie zakładu oraz wykorzystanie do tego celu cystern, sposób ten może być jednak wykorzystywany tylko w przypadku małego zapotrzebowania na O_2 .

Optymistyczne jest to, że tendencja kosztów wytwarzania czystego tlenu jest spadkowa, aby jednak spalanie w warunkach zwiększonego stężenia tlenu stało się konkurencyjne, koszty muszą osiągnąć odpowiednio niski poziom.

3. Proces separacji tlenu z powietrza

Schemat procesu technologicznego separacji powietrza z wykorzystaniem podwójnej kolumny Lindego przedstawiony jest na rycinie 2. Powietrze atmosferyczne zasysane jest przez filtr powietrza (1), w którym zostają usunięte cząsteczki kurzu i innych zanieczyszczeń. Oczyszczone powietrze jest następnie sprężane (2) i kierowane do członu chłodzenia (3), gdzie przechodzi przez pokłady, na których płukanie powietrza wodą powoduje jego ochłodzenie. W procesie płukania z powietrza usuwane są szkodliwe składniki, takie jak: SO_2 , SO_3 , NH_3 . Pozostałe zanieczyszczenia powietrza, takie jak: para wodna, CO_2 , N_2O i węglowodory są adsorbowane za pośrednictwem przepuszczającego powietrze jednego z dwóch pracujących naprzemiennie adsorberów z sitami molekularnymi (4). Gdy jeden adsorber pracuje, to druga jednostka jest w stanie regeneracji. Suche i czyste powietrze po schłodzeniu w rekuperacyjnym wymienniku ciepła (5) kierowane jest przez wężownicę (6), znajdującą się w zbiorniku cieczy (parowaczu) kolumny dolnej, do zaworu (7), gdzie zostaje zdławione do ciśnienia kolumny dolnej, a następnie doprowadzone do punktu A. W wyniku izobarycznego oziębiania, w rekuperatorze i wężownicy parowacza, temperatura powietrza znacząco się obniża, a wskutek dławienia następuje jego częściowe skroplenie. Otrzymana mieszanina cieczowo-parowa zostaje rozdzielona w kolumnie dolnej w taki sposób, że pary azotu zanieczyszczone tlenem zajmują jej górną część, natomiast ciecz o dużej zawartości tlenu zbiera się w zbiorniku parowacza. Ponieważ w kolumnie dolnej panuje ciśnienie wyższe od ciśnienia kolumny górnej, stąd w skraplaczu kolumny dolnej (8), w wyniku oziębiania par azotu ciekłym tlenem parownika kolumny górnej (9), następuje skroplenie par ciekłego azotu. Zgromadzona w punkcie B mieszanina ciekłego azotu i tlenu zostaje zdławiona w zaworze (10) do ciśnienia kolumny górnej i podana do punktu C w celu dalszej separacji. Ciecz o dużej zawartości tlenu z parowacza kolumny dolnej zostaje zdławiona w zaworze (11) do ciśnienia kolumny górnej i dostarczona do punktu D, gdzie następuje całkowite rozdzielenie par azotu od ciekłego tlenu. Ciekły tlen o czystości 95,0–99,8% gromadzony jest w paro-

waczu kolumny górnej, skąd kierowany jest do wymiennika ciepła, gdzie przechodzi w stan gazowy. Azot w postaci gazowej odbierany jest z wyższej części kolumny górnej.



