

*BOLESŁAW DOBROWOLSKI**
*JERZY DUDA***
*SŁAWOMIR KAZIMIERCZAK****

Intensyfikacja procesu spalania paliwa w procesie wstępnej dekarbonizacji

Słowa kluczowe: wypalanie klinkieru, dekarbonizacja, modelowanie zjawisk ciepłno-przepływowch.

Proces wypalania klinkieru ma decydujący wpływ na energochłonność i koszty produkcji cementu. Nowe techniki wypalania w piecach na metodę suchą, z zewnętrznymi cyklonowymi wymiennikami ciepła i układami wstępnej dekarbonizacji, pozwoliły na znaczną intensyfikację produkcji klinkieru oraz poprawę sprawności cieplnej procesu. Nowym problemem jest wykorzystanie w procesie dekarbonizacji paliw z odpadów. Zagadnienia te są szczególnie istotne przy wprowadzeniu dwustopniowego spalania paliwa w piecu obrotowym bez typowego reaktora-dekarbonizatora. W artykule przedstawiono wstępne badania przepływowe komory wzniosu, która została przystosowana do spalania paliwa w systemie AT (powietrze do spalania przez piec). Jednak ze względu na ograniczoną ilość spalanego paliwa (do ok. 20%) i zagrożenie wzrostu emisji NO_x poszukuje się innych rozwiązań z doprowadzeniem trzeciego powietrza. Otrzymane wyniki badań numerycznych pozwoliły na szczegółową analizę zjawisk ciepłno-przepływowych w komorze wzniosu wieży wymienników i mogą być wskazówką przy jej modernizacji, polegającej na zmianie doprowadzenia powietrza do spalania.

1. Wstęp

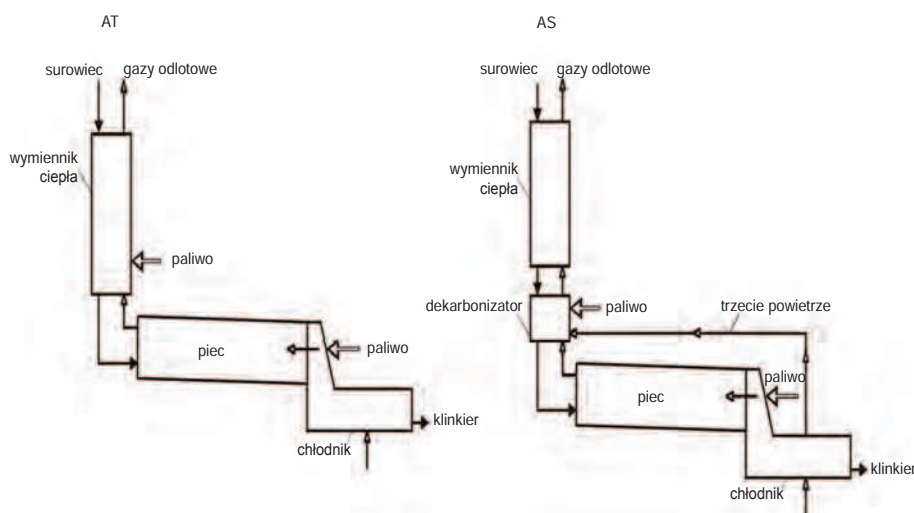
W ostatnich latach prowadzi się intensywne prace nad zmniejszeniem energochłonności procesu produkcji cementu i obniżeniem emisji gazowej przy jednoczesnym wykorzystaniu paliw z odpadów [1–2]. Współspalanie paliw z odpadów z węglem w piecu obrotowym jest coraz częściej brane pod uwagę jako jeden z proekologicznych sposobów utylizacji odpadów. Rozwój nowych technik wypalania w piecach na metodę suchą z wielostopniowym wymiennikiem ciepła

* Dr hab. inż., prof. PO, Politechnika Opolska.

