

Model procesu rozdziału produktów w osadzarce pulsacyjnej węgla

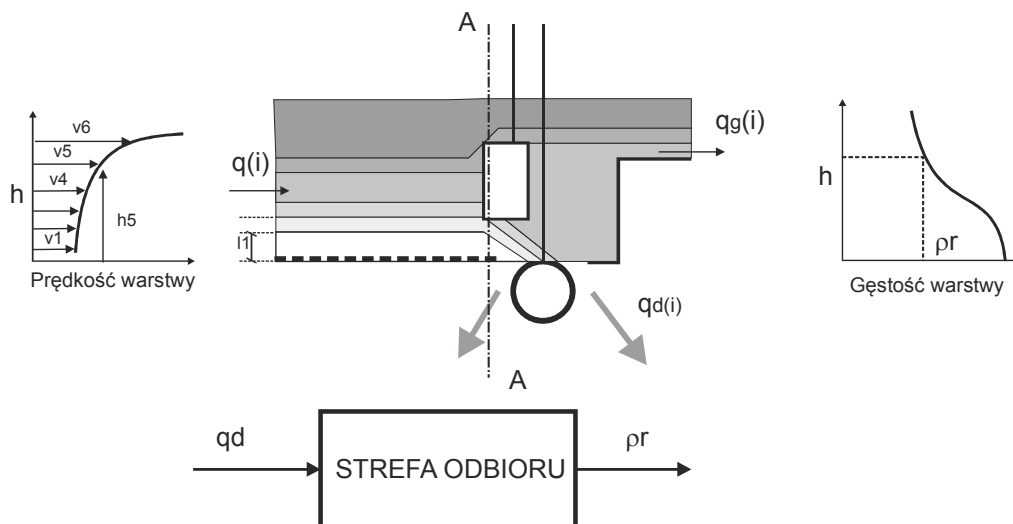
W artykule przedstawiono model strefy rozdziału produktów w osadzarce pulsacyjnej węgla, w którym zastosowano model przepływu rozwarstwowanego materiału w łóżu osadzarki w postaci warstw o gęstości zmniejszającej się od pokładu sitowego w kierunku progu przelewowego. Model zrealizowano w postaci schematu blokowego w środowisku Matlab/Simulink. Może on się stać narzędziem pomocnym dla technologów przeróbki węgla w analizie różnych zakłóceń, występujących w trakcie przebiegu procesu wzbogacania węgla w osadzarce.

1. WSTĘP

Najwygodniejszymi narzędziami służącymi do analizy działania układów sterowania rozdziałem produktów w końcowej strefie przedziału osadzarki (strefie odbioru) są modele symulacyjne [1, 3, 5]. W artykule przedstawiono efektywny model symulacyjny strefy odbioru produktów jako obiektu sterowania. Rozwarstwiony według gęstości ziaren materiał, transportowany pulsacyjnie w kierunku poziomym, trafia na końcu przedziału na próg prze-

lewowy spiętrzający warstwę materiału, oraz częściowo jest usuwany z koryta osadzarki przez szczelinę o regulowanej wielkości, znajdującą się w końcowej części pokładu sitowego. Spiętrzony materiał przedostaje się przez próg przelewowy do następnego przedziału osadzarki lub na przesiewacze odwadniające produkt górny.

Do analizy zachowania się materiału w funkcji czasu wygodnie jest przyjąć model łóża materiału, składającego się z warstw o lokujących się na wysokościach h_i i o malejącej (w górę) gęstości ρ_i , jak to przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Strefa odbioru produktów jako obiekt sterowania [1]

W stanie ustalonym na wysokości progu przelewowego znajduje się materiał o gęstości nazywanej gęstością rozdziału. Przyjmujemy, że gęstość rozdziału jest sygnałem wyjściowym obiektu sterowania, a sygnałem wejściowym (sterującym) jest natężenie przepływu produktu dolnego usuwanego z koryta przez szczelinę odbiorczą. Sygnałami zakłócającymi są natężenie przepływu nadawy i jej charakterystyka wzbogacalności. Warstwy gęstościowe materiału przesuwają się w kierunku poziomym z różnymi prędkościami v_i .