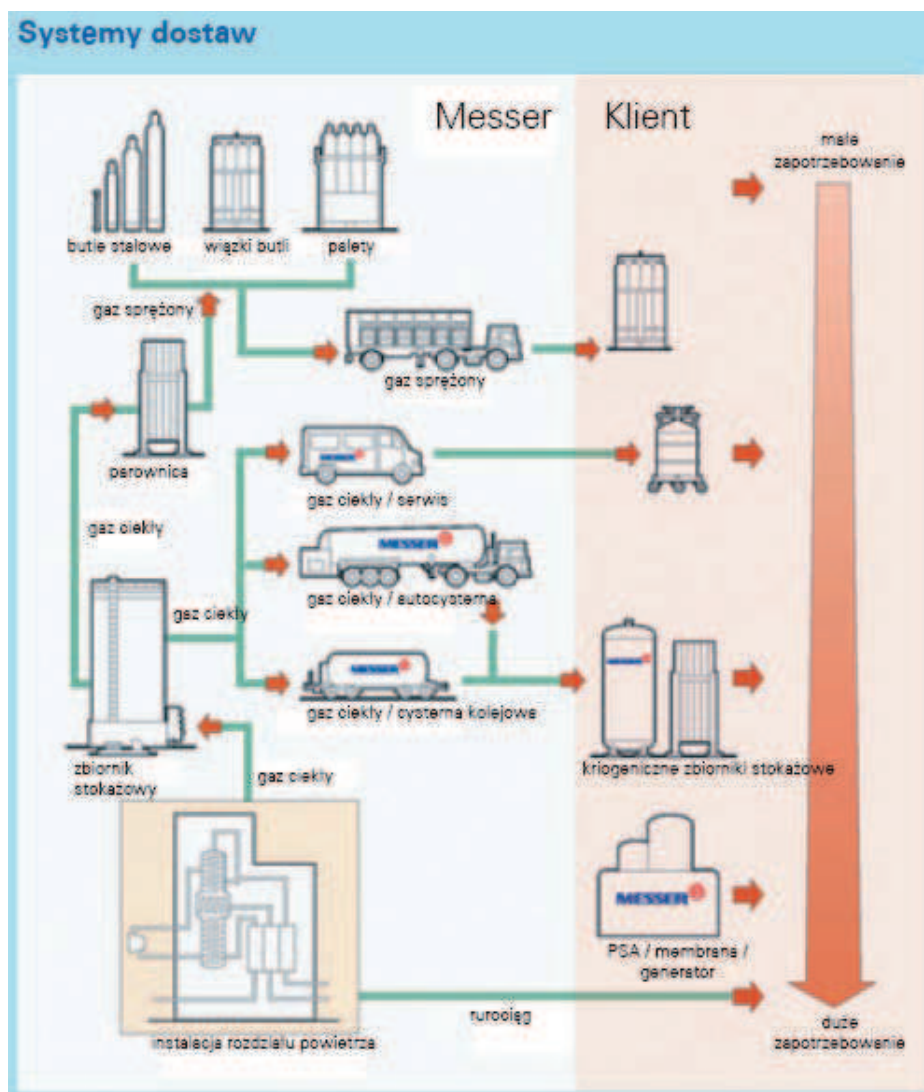
Ryc. 2. Schemat procesu technologicznego Lindego separacji powietrza

Firma Messer Sp z o.o. [9] gwarantuje pewne, a przy tym ekonomiczne zaopatrzenie w tlen, dostosowane do konkretnych warunków. W przypadku pieca szklarskiego możliwe są następujące sposoby zaopatrzenia:

- dostawa ciepłego tlenu samochodem cysterną,
- produkcja tlenu na miejscu (*on site*) z systemem rezerwowym opartym na tlenie ciekłym.

Dotychczas najczęściej stosowanym sposobem zaopatrzenia w tlen, wykorzystywanym przy średnim i dużym zużyciu, było dostarczanie i magazynowanie go w stanie ciekłym (LOX). W przypadku dużego, ciągłego zużycia tlenu eko-

nomicznie uzasadnione jest jednak wytwarzanie tlenu w instalacjach zamontowanych na miejscu (*on site*). Dla każdego rodzaju zaopatrywania w gazy Messer oferuje indywidualne doradztwo, mające na celu znalezienie idealnego rozwiązania dla każdego użytkownika. Z reguły wszystkie urządzenia zaopatrujące oferowane są na zasadzie dzierżawy. Messer przejmuje wówczas obowiązki konserwacji oraz nadzoru nad bezpieczeństwem technicznym urządzeń, jak również gwarantuje ciągłość dostaw z systemu rezerwowego.



Ryc. 3. Systemy dostaw ciekłego tlenu przez firmę Messer [9]

Oszczędność dzięki zastosowaniu tlenu wysokiej jakości

Częściowe lub wyłączne zastosowanie palników tlenowo-paliwowych ma uzasadnienie ekonomiczne zawsze wtedy, kiedy powoduje:

- wyraźny wzrost produkcji dziennej,
- spadek zużycia paliwa,
- obniżenie emisji NO_x ,
- zmniejszenie objętości gazów spalinowych,
- uniknięcie kosztów inwestycji w regeneratory lub rekuperatory,
- podniesienie jakości produktu.