** Dr hab. inż., prof. PO, Politechnika Opolska.

*** Mgr inż., Cementownia „Warta” S.A. w Działoszynie.

i układem wstępnej dekarbonizacji stworzył, oprócz intensyfikacji produkcji i obniżenia obciążenia cieplnego strefy spiekania (wzrost żywotności materiałów ogniotrwałych), możliwość większego wykorzystania paliw z odpadów. Ze względu na stosunkowo niską wartość opałową (ok. 17–20 MJ/kg) tych paliw oraz wymaganą w strefie spiekania różnicę temperatur pomiędzy gazami spalinowymi i materiałem ograniczona jest ilość paliw z odpadów (do ok. 20%), jaką można spalać palnikiem głównym pieca. Ich większy udział spowoduje spadek wydajności pieca i wzrost zużycia ciepła. Natomiast znacznie więcej paliw z odpadów, ze względu na niższą temperaturę procesu dekarbonizacji, można wykorzystać w tzw. palniku dekarbonizatora wstępnego. Zalety technologiczne procesu wstępnej dekarbonizacji oraz możliwość wprowadzenia do procesu paliwa z odpadów spowodowało praktyczne stosowanie tego rozwiązania we wszystkich piecach [3]. Część pieców wyposażona została w typowe dekarbonizatory typu AS (*air separate*) z tzw. trzecim powietrzem. Natomiast większość pieców pracuje w układzie AT (*air through*), polegającym na doprowadzeniu powietrza do spalania przez piec. Na rycinie 1 przedstawiono schematycznie oba systemy wstępnej dekarbonizacji.



Ryc.1. Schemat układów wstępnej dekarbonizacji w piecach pracujących metodą suchą [4]

W systemie dekarbonizacji typu AS paliwa alternatywne mogą zabezpieczać do 60% zapotrzebowania ciepła w procesie wypalania. Natomiast w systemie AT udział paliw jest ograniczony do 20%. System AT nie pozwala również na wprowadzenie tzw. reburningu (stopniowego spalania), który jest coraz częściej wykorzystywany w dekarbonizatorach w celu redukcji emisji NO_x (tzw. *low NO_x* dekarbonizatory).

Ze względu na sposób spalania tych paliw, poza piecem w komorze wzniosu, proces ten wymaga dodatkowych badań dotyczących warunków spalania i wpływu na emisję gazową, zwłaszcza NO_x i CO [5–6]. Problemy te są mniej istotne w nowych liniach piecowych budowanych z układami wstępnej dekarbonizacji typu AS, gdzie stosuje się najnowsze techniki zgodne z BAT [7], natomiast w przypadku starszych konstrukcji prowadzone są kosztowne prace modernizacyjne. Ze względu na ograniczone możliwości badań identyfikacyjnych na pracującym piecu poszukuje się innych metod badawczych, które bez straty produkcji i innych zagrożeń eksploatacyjnych pozwolą uzyskać odpowiedź na interesujące pytania, np. o wpływ doprowadzonego powietrza do dekarbonizatora na proces spalania paliwa i dekarbonizację. Jedną z metod stosowaną w ostatnich latach jest komputerowe wspomaganie prac modernizacyjnych, oparte na wykorzystaniu CFD (*Computational Fluid Dynamics*) [8–10]. Badania symulacyjne, pomimo ograniczonej dokładności, pozwalają na jakościową, a częściowo również ilościową analizę bardzo złożonych procesów zachodzących w układach do produkcji klinkieru.

W artykule przedstawiono wstępne wyniki prac nad symulacją cyfrową zjawisk zachodzących w komorze wzniosu wymiennika ciepła pieca do wypału klinkieru, pełniącej rolę dekarbonizatora wstępnego (prekalcynatora).

