

prof. dr hab. inż. STANISŁAW CIERPISZ

mgr TERESA SIKORA

mgr inż. ZBIGNIEW BĘDKOWSKI

mgr inż. HENRYK NATKANIEC

mgr inż. MARIAN GOLA

Institut Technik Innowacyjnych EMAG

Analiza procesu wzbogacania węgla w osadzarce z zastosowaniem gęstościomierza radiometrycznego

Prezentowano możliwości zastosowania gęstościomierza radiometrycznego do badania procesu wzbogacania węgla w osadzarce. Badano rozkład gęstości węgla w łóżu osadzarki oraz zmiany gęstości ośrodka w ciągu cyklu pulsacji powietrza powodowane procesem rozluźnienia i osiadania materiału w łóżu. Badano wpływ parametrów cyklu pulsacji na przebieg ruchu ziaren materiału w trakcie pulsacji. Wyniki badań potwierdzają możliwość wykorzystania gęstościomierza radiometrycznego do wspomagania pływakowego układu sterowania odbiorem produktów z osadzarki.

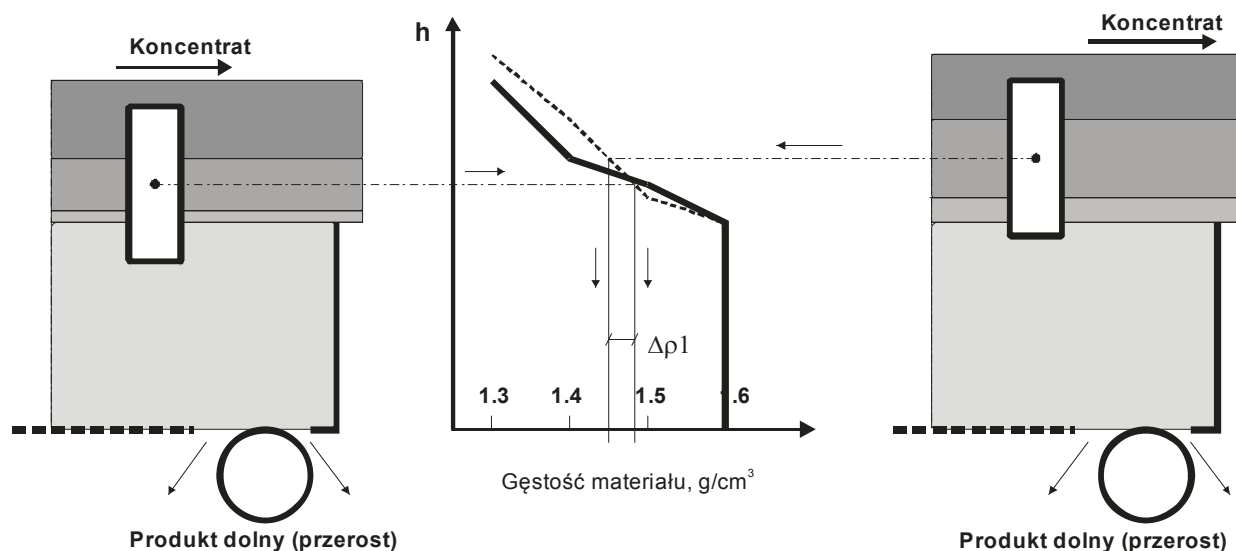
1. WPROWADZENIE

Proces wzbogacania węgla w osadzarce odbywa się w dwóch fazach:

- a) rozdziału ziaren materiału według ich prędkości wznoszenia i opadania w pulsującym łóżu wody i wzbogacanego węgla,
- b) odbioru produktu dolnego poprzez szczelinę wypustową, a górnego poprzez próg przelewowy.

Prędkość wznoszenia i opadania ziaren w każdym cyklu pulsacji ośrodka zależy od prędkości i przyspieszenia wymuszonego ruchu wody oraz od gęstości, wielkości, kształtu i ilości ziaren. Chociaż przyjmuje się, że zasadniczy rozdział ziaren następuje w fazie ich opadania, to początek procesu rozdziału ma miejsce już w fazie ich wznoszenia. W miarę ruchu poziomego ziaren, w łóżu osadzarki, formują się warstwy materiału o gęstościach wzrastających w kierunku sita osadzarki. Ziarna o małej gęstości (o małej zawartości popiołu) lokują się w górnych warstwach, natomiast ziarna o większych gęstościach (większych zawartościach popiołu) lokują się w dolnych warstwach. Proces rozdziału ziaren według ich gęstości nie jest idealny ze względu na ich różną wielkość, kształt oraz zmiany w wymuszeniu ruchu

wody. Z tego powodu osadzarka cechuje się pewną „organiczną” niedoskonałością rozdziału ziaren według ich gęstości, a w konsekwencji według zawartości w nich popiołu, nawet w warunkach idealnie stabilnych parametrów nadawy oraz cyklu pulsacji ośrodka. Po uformowaniu się warstw gęstościowych materiału w łóżu osadzarki następuje rozdział łoża na tzw. produkt dolny (odpady, przerost) i górny (koncentrat). Granica rozdziału wyznaczona położeniem warstwy, która w połowie przechodzi do produktu górnego, a w połowie do produktu dolnego, wyznacza tzw. gęstość rozdziału. Produkt dolny odbierany jest ze strefy odbioru w kierunku pionowym (grawitacyjnie), natomiast produkt górny przelewem, w kierunku poziomym. Gęstość rozdziału określona jest wobec tego przez natężenie odbioru produktu dolnego. Wskutek zmian ilości nadawy oraz składu densymetrycznego nadawy występują zmiany w bezwzględnym położeniu warstw gęstościowych łoża, co przy stałym natężeniu odbioru produktu dolnego powoduje fluktuacje gęstości rozdziału, a więc pogorszenie się jakości koncentratu, gdy gęstość rozdziału jest większa od zadanej, lub strat koncentratu w odpadach, gdy gęstość rozdziału jest mniejsza od zadanej. W stosowanych dotąd układach regulacji odbioru produktów problem ten jest rozwiązywany przez