W przypadku zwiększania ilości tlenu w sposób konwencjonalny, w zależności od rodzaju pieca oraz lokalnych warunków, może on być podawany poprzez lance przy użyciu jednej z następujących metod:

- wzbogacenie powietrza spalania w tlen,
- bezpośrednie wtryskiwanie tlenu do płomienia paliwowo-powietrznego,
- wprowadzenie strumienia tlenu pod płomień paliwowo-powietrzny.

4. Koncepcja instalacji wypalania klinkieru techniką oxyfuel

Koncepcja pilotowej instalacji wypalania klinkieru techniką zeroemisyjną (wypalanie wzbogaconym tlenem tzw. oxyfuel + separacja CO_2 z gazów odlotowych) przedstawiona jest na schemacie technologicznym (ryc. 4). Zasadniczymi elementami tej koncepcji jest wyposażenie linii piecowej wypalania klinkieru w instalację spalania paliw w atmosferze wzbogaconej tlenem oraz separacji oczyszczonego CO_2 z gazów odlotowych.

Na omawianej rycinie 4 przedstawiono instalację tlenową 1 opartą o bieżące dostawy ciekłego tlenu autocysternami z firmy zewnętrznej. Na terenie cementowni wymagany jest zbiornik buforowy (w dzierżawie od dostawcy tlenu), inwestycji wymaga zainstalowanie komory rozprężnej tlenu oraz jego sieci przesyłowej 2 na palniki pieca. W omawianym przypadku pieca z wymiennikiem cyklonowym, kalcynatorem i rurociągiem III powietrza tlen do spalania może być podawany: do palnika głównego, do palnika II kalcynatora lub do rurociągu III powietrza. Sam proces wypalania klinkieru w piecu obrotowym odbywa się w sposób typowy – paliwo podstawowe w postaci pyłu węglowego podawane jest do palników poprzez układy ważaco-dozujące 3 oraz 4. Na oba palniki mogą być także dozowane paliwa zastępcze w postaci biomasy, czy też paliw alternatywnych 191210. Gazy odlotowe z pieca, o podwyższonej koncentracji CO_2 , kierowane są wentylatorem wyciągowym 5 poprzez układ odpylania 6 do instalacji separa-

cji czystego dwutlenku węgla 7. Wentylator 5 może pracować także w układzie recyrkulacji części gazów odlotowych na wymiennik cyklonowy, jeżeli wymaga tego utrzymanie odpowiednich prędkości gazów na wymienniku.

W proponowanej koncepcji przedstawionej na rycinie 4 przyjęto układ separacji CO₂ metodą absorpcji fizycznej, co ma swoje uzasadnienie zarówno techniczne (koncentracja CO₂ nie przekracza 50%), jak i ekonomiczne (koszt urządzeń). Gazy spalinowe po procesie absorpcji (bez dwutlenku węgla) kierowane są kominem do atmosfery, natomiast desorbowany CO₂ po skropleniu może zostać zdeponowany, np. w złożach geologicznych.

Podstawowe obliczenia technologiczne instalacji pilotowej wypalania klinieru techniką oxyfuel