2. Układ przepływowy i algorytm obliczeń

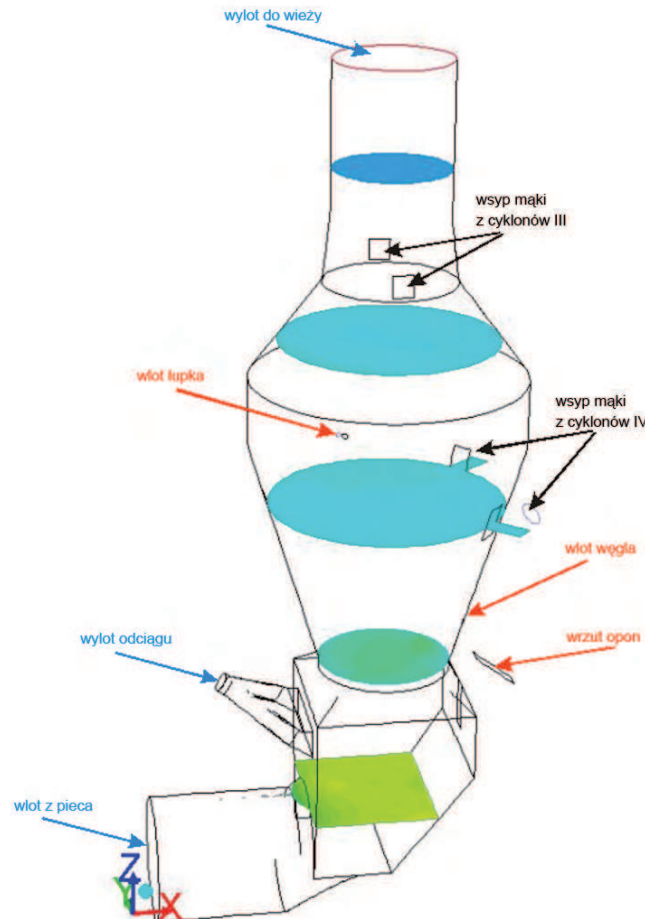
Przedmiotem niniejszej pracy jest wstępna analiza numeryczna zjawisk przepływowych w komorze wzniosu wieży wymienników pieca. Obliczenia numeryczne przeprowadzone zostały dla komory wzniosu przedstawionej na rycinie 2, pełniącej rolę dekarbonizatora wstępnego.

Model matematyczny oparto na połączeniu dwóch metod opisu ruchu płynu – metody Eulera dla fazy gazowej oraz metody Lagrange’a dla cząstek. W obliczeniach założono, że przepływ jest ustalony, a gaz jest ściśliwy. W niektórych przykładach uwzględniono również wymianę ciepła pomiędzy gazem i cząstkami. Przyjęto, że cząstki są polifrakcyjne i podlegają rozkładowi RRS. Na obecnym etapie pominięto spalanie dodatkowego paliwa w komorze wzniosu oraz proces dekarbonizacji cząstek nadawy piecowej. Ruch fazy gazowej opisano układem równań Reynoldsa, domkniętym $k - \varepsilon$ modelem turbulencji oraz równaniem ciągłości przepływu [11–12]:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_i \phi)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \right) + S_\phi + S_{\phi p}, \quad (1)$$

gdzie: wielkość ϕ jest uogólnioną zmienną zależną, Γ_ϕ współczynnikiem transportu dyfuzyjnego, a człon źródłowy S_ϕ ujmuje wszystkie pozostałe – oprócz konwekcyjnych i dyfuzyjnych – składniki

równań różniczkowych. Współczynniki Γ_ϕ i S_ϕ są zależne od zmiennej ϕ i określone dla każdego z równań zgodnie z tabelą 1. Składnik S_{op} ujemnie efekty związane z oddziaływaniem cząstek na ruch fazy gazowej [11].



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 2. Geometria komory wzniosu i przekroje kontrolne

Układ równań ruchu uzupełniony jest równaniem transportu energii [13]:

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial[(\rho E + p)u_i]}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\frac{\lambda}{C_p} + \frac{\lambda_t}{C_p} \right) \frac{\partial \theta}{\partial x_i} + \tau_{ij}^c u_j \right] + \rho S_E, \quad (2)$$

gdzie efektywna przewodność cieplna opisana zależnością $\left(\frac{\lambda}{C_p} + \frac{\lambda_t}{C_p} \right)$ obliczana jest na podstawie przewodności turbulentnej $\frac{\lambda_t}{C_p}$. Prawa strona równania ujemnie efekty związane z oddziaływaniem cząstek na ruch fazy gazowej [11].