Rys. 1. Ilustracja wpływu zmian nadawy na gęstość rozdziału w przypadku ustalania jej zadanym położeniem pływaka o stałej gęstości (różnej od zadanej gęstości rozdziału)

miar położenia warstwy materiału o wybranej gęstości metalowym pływakiem o odpowiednio dobranych wymiarach oraz takim sterowaniu odbiorem produktu dolnego, aby położenie kontrolowanej przez pływak warstwy utrzymywane było na stałym, zadanym poziomie. W przypadku, gdy gęstość wybranej warstwy jest równa zadanej gęstości rozdziału, położenie pływaka stabilizowane jest na poziomie progę przelewowego. W rzeczywistości zadane położenie pływaka dobiera się w tym przypadku nieco poniżej progę przelewowego o skok materiału wywołany pulsacjami wody. Gęstość rozdziału dobiera się w praktyce poprzez zmianę zadanego położenia pływaka o raz dobranej gęstości, a więc położenia warstwy o gęstości wskazywanej przez pływak. Zakłada się przy tym, że położenie warstwy o gęstości rozdziału jest związane ściśle z położeniem kontrolowanej warstwy o innej wybranej gęstości (mniejszej). Zależność ta nie jest jednak stała w przypadku istotnych zmian ilości nadawy oraz zmian charakterystyki wzbogacalności węgla. Efekt ten zilustrowany jest jakościowo na rysunku 1. Praktycznym problemem jest w tym przypadku dobór odpowiedniej gęstości pływaka (stałej), która zapewni stabilne zachowanie się pływaka przy jego niezbyt odległej zadanej pozycji od położenia progę przelewowego.

Przedstawiona na rysunku 1 różnica w gęstości rozdziału dla różnych nadaw $\Delta\rho_1$ może być sprowadzona do zera, gdy gęstość pływaka jest tak dobrana, że pływak pokazuje położenie warstwy o gęstości rozdziału. Lepsze efekty stabilizacji gęstości rozdziału można uzyskać w układach sterowania, w których zamiast metalowego pływaka do pomiaru gęstości warstwy rozdziału stosuje się gęstościomierz radiometryczny [2,3]. Gęstościomierz radiometryczny może zostać

również wykorzystany do badania zachowania się łoża materiału w osadzarce w zależności od zmian obciążenia osadzarki oraz do badania wpływu parametrów cyklu pulsacji na proces rozwarstwiania się materiału według gęstości ziaren. Badania przeprowadzono na osadzarce OM20 zainstalowanej w kopalni Rydułtowy o wydajności ok. 500 t/h. Gęstościomierz radiometryczny umieszczono w strefie odbioru drugiego przedziału osadzarki, w którym wydzielany był koncentrat i odpady (okresowo przerost). Zmiany obciążenia drugiego przedziału w trakcie badań były wywoływane celowymi zakłóceniami wprowadzanymi w przedziale pierwszym. Oba przedziały osadzarki wyposażone były w pływakowe układy regulacji odbioru produktów dolnych BOSS 2000. Trzeci przedział osadzarki w trakcie badań nie był wykorzystywany. Ilustracja układu technologicznego wraz z gęstościomierzem radiometrycznym przedstawiona jest na rysunku 2. Układ pomiarowy umożliwiał zmianę położenia głowicy pomiarowej wraz z wysokością łoża osadzarki oraz umożliwiał pomiar poziomej warstwy ośrodka o grubości ok. 3 cm.

2. POMIAR GĘSTOŚCI ROZDZIAŁU Z ZASTOSOWANIEM GĘSTOŚCIOMIERZA RADIOMETRYCZNEGO

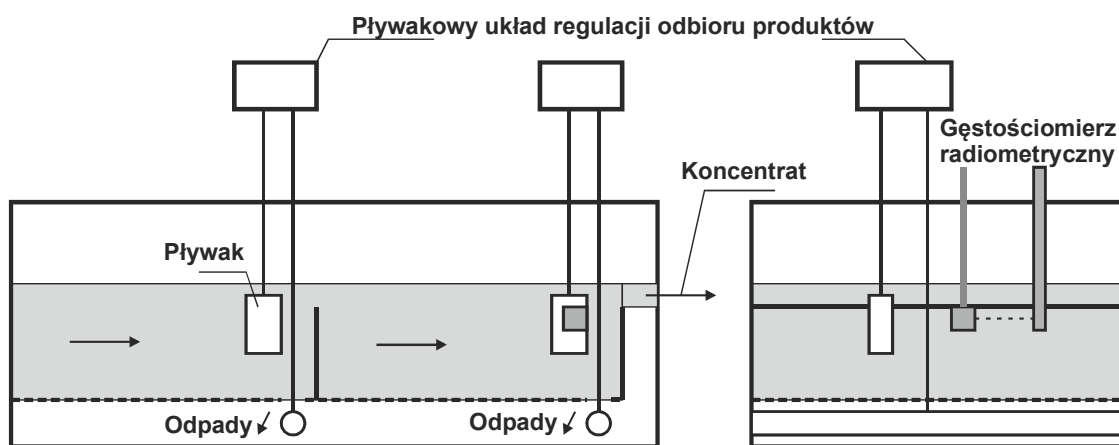
Do pomiaru gęstości ośrodka woda-węgiel w łożu osadzarki zastosowano metodę absorpcji promieniowania gamma ze źródła promieniowania ^{137}Cs umieszczonego w pojemniku ołowianym. Detektorem promieniowania jest sonda scyntylacyjna. Kolimatory wiązki promieniowania zapew-