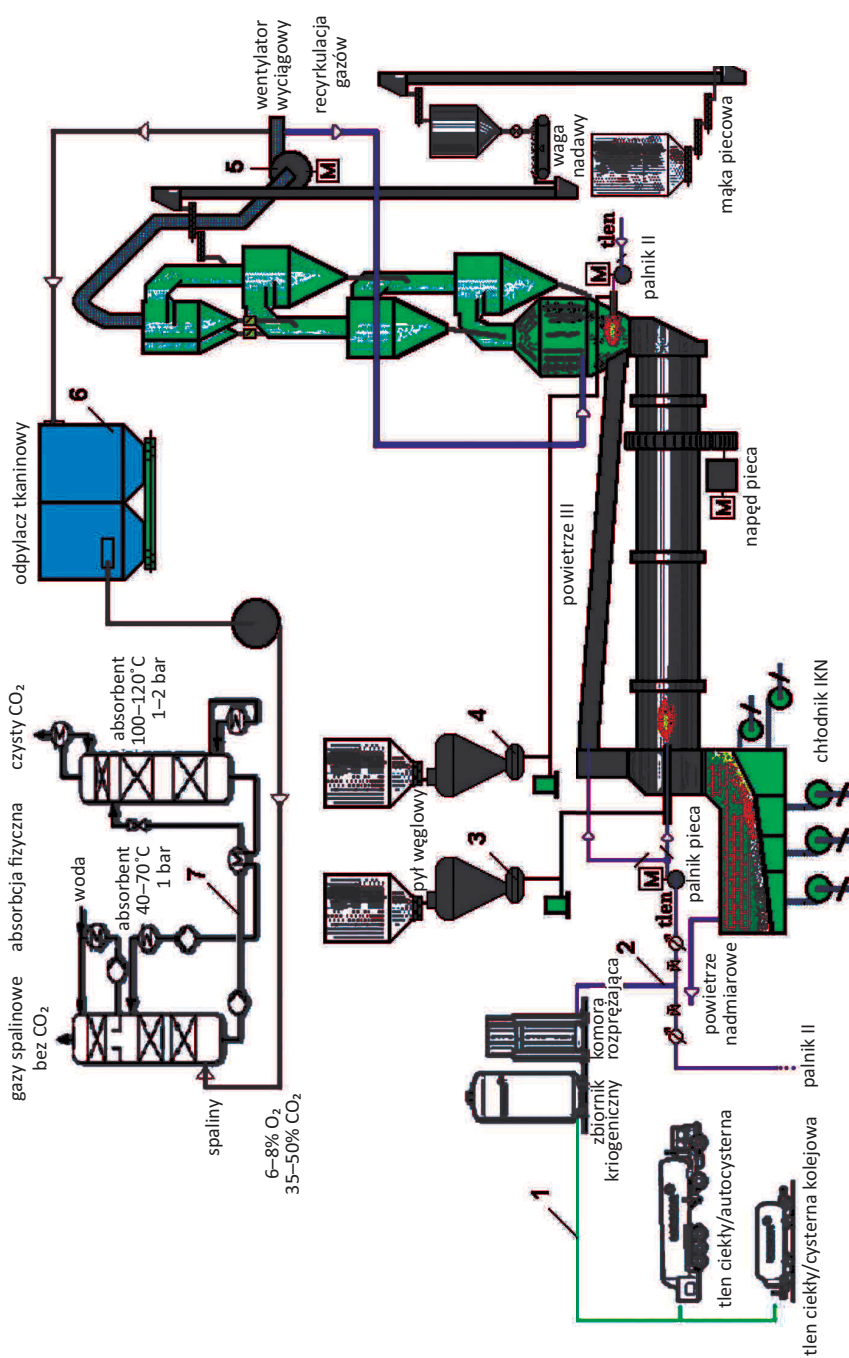
Do obliczeń technologicznych instalacji pilotowej przyjęto rzeczywisty piec metody suchej z 4-stopniowym wymiennikiem ciepła i kalcynatorem typu AT o aktualnej wydajności nominalnej 1090 ton/dobę. Schemat technologiczny linii przedstawiono na rycinie 4.

Przy symulacjach obliczeniowych przyjęto stały strumień paliwa, zarówno do palnika pieca, jak i kalcynatora przy zmieniającym się udziale tlenu na palniku pieca (wprowadzanym w miejsce powietrza pierwotnego) w zakresie od 21 do 100%. Udział tlenu w całkowitej ilości powietrza spalania (palnik pieca + palnik kalcynatora) zawiera się w zakresie od 21 do 30% tlenu.

Symulacja obliczeniowa pracy pieca polega na zwiększaniu ilości nadawy piecowej, aż do momentu całkowitego zbilansowania się przychodu i rozchodu ciepła.