przewodnictwa oraz lekkiego rozpraszania. Składnik S_E uwzględnia ciepło powstające w wyniku reakcji chemicznych oraz inne objętościowe źródła ciepła. W równaniu (2) energia całkowita E jest sumą energii cząstkowych:

T a b e l a 1

Zestawienie współczynników równania [1]

Równanie:	ϕ	Γ_ϕ	S_ϕ	$S_{\phi,p}$
ciągłości	1	0	0	0
pędu w kierunku osi x_i	u_i	μ_{ef}	$F_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu_{ef} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$	$\overline{S_{u_i,p}}$
kinetycznej energii turbulencji	k	$\frac{\mu_{ef}}{\sigma_k}$	$G_k - \rho \varepsilon$	0
dysypacji kinetycznej energii turbulencji	ε	$\frac{\mu_{ef}}{\sigma_\varepsilon}$	$\frac{\varepsilon}{k} (C_1 G_k - C_2 \rho \varepsilon)$	0
$G_k = \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right); \quad \mu_{ef} = \mu + \mu_t; \quad \mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon},$ $\overline{S_{u_i,p}} = \frac{1}{V_E} \eta_j \int_{\delta t_j} \frac{\mu C_D Re_p D_p}{8\pi} (\bar{u}_i - u_{pi}) dt,$ $C_\mu = 0,09; \quad C_1 = 1,44; \quad C_2 = 1,92; \quad \sigma_k = 1,0; \quad \sigma_\varepsilon = 1,3.$				

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{u^2}{2}, \quad (3)$$

gdzie entalpia h dla gazu doskonałego zdefiniowana została jako:

$$h = \sum_j Y_j h_j, \quad (4)$$

W równaniu (4) Y_j oznacza udział masowy składnika j , natomiast wielkość h_j oblicza się następująco:

$$h_j = \int_{T_{ref}}^T c_{p,j} dT, \quad (5)$$

gdzie T_{ref} jest temperaturą odniesienia i wynosi 298,15K.

Wymianę ciepła przez promieniowanie opisano równaniem oznaczanym w literaturze [14] symbolem $P1$:

$$\operatorname{div}(\Gamma \operatorname{grad} G) = \alpha G - 4\alpha T^4, \quad (6)$$

$$\Gamma = \frac{1}{3(\alpha + \sigma) + C\sigma}, \quad (7)$$

gdzie:

α - współczynnik absorpcji promieniowania,

C - współczynnik radiacji zwykle przyjmowany jako $C=10^{-8}$.

Ruch cząstek (pył węglowy, łupek przywęglowy, mączka surowcowa) opisano metodą Lagrange'a [11–12,15], przy uwzględnieniu ich składu frakcyjnego i oddziaływania z fazą gazową.

Ruch cząstki o masie m_p opisuje równanie:

$$m_p \frac{d\vec{u}_p}{dt} = \vec{F}, \quad (8)$$

gdzie:

\vec{u}_p - wektor prędkości cząstki,

m_p - masa cząstki,

\vec{F} - suma sił zewnętrznych działających na cząstkę.

W przypadku przepływów mieszanin gaz-cząstki stałe uwzględnia się zwykle \vec{F}_d - siłę oporu aerodynamicznego, \vec{F}_g - siłę ciężkości, \vec{F}_{ls} - ścinającą siłę nośną (siła Saffmana). Równanie (8) przyjmuje wtedy postać:

$$m_p \frac{d\vec{u}_p}{dt} = \vec{F}_d + \vec{F}_g + \vec{F}_{ls}. \quad (9)$$

W wyniku całkowania równania (9) w polu prędkości gazu otrzymuje się trajektorie ruchu cząstek dostarczanych do układu z dyskretnych wlotów punktowych [15].