2. WARSTWOWY MODEL STREFY ODBIORU

Przyjęto następujące założenia upraszczające:

- łóże materiału składa się z „ i ” warstw dostających się do strefy odbioru z prędkościami v_i oraz z natężeniem przepływu q_i ,
- warstwy materiału o średnich gęstościach ρ_i zachowują się podobnie do odseparowanych od siebie strumieni (warstw) cieczy,
- warstwy materiału znajdujące się nad progiem poruszają się w kierunku poziomym z odpowiadającymi im prędkościami v_i ,
- grubość warstwy nad progiem wyznacza się z chwilowego bilansu objętości materiału dopływającego, wypływającego i magazynowanego w górnej części strefy,

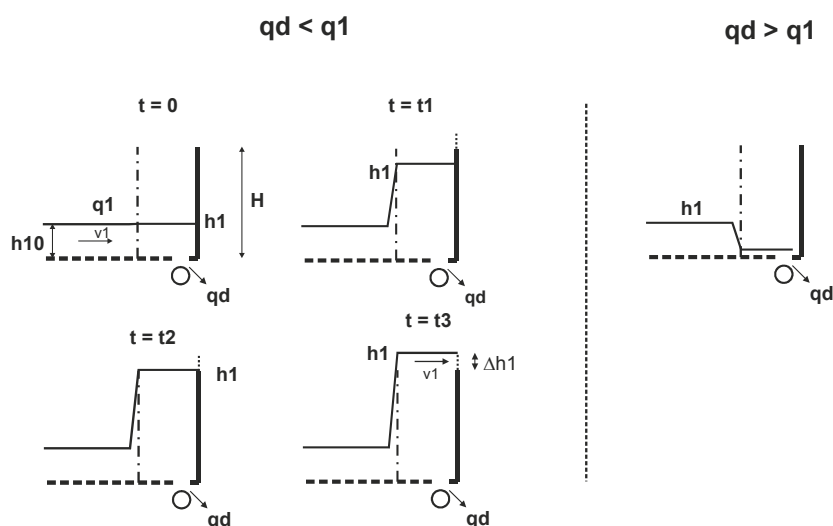
- długość strefy odbioru jest stała (ok. 0,5-1,0 m), szerokość jest równa szerokości koryta osadzarki, a jej wysokość określona jest przez wysokość progu przelewowego H , powiększoną o wysokość spiętrzonego nad progiem materiału.

Wprowadźmy następujące oznaczenia:

- $q_{(i)}$ – natężenie przepływu i -tej warstwy, t/h,
- v_i – prędkość przepływu i -tej warstwy, m/s,
- h_i – położenie i -tej warstwy względem sita, cm,
- l_i – grubość i -tej warstwy, cm,
- $q_{g(i)}$ – natężenie przepływu części i -tej warstwy do produktu górnego, t/h,
- q_d – natężenie przepływu produktu dolnego, t/h,
- S – powierzchnia strefy odbioru, m²,
- b – szerokość łóża, m,
- H – położenie progu przelewowego, cm,
- q_n – natężenie przepływu nadawy, t/h,
- q_{no} – nominalne natężenie przepływu nadawy, t/h,
- ρ_r, R_r – gęstość rozdziału, g/cm³.

2.1. Model strefy odbioru z jednakowymi prędkościami warstw

Warstwy materiału przesuwają się w kierunku strefy odbioru z natężeniami przepływu q_i [m³/h] i prędkościami v_i . Zachowanie się dolnej warstwy materiału w strefie odbioru przedstawione jest na rysunku 2.



Rys. 2. Poziom h_1 pierwszej (dolnej) warstwy materiału w funkcji czasu [1]

Najpierw założymy, że warstwy przesuwają się w poziomym kierunku z tą samą średnią prędkością v_s , a następnie uogólnimy wyprowadzone zależności dla różnych prędkości transportu warstw v_i . Wysokość (grubość) i -tej warstwy l_i w tej części osadzarki

wyznaczyć można ze wzoru:

$$l_i(t) = \frac{q_i(t)}{b \cdot v_s} \quad (1)$$

gdzie:

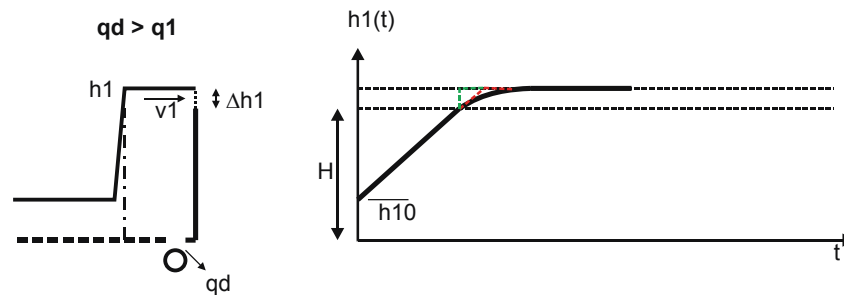
b – szerokość koryta osadzarki.