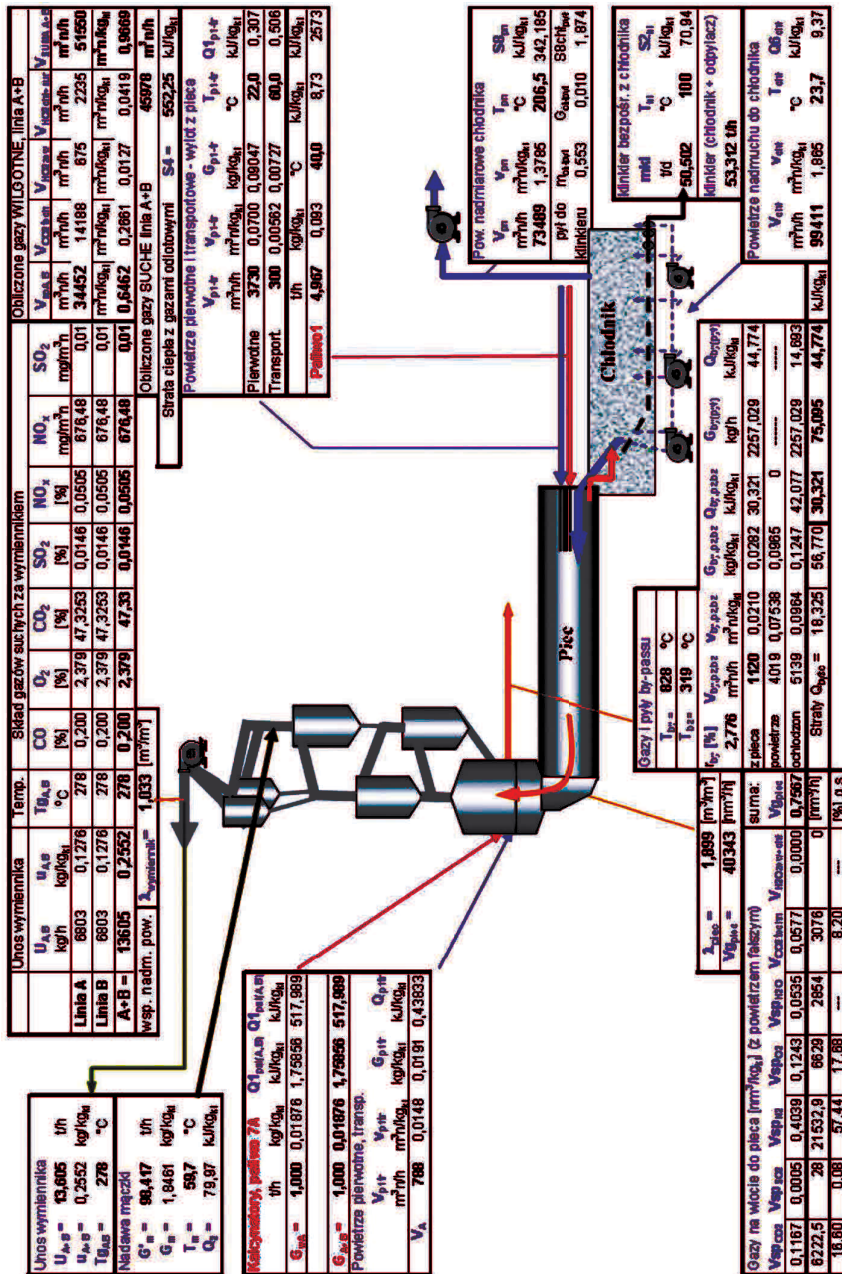
W obliczeniach brano pod uwagę wpływ udziału tlenu w palniku na następujące parametry:

- wydajność pieca,
- strumień gazów piecowych i odlotowych,
- strumień ciepła,
- udział CO₂ w gazach,
- temperaturę płomienia,
- temperaturę i strumień powietrza wtórnego i nadmiarowego.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 4. Koncepcja wypalania klinkieru techniką zeroemisyjną w piecu obrotowym z wymiennikiem cyklonowym



Źródło: Jak w ryc. 4.

Ryc. 5. Parametry technologiczne linii wypału klinkieru dla 100% zawartości tleny na palmiku głównym

Na rycinie 5 – schemacie technologicznym – wyszczególniono parametry obliczeniowe pracy pieca przy wypalaniu techniką oxyfuel dla 100% udziału tlenu w powietrzu pierwotnym.

Zmianę podstawowych parametrów pracy pieca wraz ze wzrostem udziału tlenu na palniku głównym od 21 do 100% przedstawiono w tabeli 1.

T a b e l a 1

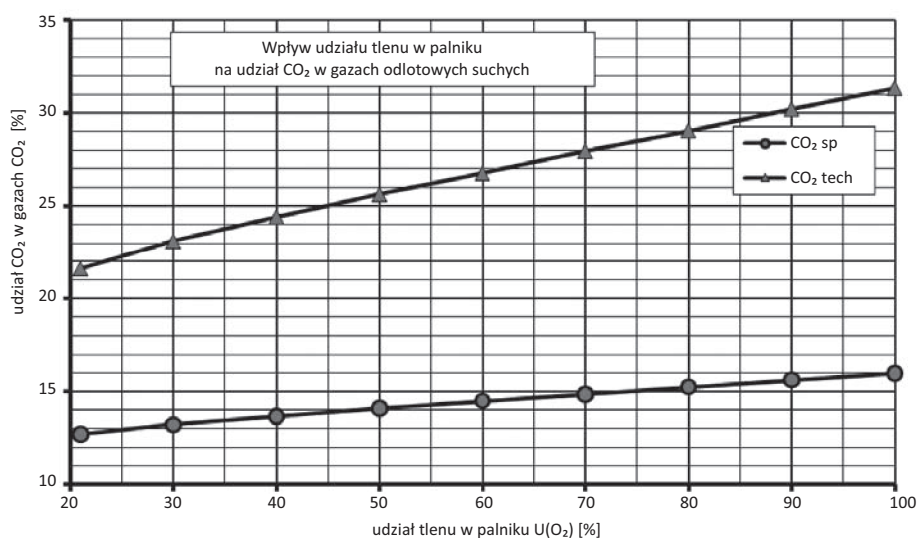
Podstawowe parametry pracy pieca w zależności od udziału tlenu na palniku