nią uzyskanie wąskiej wiązki promieniowania oddziałującej z warstwą materiału o grubości ok. 3,0 cm, co umożliwi pomiar gęstości tzw. warstwy rozdziału, która w 50% przechodzi przelewem do koncentratu, a w 50% zostaje odprowadzona do produktu dolnego. Metoda pomiarowa zilustrowana jest na rysunku 3. Na wyjściu detektora uzyskuje się ciąg impulsów, których średnia częstość zależy wykładniczo od mierzonej gęstości ośrodka – zależność (1).

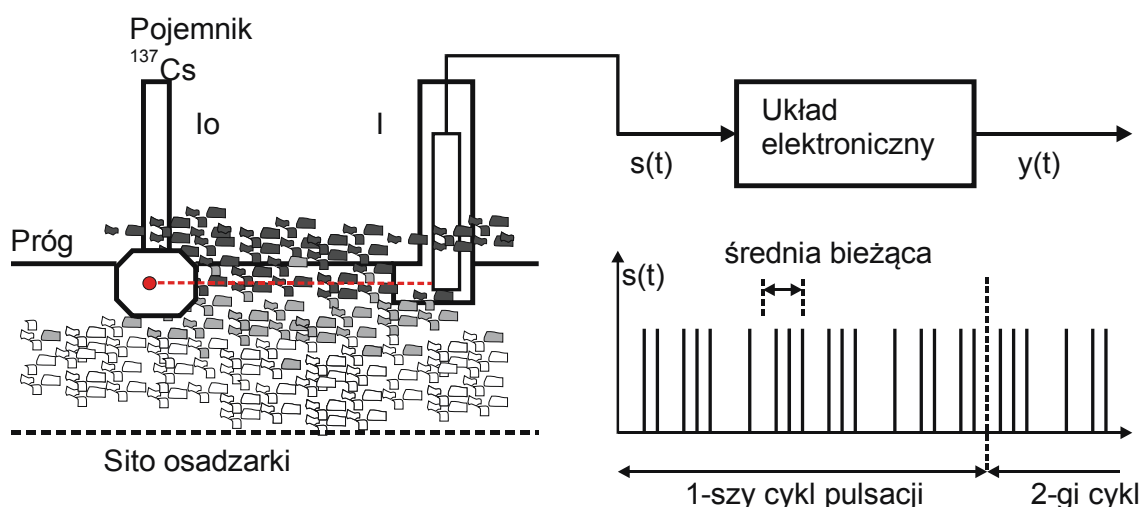
$$\rho_x = 1 - \frac{\ln\left(\frac{I_x}{I_w}\right)}{\mu d} = 1 - \frac{\ln\left(\frac{N_x}{N_w}\right)}{\mu d} \quad (1)$$

gdzie:

- I_0 – natężenie promieniowania wychodzącego z pojemnika,
- I_w – natężenie promieniowania padającego na detektor dla wody,
- N_w – liczba zliczeń impulsów na wyjściu detektora dla wody,
- I_x – natężenie promieniowania padającego na detektor dla badanego ośrodka,
- N_x – liczba zliczeń impulsów na wyjściu detektora dla badanego ośrodka,
- d – grubość absorbenta, cm,
- μ – masowy współczynnik osłabienia promieniowania, cm^2/g ,
- ρ_x – gęstość ośrodka, g/cm^3 .



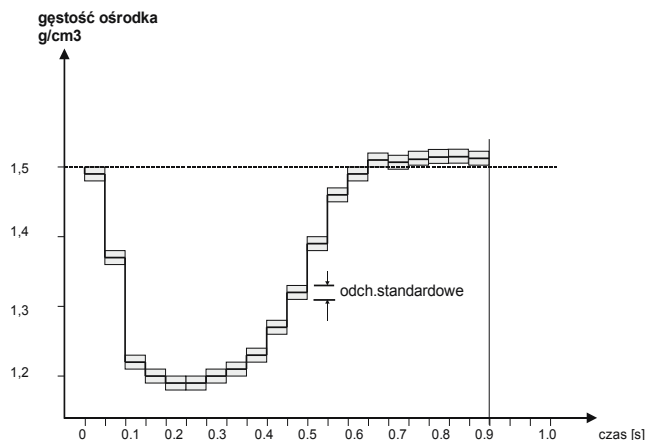
Rys. 2. Ilustracja układu technologicznego osadzarki z gęstościomierzem radiometrycznym



Rys. 3. Metoda pomiaru gęstości ośrodka woda-węgiel w korycie osadzarki

Przykładowy przebieg zmian gęstości ośrodka w ciągu jednego cyklu pulsacji przedstawiony jest na

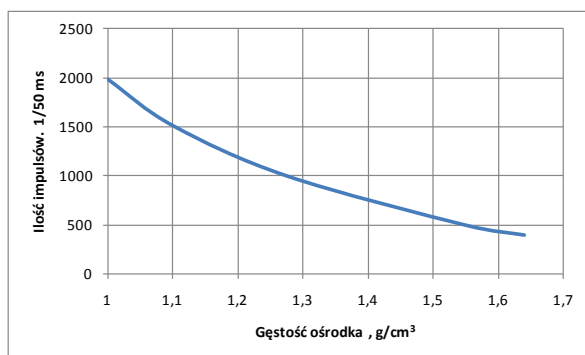
rysunku 4, a widok głowicy pomiarowej umieszczonej w korycie osadzarki na rysunku 5.



