

# **Analiza procesów wymiany pędu i ciepła pomiędzy dużymi ziarnami węgla a opływającym je strumieniem dwufazowym**

Cyrkulacyjna warstwa fluidalna w palenisku kotła cyrkulacyjnego to polidispersyjna mieszanina różnych materiałów sypkich. Jej skład najczęściej tworzą następujące materiały sypkie:

- piasek kwarcowy z pierwszego napełnienia kotła,
- popiół ze spalania węgla,
- płonące ziarno węgla,
- ziarna węgla świeżego,
- sorbent i produkt odsiarczania.

W mieszaninie tej występują więc nie tylko różne fizycznie i chemicznie materiały, lecz także stan fizyczny i chemiczny tych materiałów jest różny i przede wszystkim różne są rozmiary ich ziaren.

W warunkach wysokiej prędkości przepływu gazu takie zróżnicowanie własności fizycznych i geometrycznych ziaren musi prowadzić do wzajemnych oddziaływań, których skutkiem są zmiany struktury przepływu.

## **Wzajemne oddziaływanie drobnych i grubych ziaren w CWF**

Ziarna materiału sypkiego, szczególnie reprezentujące mieszaninę różnych (pod względem rozmiaru lub gęstości) materiałów sypkich, unoszone przez strumień przepływającego od dołu do góry gazu poruszają się z wyraźnie różnymi prędkościami.

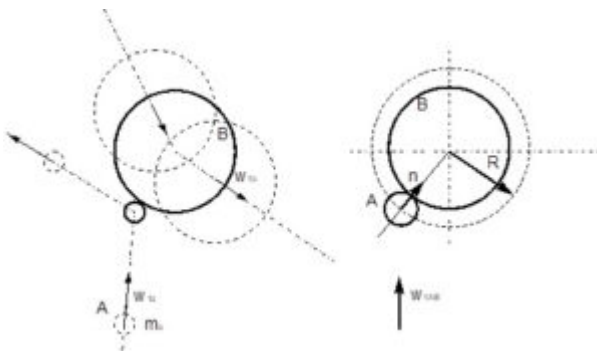
Przy podwyższonych koncentracjach takie zróżnicowanie prędkości prowadzi do nieuniknionego zderzenia między ziarnami.

Wskutek wymiany pędu pomiędzy zderzającymi się ziarnami, oprócz siły aerodynamicznej pojawi się dodatkowa siła wzajemnego oddziaływania, zmieniająca ogólny bilans równowagi sił co zaowocuje zmianą warunków ruchu obu zderzających się ziaren.

## Dynamika pojedynczego zderzenia pomiędzy dwoma ziarnami

Typowy obraz kolizji pomiędzy poruszającymi się dwoma kulistymi ziarnami o masach  $m_A$  (ziarno drobne) i  $m_B$  (ziarno grube) i średnicach odpowiednio  $d_A$  i  $d_B$  przedstawia rys.10. Prędkości ziaren przed zderzeniem oznaczono przez  $W_{A0}$  i  $W_{B0}$ , natomiast prędkości po zderzeniu wynoszą  $W_A$  i  $W_B$ . Prędkość ziarna A względem ziarna B będzie  $W_{AB}$  a jednostkowy wektor skierowany od środka ziarna A do środka ziarna B w chwili zderzenia jest  $n$  (rys.11).

a) b)



Rys.10. Schemat ruchu dwu odosobnionych ziaren

a) chwilowy obraz zderzeń dwu ziaren A i B,

b) geometria wzajemnego położenia ziaren w chwili zderzenia

Założono, że:

Obrót ziarna wokół własnej osi w chwili zderzenia jest

zaniedbywalny.

Pole powierzchni styku obu ziaren w chwili zderzenia jest małe.

Powierzchnie ziaren są gładkie tak, że zmiana prędkości ziarna A względem B następuje jedynie w kierunku.

Wprowadzając  $e$  jako współczynnik restytucji prędkości podczas zderzeń zapisano:

$$\vec{n} \cdot \vec{w}_{2AB} = -e(\vec{n} \cdot \vec{w}_{1AB})$$

(2.4.2.1)

Podczas zderzeń ziaren następuje zmiana ich energii kinetycznej. Zmiana energii kinetycznej każdego ziarna podczas wzajemnego zderzenia jest zależna od ilości energii przekazanej sobie nawzajem oraz straty energii podczas zderzenia.