UO_2 (palnik)	UO_2 (wlot do pieca)	UO_2 (piec)	Klinkier M_{kl}	Palnik $Q_{paliwa 1}$	Kalcynator $Q_{paliwa 2}$	Zużycie ciepła Q_{paliwa}	Temperatura płomienia $T_{płomieni}$	Nadmiar powietrza $\lambda_{wyminiennik}$
[%]	[%]	[%]	[t/h]	[kJ/kg _{kl}]	[kJ/kg _{kl}]	[kJ/kg _{kl}]	[°C]	[m ³ n/ /m ³ n]
21	4,58	21,00	45,502	2 930	607	3 537	1 976	1,112
30	5,10	21,82	46,752	2 861	591	3 451	1 997	1,077
40	6,13	22,79	47,871	2 805	577	3 382	2 017	1,058
50	7,45	23,84	48,889	2 758	565	3 323	2 034	1,048
60	9,02	24,96	49,820	2 719	554	3 273	2 051	1,042
70	10,83	26,18	50,814	2 673	543	3 217	2 069	1,038
80	12,88	27,48	51,605	2 642	535	3 177	2 084	1,035
90	15,16	28,89	52,501	2 605	526	3 131	2 101	1,034
100	17,68	30,41	53,312	2 573	518	3 091	2 117	1,033

Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Jak widać, wzrost udziału tlenu na palnik w powietrzu pierwotnym do 100% powoduje zwiększenie produkcji pieca z 45,5 do 53,3 Mg/h, tj. o 17,5%. Wynika ono z podniesienia temperatury płomienia w strefie spiekania o ok. 140 deg.

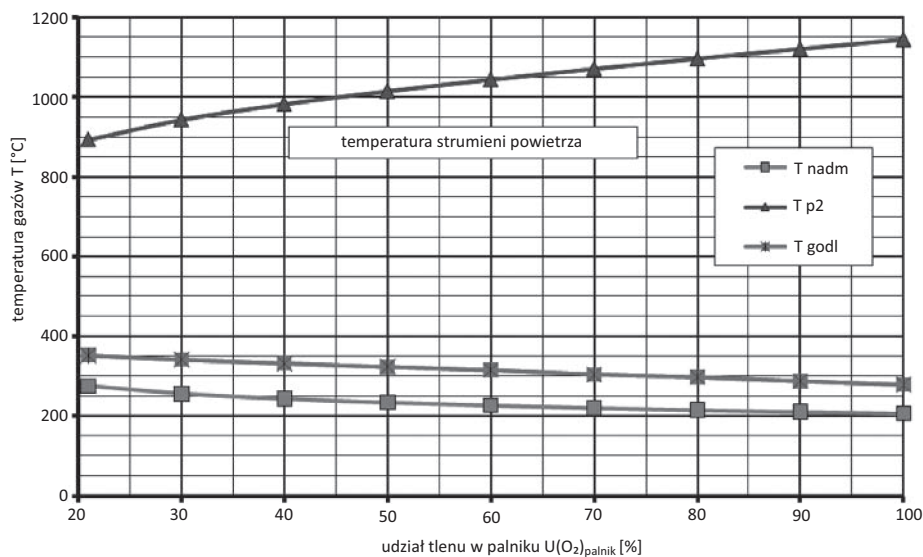
Z kolei obniżenie zapotrzebowania ciepła z poziomu 3537 do 3091 kJ/kg klinkieru (spadek o 12,7%) związane jest głównie ze zmniejszeniem ilości gazów odlotowych oraz ich temperatury końcowej. W ten sposób znacznie zmniejsza się entalpia gazów odlotowych, będąca w bilansie cieplnym pieca największą pozycją strat po stronie rozchodu. Z tego samego powodu następuje wzrost stężenia CO₂ w gazach odlotowych z 33% do poziomu 48% (ryc. 6), co ułatwia i obniża koszty wychwytywania dwutlenku węgla ze spalin.