Założono, że strefa rozdziału ma kształt prostopadłościanu o podstawie $S = b \cdot d$, ograniczającego ruch materiału w górę ($d = 0,5 - 1,0$ m). Zachowanie się pierwszej (dolnej) warstwy w strefie rozdziału zależy od wielkości natężenia przepływu produktu dolnego q_d . Jeśli $q_d < q_1$, to następuje spiętrzanie się materiału tej warstwy do poziomu proggu przelewowego H , a następnie materiał opuszcza strefę odbioru w kierunku poziomym z poprzednią prędkością v_1 . Ruch materiału pierwszej warstwy w strefie odbioru określony jest podanymi niżej zależnościami i ograniczeniami, wynikającymi z bilansu masy (objętości) w strefie.

Bilans objętości materiału wpływającego, wypływającego i pozostającego w strefie odbioru w czasie dt jest następujący:

$$q_1 \cdot dt - q_d \cdot dt - q_g \cdot dt = dV \quad (2)$$

gdzie: $dV = S \cdot dh_1$



Rys. 3. Przebieg zmian $h_1(t)$ [1]

Przebieg $h_1(t)$ ma charakter czysto całkujący w przedziale $0 \leq h_1 \leq H$ oraz wykładniczy w przedziale $h_1 > H$. Stała czasowa przebiegu wykładniczego wynosi:

$$T_1 = \frac{S}{b \cdot v_s}$$

Zachowanie się dwóch warstw $h_1(t)$ i $h_2(t)$ w strefie odbioru przedstawiono na rysunku 4. Jeśli natężenie odbioru produktu dolnego q_d jest mniejsze od natężenia przepływu pierwszej warstwy q_1 , to obie warstwy przekraczają poziom proggu przelewowego H , osiągając stan ustalony na wartościach:

$$h_{1u} = H + \Delta h_{1u} = \frac{q_1 - q_d}{b \cdot v_s} \quad \text{oraz} \quad h_{2u} = H + l_{20} = \frac{q_2}{b \cdot v_s} \quad (5)$$

Jeśli natężenie przepływu produktu dolnego q_d jest większe od q_1 i mniejsze od q_2 , to obie warstwy osiągną stan ustalony na wartościach:

z warunkami:

$$q_1 = 0 \text{ dla } h_1 < 0, q_g = 0 \text{ dla } h_1 \leq H, q_g = b \cdot v_s \cdot (h_1 - H)$$

$$\text{dla } h_1 > H, q_1 - (q_d + q_g) \geq 0 \quad (3)$$

Z równania (2) można wyznaczyć zmiany $h_1(t)$ w funkcji czasu:

$$h_1(t) = \frac{1}{S} \cdot \int_0^t q_1 - (q_d + q_g) \cdot dt + l_{10} \text{ (wart. pocz.)} \quad (4)$$

$$\text{gdzie: } l_{10} = \frac{q_1}{b \cdot v_s}$$

Rozwiązanie równania (4) z warunkami (3) daje przebieg zmian $h_1(t)$, dla stałych q_1 i q_d oraz $q_1 > q_d$, przedstawiony w formie wykresu na rysunku 3.

$$h_{1u} = 0 \quad \text{oraz} \quad h_{2u} = H + \Delta h_{2u} = H + \frac{(q_1 + q_2) - q_d}{b \cdot v_s} \quad (6)$$

Jeśli $q_d < q_1 + q_2$, to obie warstwy zanikają do 0.

Przebieg położenia drugiej warstwy h_2 można wyznaczyć, podobnie jak dla warstwy h_1 , z równania (7):

$$h_2(t) = \frac{1}{S} \cdot \int_0^t [(q_1 + q_2) - (q_d + q_g)] \cdot dt + l_{20} \text{ (wart. pocz.)} \quad (7)$$

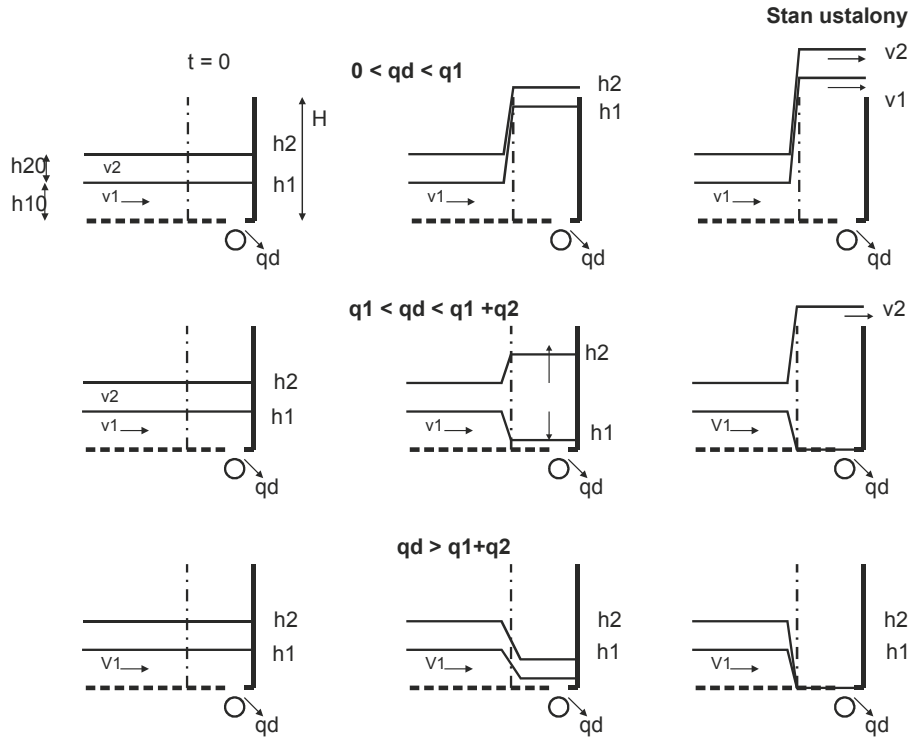
$$\text{gdzie: } l_{20} = \frac{q_1 + q_2}{b \cdot v_s}$$