W celu uzyskania wyników obliczeń faz gazowej i stałej konieczne jest odpowiednie zdefiniowanie badanego problemu pod kątem wykorzystania do jego realizacji dostępnych technik numerycznych. Etapem wstępnym jest dyskretyzacja obszaru obliczeniowego na skończoną ilość komórek elementarnych (ryc. 3). Następnym krokiem jest przedstawienie równań różniczkowych w formie dyskretnej oraz zadanie odpowiednich warunków na brzegach zdyskretyzowanej

siatki obliczeniowej. Po przygotowaniu rozpatrywanego zagadnienia do obliczeń numerycznych następuje iteracyjny proces poszukiwania rozwiązania. W niniejszej pracy do rozwiązania zagadnień trójwymiarowych zastosowano oprogramowanie bazujące na solverze Fluent [17], stosowanym z powodzeniem we wcześniejszych pracach [11–12,15–16].



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 3. Dyskretyzacja obszaru obliczeniowego

3. Wyniki obliczeń numerycznych

W obliczeniach numerycznych uwzględniono wymianę ciepła pomiędzy cząstkami mączki surowcowej a gazem, natomiast pominięto wymianę ciepła ze ścianami komory. Na obecnym etapie nie uwzględniano spalania dodatkowego paliwa w komorze wzniosu oraz procesu dekarbonizacji mączki. Założono, że gaz opuszczający piec obrotowy ma następujący skład chemiczny: 64% N_2 , 29% CO_2 oraz 7% O_2 . Większość parametrów cieplno-przepływowych określono na podstawie wartości średnich z pomiarów eksploatacyjnych i obliczeń bilansowych (tab. 2). Wyniki obliczeń dotyczą prędkości wlotowej 15 m/s i prędkości w odciągu 30 m/s.

T a b e l a 2

Warunki brzegowe przekrojów wlotowych i wylotowych układu

Przekrój	v [m/s]	T [K]	p_n [Pa]
Wlot z pieca	15	1370	-400
Wylot odciagu	-30	1100	-400
Wylot do wieży	z bilansu masy dopływającej	1112	-800
Wlot węgla	100	300	0
Wlot lupka	45	300	0
Wrzut opon	zamknięty – traktowany jako ścianka		
Wsyp mąki III	według strumienia mąki	1000	0
Wsyp mąki IV		1100	0

Ź r ó d ł o: Badania własne.

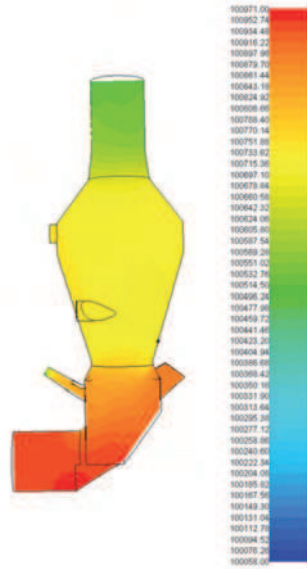
Na rycinie 4 przedstawiono rozkład ciśnienia statycznego w przekroju wzdłużnym komory wzniosu przy uwzględnieniu wypływu części strugi przez tzw. odciąg. Obserwuje się lokalny wzrost ciśnienia wynikający ze zmiany kierunku przepływu oraz jego spadek w górnej części komory, związany ze wzrostem prędkości gazu.

Rycina 5 przedstawia rozkład (modułu) prędkości w przekroju pionowym komory wzniosu, a rycina 6 – rozkład pionowej składowej wektora prędkości. Podczas obliczeń uwzględniono interakcję pomiędzy fazą rozdrobnioną i gazową. Z analizy rycin 5 i 6 wynika, że prędkość gazu z pieca zwiększa się po stronie wewnętrznego łuku kolana przed komorą wzniosu. Następnie główny strumień, po odbiciu od ścianki na wysokości górnej części szczeliny wrzutu opon, przemieszcza się w obszar komory położony nad piecem i odciągim (*bypass*).