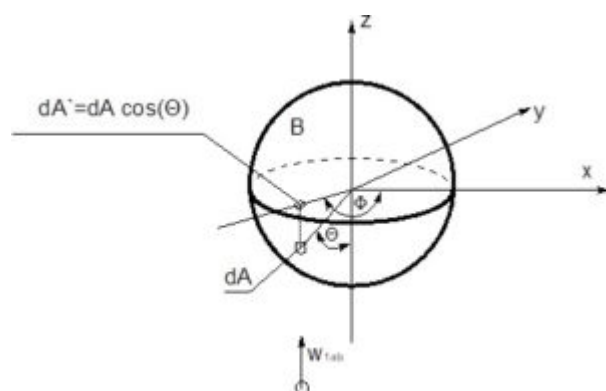
## **Średnia prędkość ziarna drobnego po zderzeniu z ziarnem grubym**

W cyrkulacyjnej warstwie fluidalnej ziarna drobne tworzą w miarę jednorodną zawiesinę unoszoną przez gaz zgodnie z kierunkiem osi  $z$ . Prędkość ziaren drobnych przed zderzeniem z ziarnami grubymi, których jest zdecydowana mniejszość, może być w związku z powyższym traktowana jako zadana. Wobec tego prędkość ziaren drobnych po zderzeniu z odosobnionym ziarnem grubym będzie zależna od kąta pod jakim zderzenie następuje, zdefiniowanym przez wektor  $\vec{n}$ . Rozpatrzmy wszystkie możliwe zderzenia ziaren typu A, mających ustaloną prędkość z ziarnem B poruszającym się z prędkością.

Jeśli ziarno A porusza się zgodnie z kierunkiem osi  $z$ , naprzeciw ziarna B, wtedy i tylko wtedy zderzy się ono z ziarnem B, jeśli jego środek znajdzie się na powierzchni sfery o promieniu  $R = (d_A + d_B)$  i środku położonym w środku ziarna B

(rys.12). Promień  $R$  nosi nazwę „promienia zderzeń”, a pole przekroju kołowego o promieniu  $R$  poprzecznego do osi  $z$ , nosi nazwę „przekroju czynnego na zderzenie”. Prawdopodobieństwo zderzenia, polegającego na tym, że środek ziarna  $A$  będzie należał w chwili zderzenia do elementu powierzchni  $dA = R^2 \sin \theta d\theta d\phi$  sfery o promieniu  $R$ , będzie reprezentowane przez wartość ilorazu pola powierzchni rzutu elementu  $dA$  powierzchni sfery na płaszczyznę prostopadłą do osi  $z$ , do pola powierzchni rzutu całej sfery na tę samą płaszczyznę (rys.11):

Rys.11. Sfera zderzeń w układzie współrzędnych;  $dA$  – element powierzchni sfery zderzeń w który uderzają nadlatujące ziarna.



Pomimo dużej liczby badań poświęconych zagadnieniu ustalenia prędkości ruchu ziaren materiału sypkiego w warstwie fluidalnej zarówno pęcherzowej, jak i cyrkulacyjnej, niestety wciąż brak wyczerpujących danych na ten temat.

Analiza procesów wzajemnego oddziaływania pomiędzy warstwą fluidalną a powierzchniami różnego rodzaju ruchomych (ziarna węgla) nieruchomych (powierzchnie ogrzewalne) elementów wymaga dokładnych informacji na temat zachowania się ziaren materiału sypkiego w strefie bezpośrednio przylegającej do tych elementów. Istniejące modele empiryczne posiadają szereg ograniczeń ich stosowania.