z warunkami:

$$q_1 = 0, \text{ dla } h_1 < 0, q_2 = 0 \text{ dla } h_2 < 0, q_g = 0 \text{ dla } h_2 \leq H,$$

$$q_g = b \cdot v_s \cdot (h_2 - H)$$

$$\text{dla } h_2 > H, (q_1 + q_2) - (q_d + q_g) \geq 0 \quad (8)$$



Rys. 4. Zachowanie się warstwy h_1 i h_2 w zależności od natężeń przepływu q_1 , q_2 i q_d [1]

Podobnie dla i -tej warstwy, przy założeniu $v_i = v_s$, położenie $h_i(t)$ można wyznaczyć ze wzoru (9):

$$h_i(t) = \frac{1}{S} \cdot \int_0^t \{ \sum_{i=i}^i q_i \} - (q_d + q_g) \cdot dt + l_{i0} \text{ (wart. pocz.)} \quad (9)$$

gdzie: $l_{i0} = \frac{1}{b \cdot v_s} \sum_{i=i}^i q_i$

z warunkami:

$$q_i = 0 \text{ dla } h_i < 0, q_g = 0 \text{ dla } h_i \leq H, q_g = b \cdot v_s \cdot (h_i - H) \text{ dla } h_i > H \quad (10)$$

2.2. Model strefy odbioru z różnymi prędkościami warstw

Różne prędkości poszczególnych warstw gęstościowych, przy zadanych natężeniach przepływu, wpływają jedynie na grubości tych warstw przed strefą odbioru i powyżej progu przelewowego, gdzie materiał przesuwany w kierunku poziomym z prędkościami v_i .

Dla pierwszej warstwy gęstościowej (dolnej) wzór (4) należy zmodyfikować w zaprezentowany sposób:

W zakresie wartości poziomów $0 - H$, $h_1(t)$ obliczać należy według wzoru (4), natomiast dla $h_1(t) > H$ konwersja przebiegu $h_1(t)$ ze średnią prędkością v_s do prędkości v_1 jest następująca:

$$\Delta h_1(t) = \frac{v_1}{v_s} \cdot \Delta h_{1(v=v_s)} = \frac{1}{S} \cdot \frac{v_1}{v_s} \int_0^t (q_q - q_d - b \cdot v_s \cdot h_1(t)) \cdot dt - H \quad (11)$$

z dodatkowym warunkiem: $h_1(t) = 0$ dla $h_1(t) < H$ i dalej

$$h_1(t) = H + \Delta h_1(t) \quad (12)$$

Dla drugiej warstwy przebieg jej położenia $h_2(t)$ w zakresie $0 - H$ określa równanie (7). Dla $h_2(t) > H$ konwersja przebiegu $h_2(t)$ dla prędkości v_2 jest następująca:

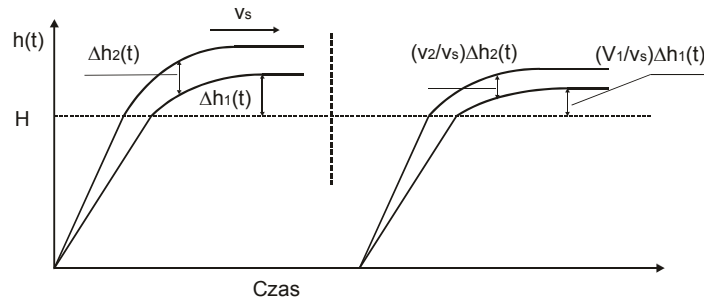
$$\Delta h_{2(v=v_2)}(t) = \frac{1}{S} \cdot \int_0^t [(q_1 - q_2) - (q_d + b \cdot v_s \cdot \Delta h_2(t))] \cdot dt - H \quad (13)$$