Źródło: Jak w ryc. 4.

Ryc. 6. Wpływ udziału tlenu w palniku na koncentrację CO_2 w gazach odlotowych
Obniżenie udziału paliwa na jednostkę klinkieru powoduje także zmniejszenie paliwowej emisji CO_2 o ok. 47 kg/Mg klinkieru.

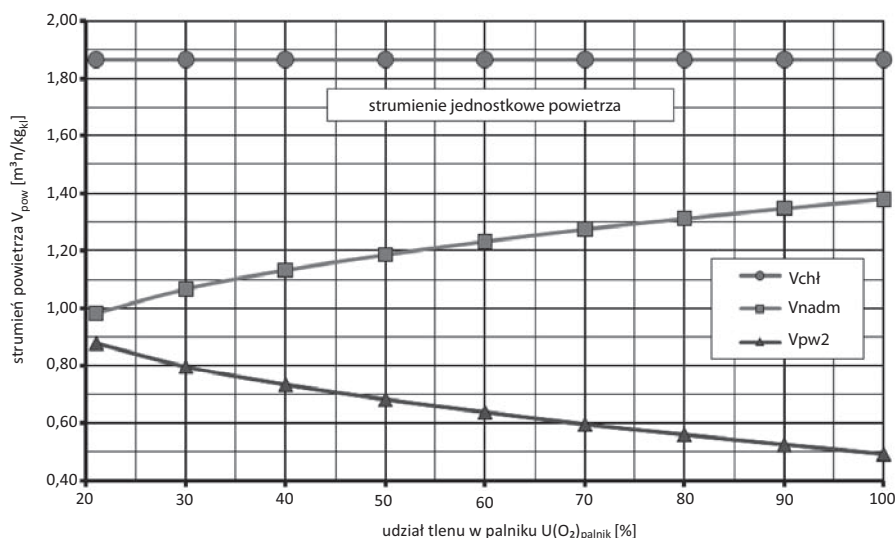
Dostarczanie większej ilości tlenu na palnik powoduje jednocześnie mniejsze zapotrzebowanie na powietrze wtórne, a tym samym wzrost jego temperatury (ryc. 7).



Źródło: Jak w ryc. 4.

Ryc. 7. Wpływ udziału tlenu w palniku na temperatury powietrza wtórnego, nadmiarowego oraz gazów odlotowych

Przy zachowaniu stałego jednostkowego podmuchu powietrza na chłodnik klinkieru wzrasta ilość powietrza nadmiarowego, chociaż jednocześnie spada jego temperatura wylotowa. Jest to sytuacja niekorzystna, ponieważ powietrze nadmiarowe stanowi stratę ciepła do otoczenia (ryc. 8).



Źródło: Jak w ryc. 4.

Ryc. 8. Wpływ udziału tlenu w palniku na jednostkowe strumienie powietrza na chłodniku

Mimo wzrostu nadmiaru powietrza na chłodniku, jednostkowa strata ciepła z chłodnika według obliczeń symulacyjnych nie wzrasta w stosunku do danych bazowych, ponieważ jest ona skompensowana przez wzrost produkcji pieca.

5. Wnioski

1. Zaproponowana koncepcja instalacji zeroemisyjnego wypalania klinkieru charakteryzuje się wprowadzeniem do obecnie stosowanej technologii techniki spalania oxyfuel oraz separacji CO_2 z gazów piecowych. Technika oxyfuel polega na wprowadzeniu do palnika pieca czystego tlenu, a separacja ditlenku węgla na jego fizycznej absorpcji z odpylonych gazów odlotowych. Biorąc pod uwagę aktualny stan techniki wypalania klinkieru w piecach metody suchej z wymiennikiem cyklonowym, proponowane rozwiązanie jest technicznie uzasadnione.