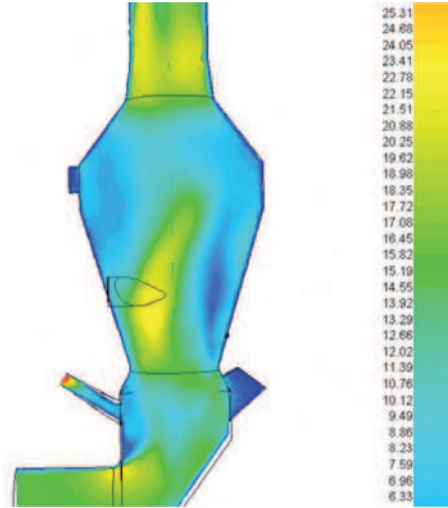
Po stronie przeciwległej zauważyć można dużą, niesymetryczną strefę zawirowania. W tym obszarze następuje znaczny spadek prędkości oraz pojawiają się prędkości ujemne. Efekt ten, wynikający z opadania dużych cząstek pod wpływem siły grawitacji, może doprowadzać do ruchu w kierunku dolnych części układu również te cząstki, które normalnie są porywane do górnego wylotu.

Rycina 7 przedstawia rozkład temperatury gazu w przekroju komory wzniosu. W obliczeniach uwzględniono wymianę ciepła pomiędzy cząstkami a gazem w wyniku promieniowania. Zauważyć również można strefy obniżonej temperatury powstałe w efekcie dostarczania chłodniejszego powietrza z kanałów doprowadzających paliwa.

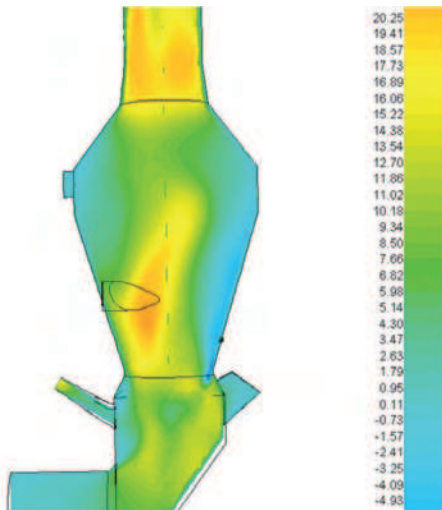
Na rycinie 8 pokazano trajektorie cząstek wszystkich frakcji, oddzielnie z dolnego (IV) i górnego (III) stopnia cyklonów. Cząstkami stałymi są cząstki mączki dostarczanej do komory wzniosu z III i IV stopnia cyklonów wymiennika ciepła.



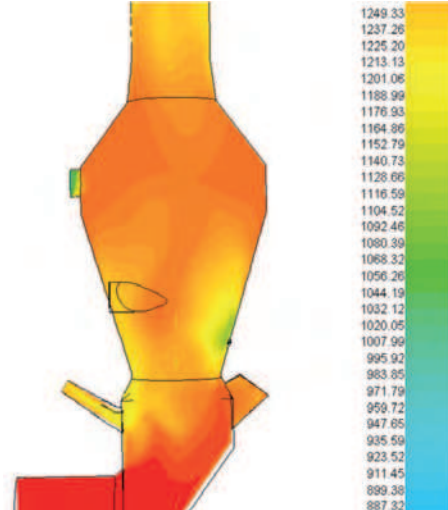
Źródło: Opracowanie własne.
Ryc. 4. Rozkład ciśnienia



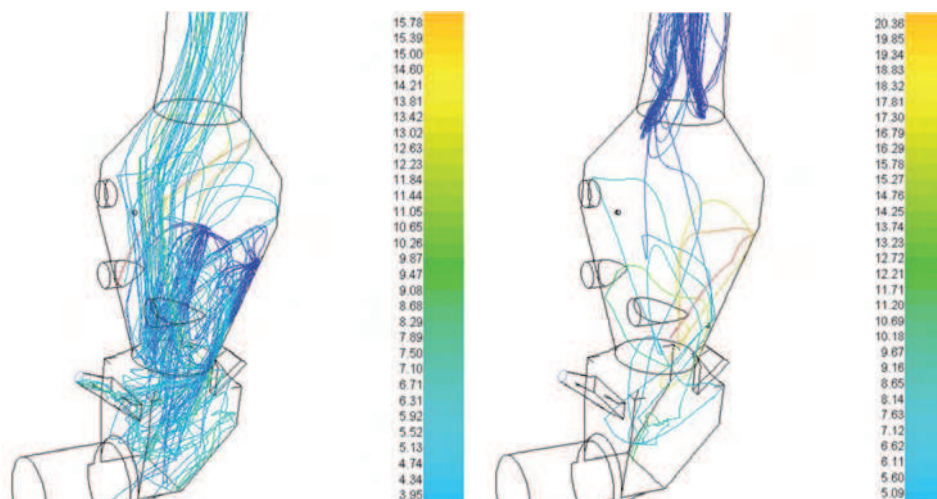
Źródło: Opracowanie własne.
Ryc. 5. Rozkład prędkości