z warunkiem $\Delta h_2(t) = 0$ dla $h_2(t) < H$, i dalej

$$\Delta h_2(t) = \frac{v_2}{v_s} \cdot (\Delta h_{2(v=v_2)} - \Delta h_{1(v=v_2)}) \quad (14)$$

$$h_2(t) = H + \Delta h_2(t) \quad (15)$$

Konwersję zmian poziomów warstw $h_1(t)$ i $h_2(t)$ przy stałej prędkości warstw v_s i różnych prędkościach v_1 i v_2 przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Ilustracja konwersji przebiegu $h_1(t)$ i $h_2(t)$ z prędkości poziomej v_s do v_1 [2]

Podobnie można wyznaczyć położenie i -tej warstwy, której przebieg w zakresie $0-H$ opisuje równanie (9), zmodyfikowane do i warstw warunkiem początkowym:

$$l_{i0} = \frac{q_i}{b \cdot v_i} \quad (16)$$

$$\Delta h_i(t) = \frac{v_i}{v_s} \cdot (\Delta h_{i(v=v_s)} - \Delta h_{i-1(v=v_s)}) \quad (17)$$

Konwersja przebiegów dla różnych prędkości transportowych warstw w kierunku poziomym następuje jedynie dla części przebiegów powyżej progu przelewowego H i w warunkach początkowych grubości warstw.

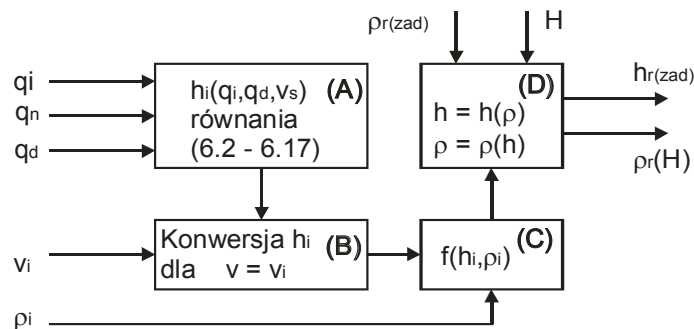
Warstwom materiału w łożu osadzarki przypisany jest zbiór ich gęstości $h_i = h_i(\rho_i)$, monotonicznie rosnący od powierzchni łoża do poziomu sita. Odwrotną funkcją jest zależność gęstości warstwy od jej położenia $\rho_i = \rho_i(h_i)$. Interpolacja tablicy wartości (ρ_i, h_i) pozwala na wyznaczenie ciągłej zależności $\rho = \rho(h)$, stosowanej do określenia gęstości rozdziału.

Przyjmuje się, że gęstość rozdziału ρ_r jest gęstością warstwy materiału znajdującej się w danym momencie na poziomie progu przelewowego H . W rzeczywistości, na skutek pulsacyjnego przelewu materiału przez próg, warstwa ta znajduje się nieco (2-5 cm) poniżej progu.

$$\rho_r = \rho(H) \quad (18)$$

Gęstość rozdziału zmienia się w trakcie procesu wzbogacania na skutek zmian natężenia przepływu nadawy, zmian charakterystyki wzbogacalności nadawy oraz na skutek zmian w natężeniu przepływu produktu dolnego q_d , odbieranego przez szczelinę odbiorczą. Gęstość rozdziału, podobnie jak w przypadku wzbogacalników zawieszinowych z cieczą ciężką, powinna być stabilizowana na wartości zadanej $\rho_{r(zad)}$. Aktualne położenie warstwy $h_{r(zad)}$ o zadanej gęstości rozdziału można wyznaczyć z wielomianu $h = h(q_{r(zad)})$.

Schemat blokowy modelu strefy rozdziału według równań (2-17) i zrealizowany w środowisku Matlab/Simulink przedstawiony jest na rysunku 6.



Rys. 6. Schemat blokowy modelu strefy rozdziału [2]

Model składa się z czterech bloków przetwarzających wielkości wejściowe na wielkości wyjściowe. Wielkościami wejściowymi są: natężenie przepływu nadawy q_n , natężenia przepływu warstw gęstościowych na wejściu do strefy rozdziału q_i , prędkości transportu warstw w kierunku poziomym v_i , wysokość progu przelewowego H oraz zadana gęstość

rozdziału $\rho_{r(zad)}$. Podstawową wielkością sterującą jest natężenie przepływu produktu dolnego q_d .