2. Na podstawie wykonanych obliczeń bilansowych dla rzeczywistego pieca o wydajności klinkieru 1090 ton/dobę uzyskano, przy udziale tlenu 100% w powietrzu pierwotnym (co odpowiada udziałowi 30% tlenu w całkowitym powietrzu spalania), następujące korzyści:

- wzrost wydajności pieca o 17,5% – z 1090 do 1280 ton/dobę,
- obniżenie zapotrzebowania ciepła o 12,7% – z 3540 do 3090 kJ/kg klinkieru,
- wzrost stężenia CO₂ w gazach odlotowych z 33% do poziomu 48%.

3. Technika oxyfuel daje także możliwość spalania większej ilości gorszych gatunkowo paliw na palniku głównym pieca (np. osadów ściekowych czy paliw alternatywnych), ponieważ przez wzrost udziału tlenu można utrzymywać wymaganą temperaturę płomienia w strefie spiekania. Zwiększenie udziału wyżej wymienionych paliw obniża koszty energetyczne wypalania klinkieru. Z drugiej jednak strony w tym przypadku nie należy oczekiwać wzrostu produkcji pieca i obniżenia zapotrzebowania ciepła.

4. Ekologiczne zalety techniki oxyfuel polegają na zmniejszeniu jednostkowej emisji CO₂ i NO_x. W rozpatrywanym przypadku pieca przy 100% udziale tlenu na palniku oszacowano zmniejszenie emisji ditlenku węgla na 47 kg/kg klinkieru w stosunku do stanu aktualnego (stanowi to ok. 5% całkowitej emisji piecowej). Możliwość wzrostu spalanej biomasy daje dodatkową redukcję emisji CO₂ (przy 20% udziale biomasy stanowi to ok. 60 kg/kg klinkieru). Natomiast redukcja NO_x wynika ze zmniejszenia się udziału azotu w gazach piecowych.

5. Wdrożenie technologii zeroemisyjnej na pilotowej instalacji wypalania klinkieru powinno się składać z dwóch następujących po sobie etapów: weryfikacji efektów zastosowania wypalania klinkieru techniką oxyfuel oraz wprowadzenia instalacji separacji CO₂ z gazów odlotowych. Oba te etapy mają szanse realizacji tylko w przypadku wsparcia finansowego, np. z funduszy unijnych.

Literatura

- [1] Raport EU Community Research, SP1 – Priorytet 6-1, Zrównoważone systemy energetyczne, Work Programme Rev.3, 2004 – 6.1.3.2.4 Wyłapywanie i sekwestracja CO₂ połączona z czystymi technologiami spalania paliw kopalnych.
- [2] B a u k a l C.E., *Oxygen-Enhanced Combustion*, CRC Press LLC, New York 1998.
- [3] C z a k i e r t T., Emisje zanieczyszczeń gazowych w procesie spalania węgla brunatnego w cyrkulacyjnej warstwie fluidalnej w atmosferze wzbogaconej tlenem, Częstochowa 2004, praca doktorska.
- [4] H o r b a n i u c B., O v i d i u M., D u m i t r a s c u G., C h a r o n O., *Oxygen-enriched combustion in supercritical steam boilers*, „Energy” 2004, Vol. 29, s. 427–448.
- [5] H u Y., N a i t o S., K o b a y a s h i N., H a s a t a n i, *CO₂, NO_x and SO₂ emission from the combustion of coal with oxygen concentration gases*, „Fuel” 2000, Vol. 79, s. 1925–1932.
- [6] N o w a k W., *Redukcja emisji CO₂ – system oczyszczania spalin*, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2008.
- [7] S a s t a m o i n e n J., T o u r u n e n J., P i k k a r a i n e n T., H a s a H., M i t t i n e n J., H y p p a n e n T., M y o h a n e n K., *Fluidized bed combustion in high concentration of O₂ and CO₂*, [w:] *19th CFB Conference, Vienna, 21–24 May 2006*, Vienna 2006.

[8] M y r p h y J.J., S h a d d i x C.R., *Combustion kinetics of coal chars on oxygen-enriched environments*, „Combustion and Flame” 2006, Vol. 144, s. 710–729.

[9] www.messergroup.com/pl/ (31.08.2009).

FRANCISZEK SŁADECZEK
JAROSŁAW TREMBACZ

DISCUSSION ON OPPORTUNITIES OF IMPLEMENTATION
OF OXYFUEL TECHNIQUE IN CLINKER BURNING PROCESS

In the paper opportunities of implementation of oxyfuel technique in clinker burning process were discussed. The technical and technological conception of oxyfuel technique clinker burning in rotary kilns were presented. Basic technological calculations and investment cost estimations refers to oxyfuel clinker burning were executed.