Aktualnie rozwijane numeryczne modele aerodynamiki układów dwufazowych powinny w niedługim czasie przynieść oczekiwane rezultaty. Póki co pozostają badania modelowe i analiza wyników eksploatacyjnych z pracujących jednostek, np. kotłów

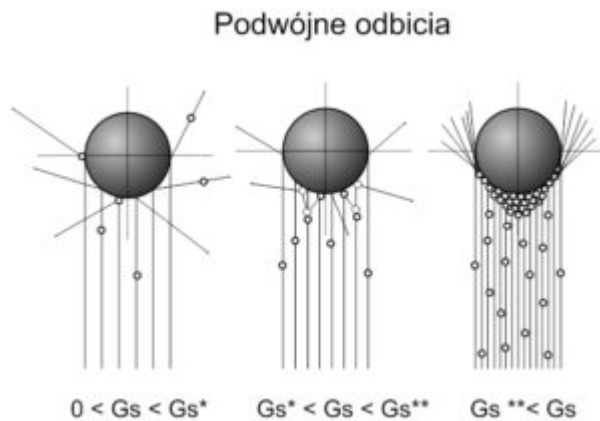
cyrkulacyjnych. Dotychczasowe wyniki badań pozwalają na wyprowadzenie pewnych ogólnych spostrzeżeń, które można ująć następująco:

- w warunkach CWF można zaobserwować tendencję do porządkowania ruchów ziaren fazy stałej, ponieważ występuje tu cyrkulacja wewnętrzna i zewnętrzna,
- gęstość prawdopodobieństwa rozkładu prędkości ziaren ma dominującą wartość dla wznoszącego i opadającego ich ruchu, z wyraźnym maksimum dla wznoszących prędkości,
- przy wzrastającej wartości strumienia masy cyrkulującego materiału sypkiego można zaobserwować wzrost prędkości ziaren wznoszących się i odwrotnie,
- całkowita wartość prędkości ziaren zawarta jest w przedziale 0-10 m/s,
- zakres zmian prędkości, zarówno ziaren wznoszących się, jak i opadających, maleje gdy strumień masy cyrkulującego materiału sypkiego lub też prędkość gazu wzrastają,
- wartość bezwzględna składowej poziomej prędkości jest dużo mniejsza niż wartość jej składowej pionowej.

Powyższa struktura ruchu strumienia ziaren wskazuje na dominującą – w dużej skali – wartość składowej konwekcyjnej. Wnikliwe obserwacje pozwoliły stwierdzić obecność tzw. podwójnych (wielokrotne są na ogół mało prawdopodobne) uderzeń ziaren w powierzchnię opływowych elementów. Mechanizm uderzeń polega na tym, że ziarno drobne, które po odbiciu od powierzchni dużego elementu odpływa od niej zderza się z nadlatującym od strony napływu innym ziarnem drobnym, w wyniku czego jest ono ponownie kierowane do powierzchni od której przed chwilą odbiło się. Uderzając ponownie znowu wymienia pęd z powierzchnią czy to ziarna dużego (grubego), czy też rury wymiennika ciepła. Schemat takiego „podwójnego” odbicia pokazano na rys.12.

Rys.12. Zmiany charakteru opływu ziarna węgla przez strumień gazu unoszącego drobne ziarna materiału inertnego o zmiennym

natężeniu.



Prawdopodobieństwo takich zderzeń i powstających w ich następstwie uderzeń, wzrasta ze wzrostem koncentracji ziaren. Dlatego też ze wzrostem wartości natężenia przepływu drobnych ziaren, faktycznie w powierzchnię przeszkody uderza strumień równy z  $k^3 + 1$  jest współczynnikiem będącym rosnącą funkcją  $G_s$ .

Taki stan rzeczy może obowiązywać jedynie w pewnym zakresie koncentracji, gdyż jej dalszy wzrost prowadzi do ograniczenia opisanych zjawisk uderzeń gdyż wskutek coraz liczniejszych kolizji prędkości ziaren maleją, co także przyspiesza wzrost koncentracji. Wreszcie wystąpi taka wartość  $G_s$  przy której pojedyncze zderzenia i uderzenia w strefie przyściennej zanikną, a w miejscu tym pojawi się nieruchome skupisko ziaren prawie w całości zamykające powierzchnię elementu.

Jeśli potrzebujesz pomocy w napisaniu pracy z zakresu ochrony środowiska, to polecamy serwis [pisanie prac](#) - prace z ekologii i innych kierunków pisane na (prawie) każdy temat.