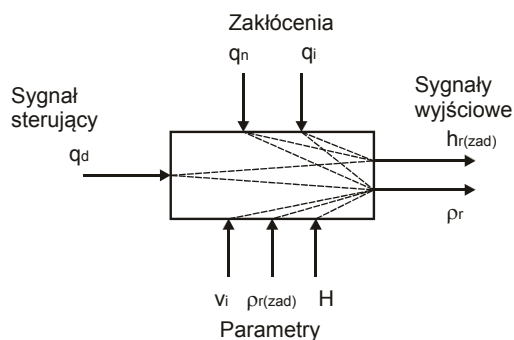
Natężenia przepływu warstw gęstościowych na wejściu do strefy rozdziału wyznaczane są z natężenia przepływu nadawy q_n , charakterystyki wzbogacalności nadawy oraz krzywej rozdziału osadzarki.

Wielkościami wyjściowymi są: gęstość rozdziału ρ_r , definiowana gęstością warstwy znajdującej się aktualnie na wysokości progu (H), oraz położenie $h_{r(zad)}$ warstwy o pożądanej (zadanej) gęstości rozdziału. Zakłada się, że położenie warstwy o zadanej gęstości rozdziału jest określone położeniem pływaka (w stanie zwartym materiału) w każdym cyklu pulsacji.

W module (A) zostają wyznaczone położenia h_i warstw gęstościowych w funkcji czasu przy założonych jednakowych prędkościach warstw v_s , w bloku (B) następuje przetworzenie położenia warstw h_i na wartości wynikające z różnych prędkości warstw v_i . W module (C) następuje przypisanie poszczególnym warstwom h_i odpowiadających im gęstości ρ_i , a w bloku (D) – interpolacja dyskretnych wartości h_i (przy $v = v_i$) na ciągłe zależności $h(\rho)$ i $\rho(h)$ oraz wyznaczenie wartości sygnałów wyjściowych $h_{r(zad)}$ i ρ_r .

3. BADANIA SYMULACYJNE

Rozpatrzmy strefę odbioru w pierwszym przedziale osadzarki, w którym jako produkt dolny wydzielane są odpady. Strefę odbioru jako obiekt regulacji, przedstawioną na rysunku 7., opisuje się charakterystykami statycznymi i dynamicznymi. Przyjmijmy, że podstawowymi zakłóceniami są parametry nadawy (q_n i q_i), podstawowym sygnałem sterującym jest q_d , a sygnałami wyjściowymi – $h_{r(zad)}$ i ρ_r . Dodatkowymi sygnałami wejściowymi (parametrami) są v_i , $\rho_{r(zad)}$, H . W tabeli 1. przedstawiono przykładowy (przyjęty do obliczeń) procentowy rozkład natężeń przepływu warstw gęstościowych w formie tabelarycznej.



Rys. 7. Strefa odbioru jako obiekt regulacji [2]

Tabela 1

Rozkład natężeń przepływu warstw gęstościowych [2]

Gęst. warstwy ρ_i g/cm ³	q_i [%]	h_i cm	v_i cm/s
< 1,4	48	5,3	30,0
1,4 – 1,5	7	1,3	18,0
1,5 – 1,6	5	0,9	
1,6 – 1,8	5	1,3	13,0
1,8 – 1,9	4	1,0	
1,9 – 2,0	5	1,5	11,0
2,0 – 2,3	10	3,4	9,7
2,3 – 2,6	16	5,9	9,0
suma	100%	20,6	$v_s = 15$

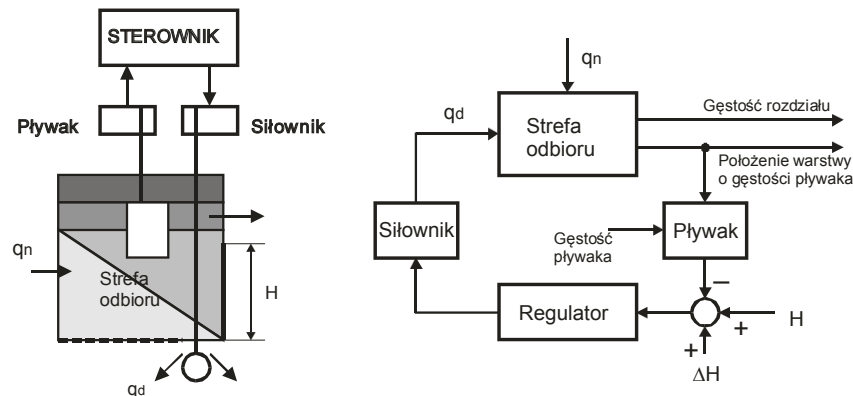
W modelu przyjęto parametry osadzarki podane w tabeli 2.