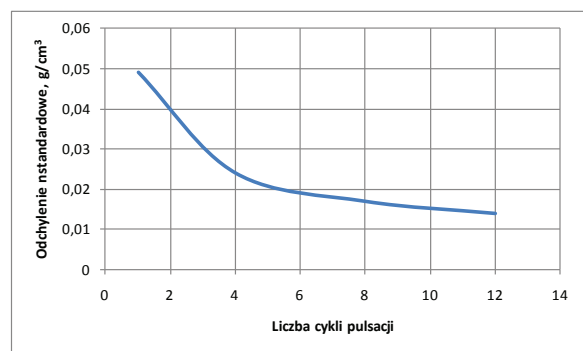
Rys. 4. Przykładowy przebieg zmian gęstości w ciągu 1 s



Rys. 5. Widok głowicy pomiarowej



Rys. 6. Charakterystyka kalibracji głowicy pomiarowej

Rys. 7. Odchylenie standardowe pomiaru dla $\rho_x=1,7 \text{ g/cm}^3$

Ze względu na wymagany krótki elementarny czas pomiaru (50 ms) istotnym problemem jest uzyskanie akceptowalnej statystycznej niepewności pomiaru gęstości (założono $< 0,01 \text{ g/cm}^3$).

Niepewność pomiaru natężenia promieniowania I_x mierzonego w czasie t i wyrażona w postaci odchylenia standardowego określona jest zależnością:

$$\sigma = 100 \cdot \frac{1}{\sqrt{I_x \cdot t}} \quad [\%] \quad (2)$$

Na podstawie charakterystyki kalibracji głowicy pomiarowej przedstawionej na rysunku 6 oraz wzoru (2) określono niepewność pomiaru gęstości osrodka σ_{ρ_x} dla końca zakresu pomiarowego $\rho_x = 1,7 \text{ g/cm}^3$ ($1,2 \text{ g/cm}^3 - 1,7 \text{ g/cm}^3$).

Wyznaczono również współczynnik przeliczeniowy gęstości osrodka na gęstość suchego materiału w łóżu osadzarki, który wynosi $k_g = 1,28$. W celu ograniczenia błędu pomiarowego gęstości osrodka przyjęto, że wynik pomiaru gęstości będzie średnią z trzech ostatnich pomiarów w każdym z 8 cykli pulsacji (ok. 10 s), co odpowiada sumarycznemu czasowi pomiaru impulsów z detektora $t_p = 1,2 \text{ s}$.

Przykładowy przebieg zmian liczby zliczanych impulsów oraz odpowiadający im przebieg zmian gęstości osrodka w 1 cyklu pulsacji przedstawiono na rysunkach 8 i 9 (na wysokości progu).

Przebieg zmian gęstości osrodka przedstawiony na rysunku 9 zależy od miejsca rejestracji (położenie głowicy pomiarowej względem sita lub progu), grubości łóża materiału w strefie odbioru i rozkładu gęstości warstw wraz z ich położeniem, parametrów cyklu pulsacji powietrza (ciśnienie, czasy otwarcia i zamknięcia zaworu wlotowego i wylotowego powietrza). W pierwszej fazie otwarcia zaworu wlotowego powietrza następuje gwałtowne podniesienie całego łóża bez efektu jego rozluźnienia (okres T_{AB}). W strefę pomiaru dostają się warstwy materiału o coraz większej gęstości i w związku z tym obserwuje się wzrost rejestrowanej gęstości. W następnym okresie (po zamknięciu zaworu wlotowego) następuje dalszy ruch materiału w górę, przy czym ziarna położone wyżej (jako mniej skrępowane) poruszają się szybciej i następuje faza rozluźnienia materiału objawiająca się zmniejszeniem się rejestrowanej gęstości. Po osiągnięciu maksymalnego stopnia rozluźnienia następuje opadanie ziaren, które może wywołać w początkowej

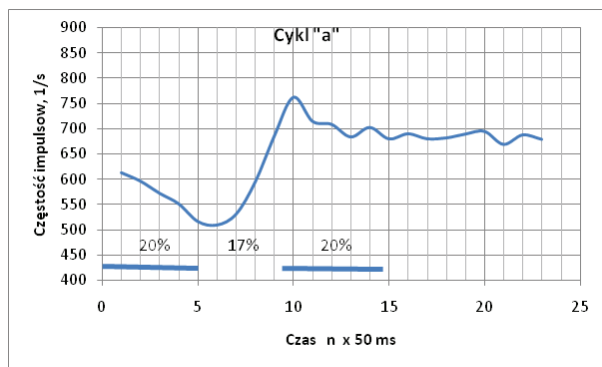
fazie dalsze zmniejszanie się gęstości na skutek pojawiania się ziaren o coraz mniejszej gęstości, a następnie zwiększanie się gęstości na skutek stopniowego osiągnięcia stanu skrzepowania. Proces osiągnięcia stanu skrzepowania (wzrostu gęstości) przyspieszony jest otwarciem zaworu wylotowego powietrza, który powinien być w odpowiednim momencie zamknięty w celu zatrzymania ruchu wody w dół i powtórzenia cyklu pulsacji w warunkach hydraulicznych, takich samych jak w poprzednim cyklu. Przyjmuje się, że okres trwania stanu rozluźnienia T_{BC} może być miarą stopnia rozluźnienia materiału.