Źródło: Opracowanie własne.
Ryc. 6. Rozkład pionowej składowej wektora prędkości



Źródło: Opracowanie własne.
Ryc. 7. Rozkład temperatury



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 8. Wybrane trajektorie cząstek wszystkich frakcji z dolnego i górnego wyspu mąki

Z uwagi na to, że mieszanka składa się z cząstek o różnych średnicach, należało oszacować ich udziały w poszczególnych frakcjach.

Analiza sitowa mączki z cyklonów IV stopnia, na której oparto rozkłady, dała pozostałości R200 – 22,2% oraz R80 – 74,2%. Na podstawie wyników analizy sitowej obliczono procentowe udziały osiemnastu dyskretnych frakcji, które następnie, po przeskalowaniu wynikającym z bilansu masy komory, zastosowano w obliczeniach numerycznych. Przeskalowanie prowadzono metodą iteracyjną, stopniowo zwiększając średnicę maksymalną cząstek tak, aby osiągnąć obserwowany rozdział masy cząstek pomiędzy dolną i górną częścią komory wzniosu. Każdej frakcji przypisano elementarny strumień masy, będący funkcją średnicy cząstki, jej własności fizycznych i udziału w mieszaninie. Można zauważyć, że cząstki dostarczane z górnych cyklonów w większości wracają do wieży wymienników przez górny wylot, natomiast cząstki z dolnych cyklonów rozdzielają się pomiędzy górny wylot i komorę pieca.

4. Podsumowanie i kierunki dalszych badań

W pracy przedstawiono wyniki analizy zjawisk cieplno-przepływowych w komorze wzniosu wieży wymienników ciepła. Przeanalizowano aerodynamikę przepływu obecnej konstrukcji komory wzniosu pod kątem planowanej modernizacji, gdzie przewiduje się wyeliminowanie doprowadzenia powietrza do komory wzniosu przez piec i wykonanie instalacji trzeciego powietrza z chłodnika klinkieru. Przeprowadzone badania symulacyjne pozwoliły na interpretację danych pomiarowych i zakładanego przepływu materiału oraz gazów w badanej konstrukcji.

Uzupełnienie otrzymanych wyników drogą dalszych badań modelowych procesów termochemicznych (spalanie paliw i proces dekarbonizacji), zachodzących w komorze, pozwoli na określenie miejsca i sposobu oraz dopuszczalnej ilości dozowania paliwa. Celowa wydaje się również analiza wpływu spalania paliw alternatywnych w komorze wzniosu na straty niecałkowitego i niezupełnego spalania oraz emisję zanieczyszczeń.