Tabela 2

Parametry modelu osadzarki [2]

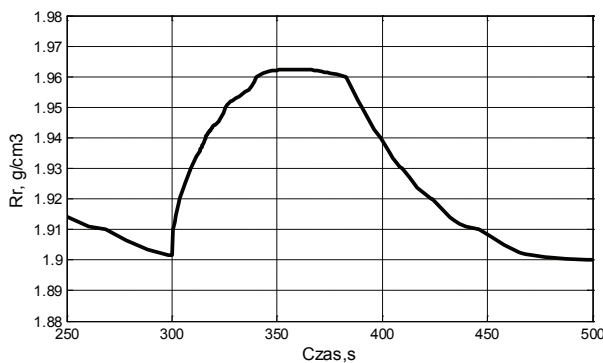
<p>Średnia wydajność osadzarki (nadawa): $Q_n = 360$ t/h, Objętość 1t łoża (materiału) w stanie zwartym: 1 m³, Szerokość osadzarki: $b = 3$ m, Liczba przedziałów: 2, Zakres zmian gęstości rozdziału: – pierwszy przedział: 1,8-2,0 g/cm³, – drugi przedział: 1,4-1,6 g/cm³.</p>	<p>Średnia prędkość materiału w kierunku poziomym: $v_s = 0,15$ m/s, Wysokość progu: $H = 30-40$ cm, Powierzchnia strefy rozdziału: $S = (3 \times 1) = 3$ m², Charakter zmian gęstości w warstwie: liniowy.</p>
--	---

Model symulacyjny strefy odbioru przedstawiony w punkcie 2. niniejszego artykułu umożliwi symulacyjne badanie pływakowego układu sterowania od-



Rys. 8. Schemat blokowy pływakowego układu sterowania odbiorem produktu dolnego [2]

W układzie tym pływak o odpowiednio dobranej gęstości i kształcie powinien zajmować położenie warstwy wybranej jako warstwa (gęstość) rozdziału. Wybrana warstwa rozdziału powinna zajmować zawsze położenie na wysokości progu przelewowego H . Gęstość rozdziału powinna być ustalana przez odpowiednio dobraną gęstość pływaka, który teoretycznie powinien zajmować położenie na wysokości progu przelewowego. W praktyce gęstość rozdziału ustala się przez zmianę zadanego położenia pływaka, zwykle wyższego od progu przelewowego H o wartość ΔH . Wartość ΔH , dla danego rozkładu gęstości materiału, określa pożądaną gęstość rozdziału. Powoduje to, że w przypadku zmian rozkładu gęstości materiału w łóżu materiału w strefie pomiędzy położeniem pływaka a progiem przelewowym występuje różnica (błąd) pomiędzy zadaną a rzeczywistą gęstością rozdziału. Efekt ten przedstawiono na rysunkach 9. i 10.

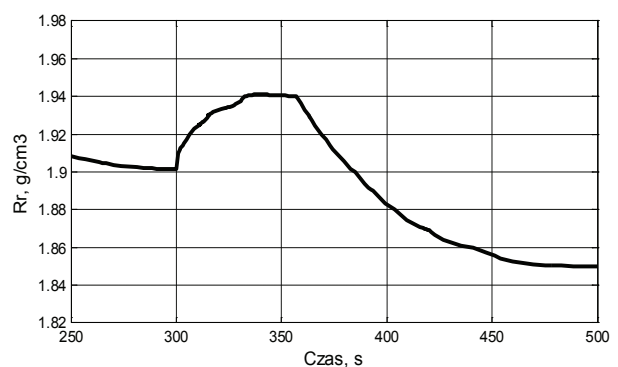


Rys. 9. Reakcja układu sterowania (gęstości rozdziału R_r) na skokowe zwiększenie q_n o 30%. Gęstość pływaka równa gęstości rozdziału, a zadane położenie na wysokości progu $H=30$ cm [2]

biorem produktu dolnego w osadzarce. Schemat blokowy układu sterowania przedstawiony jest na rysunku 8.

Na rysunku 9. pokazano reakcję układu sterowania z regulatorem I ($k_i = 0,3$) na skokową zmianę natężenia przepływu nadawy z $q_n = q_{no}$ do $q_n = 1,3 q_{no}$. Gęstość pływaka odpowiadała gęstości warstwy $1,9 \text{ g/cm}^3$, a zadana wysokość jego położenia była równa wysokości progu $H = 30$ cm. W tym przypadku statyczny błąd regulacji był równy zeru.