Gęstość rozdziału węgla w osadzarce wyznacza się z odczytu wskazań gęstościomierza w końcowej części cyklu pulsacji (ostatnie 3-4 interwały pomiarowe – 50 ms dające sumaryczny czas rejestracji zliczeń impulsów z detektora – 150÷200 ms). Uśrednienie wyniku pomiaru w ciągu kolejnych k cykli pulsacji daje łączny czas pomiaru $\Delta t_p = 50 k$ ms (dla $k=8$ $\Delta t_p=1,2\div 1,6$ s).

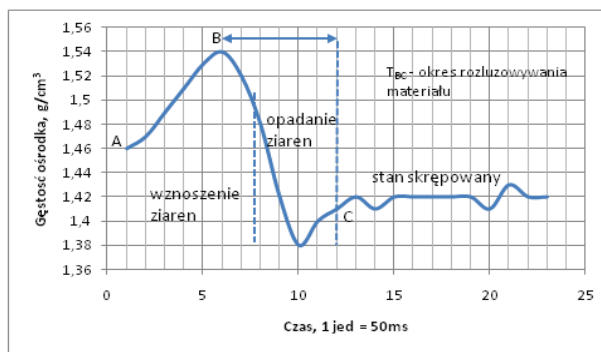
3. ROZKŁAD I ZMIANY GĘSTOŚCI MATERIAŁU W STREFIE ODBIORU PRODUKTÓW

Gęstościomierz radiometryczny został wykorzystany do badania rozkładu gęstości materiału w łożu

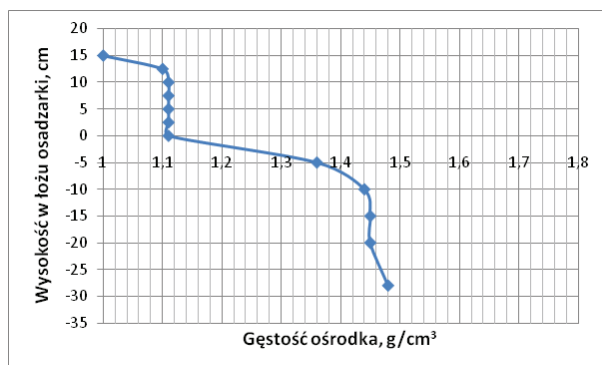
żu osadzarki oraz do badania zmian gęstości łoża w funkcji czasu, w jednym cyklu pulsacji oraz w dłuższym przedziale czasu. Wyniki tych badań pozwalają na lepsze zrozumienie mechanizmów rozdziału materiału według prędkości opadania ziaren oraz rozdziału rozwarstwowanego materiału na produkty (górny i dolny). Rozkład gęstości materiału wzdłuż wysokości łoża został wyznaczony z rozkładu gęstości ośrodka (mieszanka woda/węgiel). Na podstawie badań laboratoryjnych przyjęto, że współczynnik przeliczeniowy gęstości ośrodka na gęstość materiału jest stały i wynosi $k_g = 1,28$. Przykładowy rozkład gęstości ośrodka oraz przeliczony rozkład gęstości samego materiału (wzdłuż wysokości łoża) przedstawiony jest na rysunkach 10 i 11 (przy zamkniętym przepuszczeniu odbierającym produkt dolny w drugim przedziale). Na rysunkach przyjęto poziom 0 na wysokości progu przelewowego. Gęstość materiału od pokładu sitowego (-40 cm) do progu zmienia się nieznacznie i teoretycznie powinna być (w stanie ustalonym) równa gęstości warstwy rozdziału. Na wysokości progu przelewowego następuje znaczny spadek gęstości wynikający z pewnej ilości przerostów, a następnie utrzymuje się gęstość frakcji tworzących koncentrat o małej gęstości.



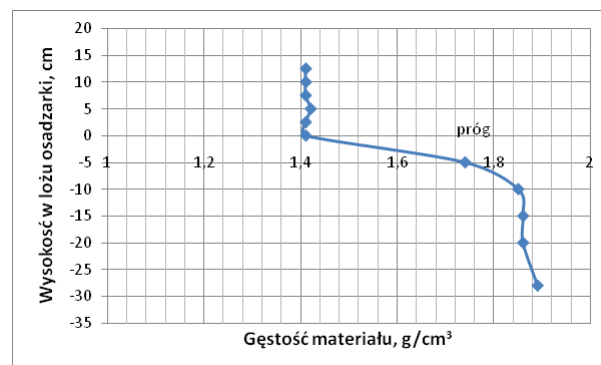
Rys. 8. Przykładowy przebieg zmian liczby impulsów



Rys. 9. Przebieg zmian gęstości ośrodka odpowiadający przebiegowi zmian liczby impulsów (rys. 7)