Literatura

- [1] D u d a J., *Paliwa alternatywne w przemyśle cementowym*, Szkoła Gospodarki Odpadami, AGH, PAN, Kraków 2001, s. 27–37.
- [2] D u d a J., K a l i n o w s k i W., *Technologiczne aspekty spalania paliw alternatywnych w procesie wypalania klinkieru*, „Prace Naukowe”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002, z. 22, s. 343–351.
- [3] D u d a J., J a n e c k a L., *Erfahrungen der 2-stufigen Feuerung beieinem Drehofen mit der Leistung von 3500 Tato*, [w:] *XIV Konferenz der Silikatindustrie und Silikatwissenschaft SILIKONF*, Budapest 1985.
- [4] R i t z m a n n H., *Vorkalzination mit und ohne separate Luftfuhrung*, „Zement-Kalk-Gips” 1978, Nr. 9, s. 428–432.
- [5] D u d a J., *Ograniczenie emisji NO_x w procesie wypalania klinkieru*, „Prace Instytutu Mineralnych Materiałów Budowlanych” 2007, nr 41/42, s. 11–24.
- [6] D u d a J., *Energooszczędne i proekologiczne techniki wypalania klinkieru cementowego*, „Prace Instytutu Mineralnych Materiałów Budowlanych” 2004.
- [7] Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries, 5.2010, Sewilla, Hiszpania.
- [8] S a i d u r R., H o s s a i n M.S., I s l a m M.R., F a y a z H., M o h a m m e d H.A., *A review on kiln system modeling*, „Renewable and Sustainable energy Reviews” 2011, No 15, s. 2487–2500.
- [9] F i d a r o s D.K., B a x e v a n o u C.A., D r i t s e l i s C.D., V l a c h o s N.S., *Numerical modelling of flow and transport processes in a calciner for cement production*, „Powder Technology” 2007, No 171, s. 81–95.
- [10] H u a n p e n g L., W e n t i e L., J i a n x i a n g Z., D i n g J., X i u j i a n Z., H u i l i n L., *Numerical study of gas-solid flow in a precalciner using kinetic theory of granular flow*, „Chemical Engineering Journal” 2004, No 102, s. 151–160.
- [11] D o b r o w o l s k i B., W y d r y c h J., *Computational and experimental analysis of gas-particle flow in furnace power boiler installations with respect to erosion phenomena*, „Journal of Theoretical and Applied Mechanics” 2007, Vol. 45, No 3, s. 513–537.
- [12] B o r s u k G., D o b r o w o l s k i B., *Numerical investigation of a prototype system for homogenization of pulverized coal concentration in dust systems of power boilers*, „Chemical and Process Engineering” 2006, Vol. 27, No 3/2, s. 1073–1087.
- [13] T a n n e h i l l J.C., A n d e r s o n D.A., P l e t c h e r R.H., *Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer*, Taylor and Francis, Washington D.C. 1997.
- [14] S i e g e l R., H o w e l l J.R., *Thermal Radiation Heat Transfer*, Hemisphere Publishing Corporation, Washington D.C. 1992.

- [15] Dobrowolski B., Nowosielski G., *Modelowanie zjawisk przepływowych w odsiewaczu młyna wentylatorowego*, „Inżynieria Chemiczna i Procesowa” 2004 nr 25, z. 4, s. 2097–2104.
- [16] Dobrowolski B., Nowosielski G., *Numerical investigation of the aerodynamics of the air-box of a furnace mechanical grate*, „Chemical and Process Engineering” 2006, vol. 27, No 3/2, s. 1089–1099.
- [17] ANSYS Fluent, ANSYS Inc.

BOLESŁAW DOBROWOLSKI
JERZY DUDA
SŁAWOMIR KAZIMIERCZAK

INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF FUEL COMBUSTION DURING INITIAL DEKARBONIZATION

Keywords: clinker burning, decarbonization, modeling thermal and flow phenomena

The process of clinker burning has a decisive role on the energy efficiency and cost of production of cement. New techniques of burning in kilns that apply the dry method with external cyclone heaters and systems of initial decarbonization have enabled intensification of the clinker production and improvement of the thermal efficiency of the process. A new issue is associated with the application of alternative fuels made from waste in the process of decarbonization. Such issues are particularly important during the introduction of two-phase fuel combustion in a rotary kiln from which a standard reactor-decarbonizer is excluded. This paper presents the results of the initial testing of flow through a rising chamber, which is adapted to the combustion of fuel in the AT system (combustion air is fed through the furnace). However, due to the limitations in terms of fuel combustion (to around 20%) and hazard of increase in NO_x emission, solutions are sought involving feeding of the tertiary air. The results of numerical studied have enabled detailed analysis of thermal and flow phenomena in the rising chamber of the heater tower and can serve as guidelines for its modernization involving alternations in feeding combustion air.