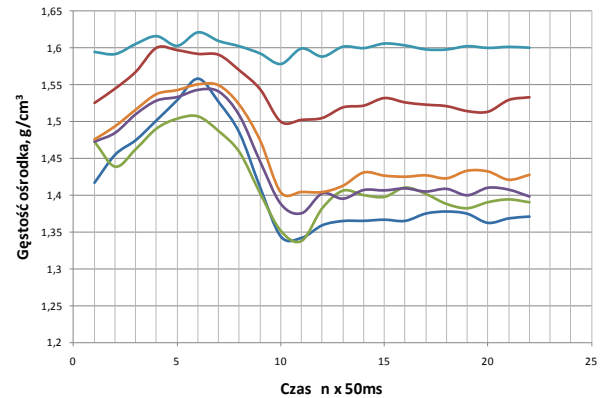
Rys. 10. Rozkład gęstości ośrodka



Rys. 11. Rozkład gęstości materiału

Z wykresów przedstawionych na rysunkach 10, 11 widać, że przy zamkniętym przepuszczeniu produktu dolnego w drugim przedziale cały materiał przedostaje się poprzez próg przelewowy do przedziału trzeciego. W dolnej części strefy odbioru gromadzi się produkt „ciężki” (o dużej gęstości ok. $1,84 \text{ g/cm}^3$ – od sita osadzarki (-40 cm) do ok. -5(-8) cm poniżej progu przelewowego). Cały materiał na wysokości powyżej (ok. -5,0 cm), na skutek pulsacji ośrodka, przedostaje się poprzez próg przelewowy do trzeciego przedziału. Rozkład gęstości materiału wskazuje na znaczną ilość koncentratu (grubość warstwy ok. 12 cm), półproduktu (grubość warstwy ok. 5 cm) oraz niewielką ilość odpadów (ok. 2-3 cm), które w większości zostały wydzielone w pierwszym przedziale. Kształt rozkładu gęstości zależy od składu densymetrycznego nadawy, gęstości rozdziału oraz od ilości produktu górnego w nadawie.

Rejestrowano zmiany gęstości ośrodka w czasie każdego cyklu pulsacji (ok. 1,2 s) w interwałach czasowych 50 ms. Typowy przebieg zmian gęstości ośrodka (materiału) przedstawiono na rysunku 9. Analiza zmian gęstości ośrodka na skutek jego rozluźniania, a następnie osiągnięcia ponownie stanu zwartego umożliwia przybliżoną ocenę maksymalnego stopnia rozluźniania materiału. Na skutek zmian ilości nadawy oraz zmian składu densymetrycznego nadawy występują istotne fluktuacje rozkładu gęstości materiału wraz z wysokością łoża. Przy stałych parametrach cyklu pulsacji (ciśnienie powietrza, czasy otwarcia i zamknięcia zaworów wlotowych i wylotowych) znaczne fluktuacje rozkładu gęstości powodują zmiany kształtu zmian gęstości ośrodka w każdym cyklu pulsacji. Zmiany kształtu zmian gęstości ośrodka w jednym cyklu pulsacji rejestrowane w ciągu 30 minut przebiegu procesu wzbogacania węgla w osadzarce przedstawiono na rysunku 12. Obserwuje się bardzo znaczne różnice w kształcie procesu rozluźniania łoża na wysokości progu, od typowego przebiegu wzrostu

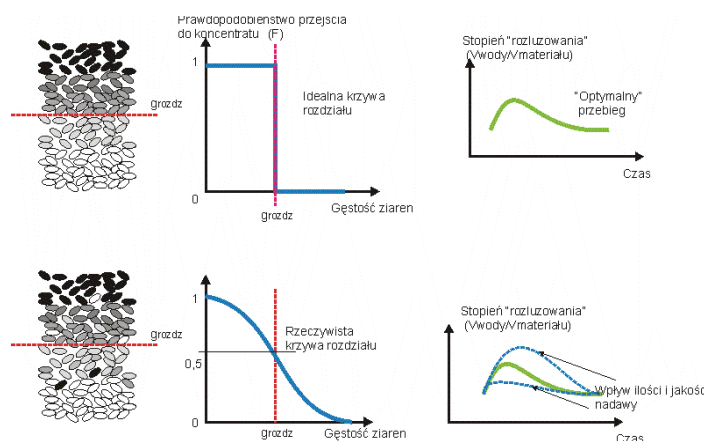


Rys. 12. Zmiany kształtu przebiegu rozluźniania ośrodka (w 1 cyklu pulsacji) w ciągu 30 minut pracy osadzarki (poszczególne przebiegi zmian gęstości rejestrowane były co ok. 5 minut)

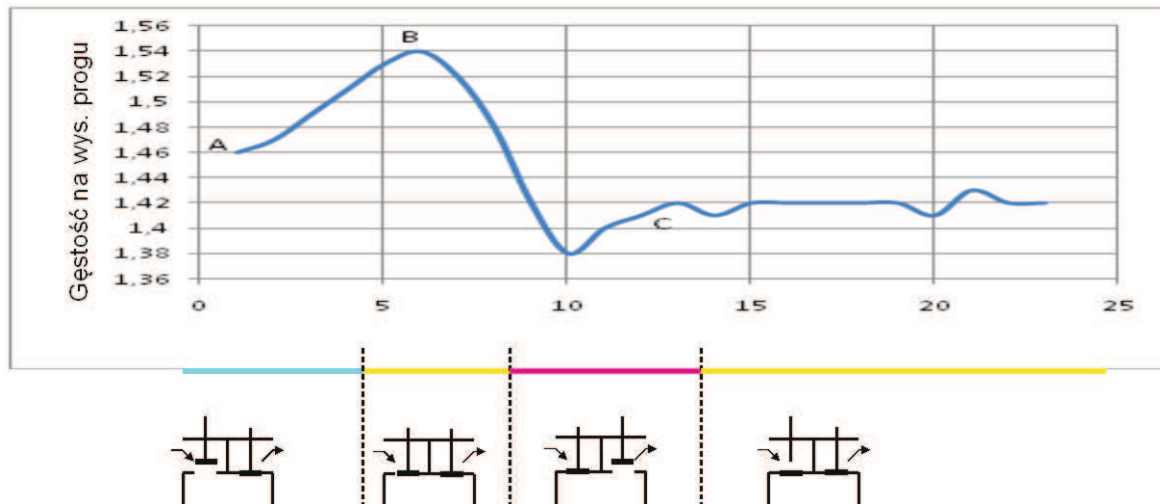
gęstości, spadku gęstości, a następnie ponownego wzrostu, do przebiegu o w przybliżeniu stałej gęstości ośrodka. Ocena stopnia rozluźniania ośrodka jest w tym przypadku bardzo trudna, ponieważ nakładają się na siebie zjawiska przemieszczania się ziaren o coraz to większych (lub mniejszych) gęstościach oraz zmieniającego się rozluźniania.

Zmiany przebiegu rozluźniania materiału w kolejnych cyklach pulsacji ośrodka powodują mniej lub bardziej efektywny proces rozdziału względem ich gęstości (prędkości opadania), co zilustrowano poglądowo na rysunku 13.

Na przebieg procesu rozluźniania węgla w osadzarce można wpływać poprzez zmiany ciśnienia powietrza oraz poprzez zmiany czasów otwarcia/zamknięcia zaworów wlotowych i wylotowych powietrza. W przeprowadzonych badaniach ograniczono się do określenia wpływu czasów otwarcia/zamknięcia zaworów powietrza. Na rysunku 14a-d przedstawiono przebieg zmian gęstości w cyklu pulsacji dla różnych dobranych czasów otwarcia i zamknięcia zaworu wlotowego powietrza.

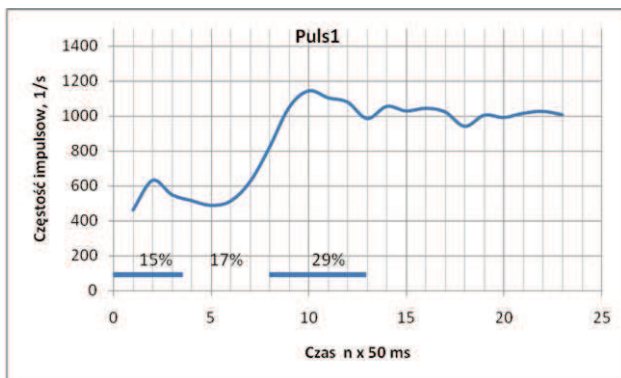


Rys. 13. Ilustracja wpływu przebiegu procesu rozluźniania materiału na efekty rozdziału materiału wg gęstości

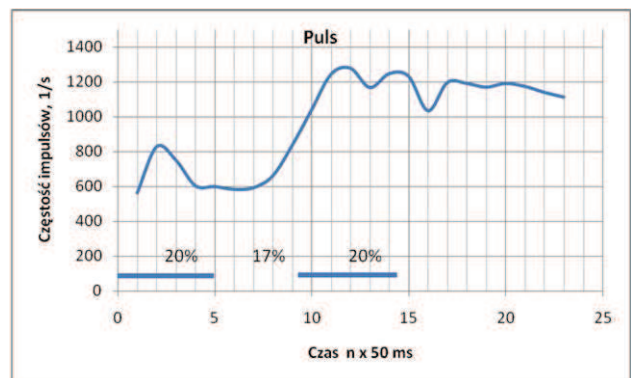


Przebieg zmian gęstości ośrodka w 1 cyklu pulsacji powodowany pracą zaworów powietrza

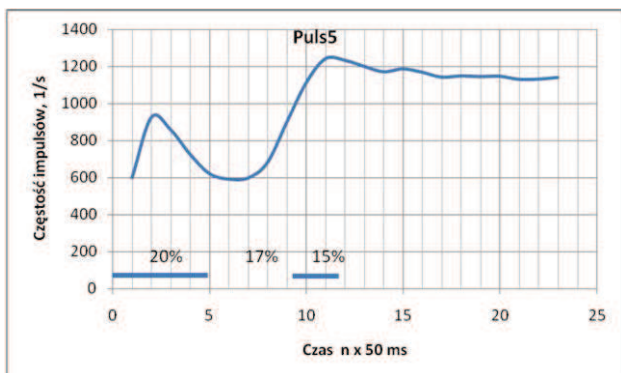
a)



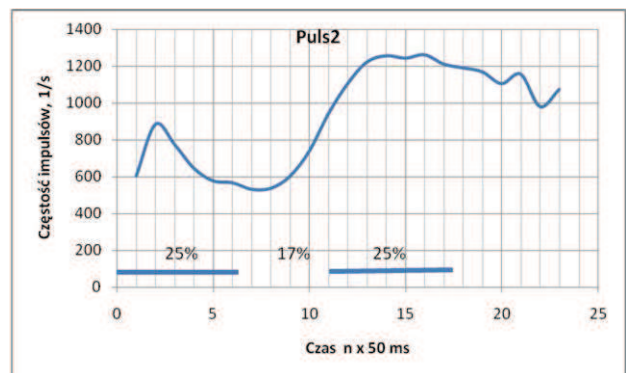
b)



c)



d)



Rys. 14 a, b, c, d. Przykładowe przebiegi zmian gęstości ośrodka (rejestrowanych częstości impulsów) dla różnych parametrów cyklu pulsacji

Z przebiegu zmian gęstości ośrodka i momentów otwarcia i zamknięcia zaworów powietrza można wyznaczyć okres T_{AB} , w którym ośrodek na wysokości progu osiąga gęstość maksymalną oraz czas T_{BC} trwania stanu rozluźniania materiału, od jego początku do końca. Zależność tych czasów od czasów otwarcia i zamknięcia zaworu wlotowego przedstawiono na rysunkach 15 i 16. Z wykresów widać, że

czas ruchu ziaren materiału w górę jako wskaźnik stopnia rozluźniania materiału jest tym większy, im dłuższy jest czas otwarcia zaworu wlotowego powietrza. Podobnie czas trwania stanu rozluźniania ziaren jako inny wskaźnik stopnia rozluźniania materiału jest tym dłuższy, im dłuższy jest czas zamknięcia zaworu wlotowego.



Rys. 15. Zależność czasu (okresu) wznoszenia się ziaren materiału T_{AB} od czasu otwarcia zaworu wlotowego (czas zamknięcia stały – 17% cyklu)



Rys. 16. Zależność czasu (okresu) trwania stanu rozluźnienia ziaren T_{BC} materiału od czasu zamknięcia zaworu wlotowego (czas otwarcia stały – 20% cyklu)

4. PODSUMOWANIE

- Badania zmian gęstości łóża osadzarki w trakcie procesu wzbogacania węgla można przeprowadzić z wykorzystaniem gęstościomierza radiometrycznego zanurzonego w tym łóżu.
- Kolimacja wiązki promieniowania w gęstościomierzu radiometrycznym powodowała, że grubość analizowanej warstwy węgla wynosiła ok. 3,0 cm. Wyniki pomiarów uśredniano w 8 kolejnych cyklach pulsacji ośrodka.
- Ruch ziaren materiału w górę zależy od ich gęstości oraz wysokości usytuowania w łóżu i jest procesem złożonym. W dolnych warstwach łóża (-28 do -15 cm poniżej progu) skok ziaren o większej gęstości jest mniejszy i rozluźnianie materiału jest mniejsze. Wraz ze wzrostem wysokości skok ziaren o mniejszej gęstości wzrasta i stopień rozluźniania materiału wzrasta. Proces ten wyraża się w obserwowanej zmianie gęstości ośrodka na różnych wysokościach łóża. Wzrost gęstości ośrodka (na poziomie progu) na skutek pojawienia się ziaren o większej gęstości na danym poziomie jest kompensowany jednoczesnym rozluźnianiem materiału na tej wysokości. Końcowy efekt zmiany gęstości zależy od wartości gęstości ziaren i stopnia rozluźniania.
- Profil rozkładu gęstości ośrodka/materiału w stanie zwartym jest silnie nieliniowy. Na wysokościach -28 cm do -10 cm gęstość ośrodka materiału zmienia się niewiele (1,84-1,82), od wysokości -8(-5 cm) do progu (0 cm - + 5 cm) spada (1,82 – 1,4), a następnie utrzymuje się do wysokości +10(+12,5) cm na poziomie 1,4 g/cm³. Można założyć, że na skutek pulsacji ośrodka, do produktu górnego przechodzą ziarna znajdujące się w stanie skrępowanym na poziomie -5 do -3 cm. Na tym poziomie znajduje się więc strefa (warstwa) rozdziału.
- Istotne zmiany gęstości ośrodka obserwowane są w przedziale wysokości warstwy 0 cm - +5 cm. Ob-

serwuje się zmianę kształtu i czasu trwania przebiegu rozluźniania i skrępowania ośrodka zależne od czasów otwarcia T_{ow1} i zamknięcia T_{zwl} zaworu wlotowego. Zakłada się w przybliżeniu, że czas wznoszenia ziaren trwa nieco dłużej niż do momentu osiągnięcia maksimum gęstości, a czas opadania do osiągnięcia stanu zwarcia materiału (czasy zbliżone do siebie). Ze wzrostem czasu otwarcia rośnie czas wznoszenia się ziaren, a ze wzrostem czasu zamknięcia – czas opadania.

- Pływakowy układ sterowania osadzarki, którego zadaniem jest utrzymywanie gęstości warstwy rozdziału na zadanej wysokości w pobliżu progu przelewowego poprzez sterowanie natężeniem odbioru produktu dolnego, pracuje poprawnie w stabilnych warunkach obciążenia osadzarki nadawą o stałym natężeniu przepływu i stałej charakterystyce wzbogacalności. Zmiany ilości i jakości nadawy powodują zakłócenia w pracy układu sterowania.
- Powyższe wnioski uzasadniają celowość wykorzystania sygnału z gęstościomierza radiometrycznego do stabilizacji gęstości rozdziału poprzez dodatkową korektę natężenia odbioru produktu dolnego. Istnieje możliwość wykorzystania sygnału z gęstościomierza do stabilizacji czasu trwania stanu rozluźniania ziaren materiału rejestrowaną na wysokości progu od osiągnięcia minimalnej gęstości (na progu) do osiągnięcia stanu zwarcia

Literatura

1. Cierpisz, S. i inni: Radiometryczny system sterowania procesem rozdziału węgla w osadzarkach. Konferencja KOMIEKO 2011, Ryto 21-24 marzec 2011.
2. Jonkers, A. and Cameron, P. M.: JigScan - A case study in product research, development and commercialisation. In: , After 2000 - The Future of Mining (Annual Conference). Sydney, NSW, (174-178). 10-12 April 2000.
3. Loveday, G. and Jonkers, A.: The Apic jig and the JigScan controller take the guesswork out of jigging. In: , Proceedings of the 14th International Coal Preparation Congress and Exhibition. XIV International Coal Preparation Congress and Exhibition, Johannesburg, RSA, (247-251). 11-15 March 2002.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Kazimierz Trybalski