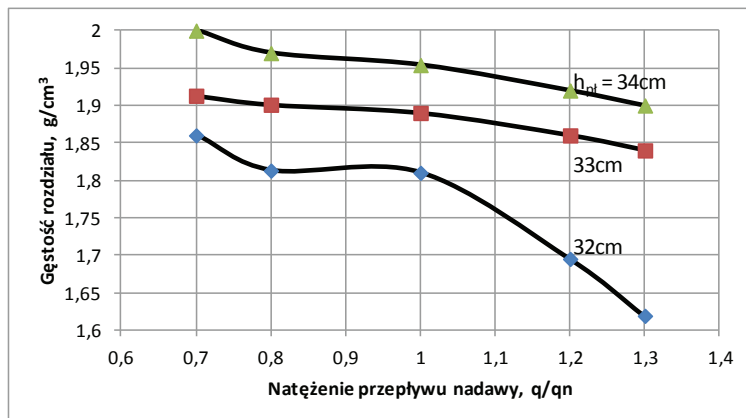
Na rysunku 10. przedstawiono reakcję układu sterowania z zadanym położeniem pływaka $H + \Delta H = 33$ cm oraz wynikającą z tego gęstością warstwy wskazywaną przez pływak $1,55 \text{ g/cm}^3$. Ta gęstość pływaka zapewnia uzyskanie gęstości rozdziału $1,9 \text{ g/cm}^3$ dla nominalnej nadawy $q_n = q_{no}$ (jak w poprzednim przypadku). Zmiana natężenia przepływu nadawy do wartości $q_n = 1,3 q_{no}$ powoduje ustabilizowanie się gęstości rozdziału na wartości $1,95 \text{ g/cm}^3$. Powstały błąd regulacji ($0,05 \text{ g/cm}^3$) wynika ze zmiany rozkładu gęstości materiału na skutek jej zwiększonego natężenia przepływu.



Rys. 10. Reakcja układu sterowania (gęstości rozdziału) na skokowe zwiększenie q_n o 30%. Gęstość pływaka równa $1,55 \text{ g/cm}^3$, a zadane położenie – 33 cm [2]

Na rysunku 11. przedstawiono błędy działania układu sterowania dla różnych zmian natężenia prze-

plywu nadawy oraz różnych zadanych położeń pły-waka w stosunku do wysokości proggu przelewowego.

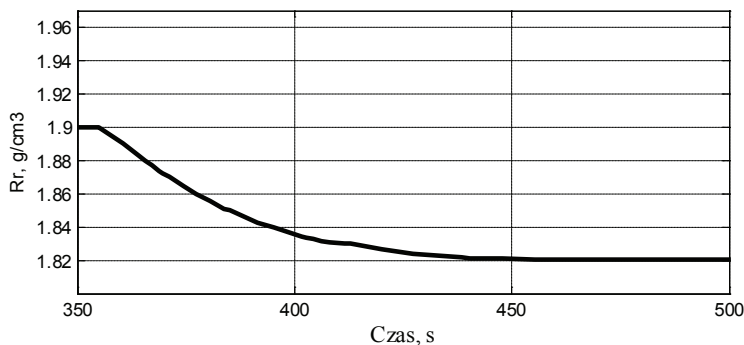


Rys. 11. Zmiany gęstości rozdziału w funkcji zmian q_n dla różnych zadanych położeń pływaka [2]

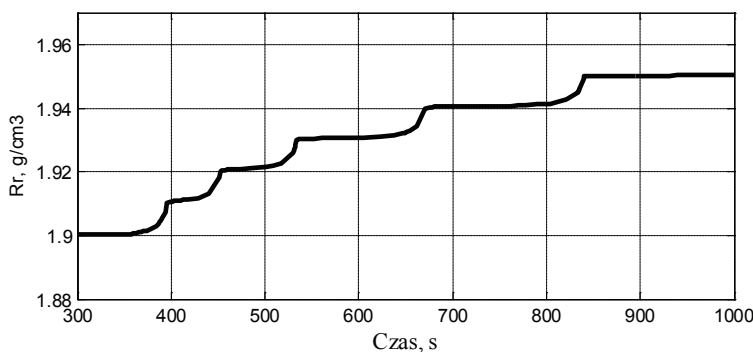
Dla nominalnego natężenia przepływu nadawy $q_n/q_{no} = 1$ oraz dla gęstości warstwy wskazywanej przez pływak ($1,55 g/cm^3$) gęstość rozdziału zależy od zadanego położenia pływaka. Dla zadanego położenia $h_{plzad} = H + \Delta H = 32 cm$ gęstość rozdziału wynosi $1,8 g/cm^3$, dla $h_{plzad} = 33 cm$ wynosi $1,89 g/cm^3$ i dla $h_{plzad} = 34 cm$ wynosi $1,95 g/cm^3$. Zmiany nadawcy w zakresie od 0,7 do 1,3 q_{no} powodują, że pływa-

kowy układ sterowania stabilizuje gęstość rozdziału z błędami dochodzącymi do $\pm 0,5 g/cm^3$.

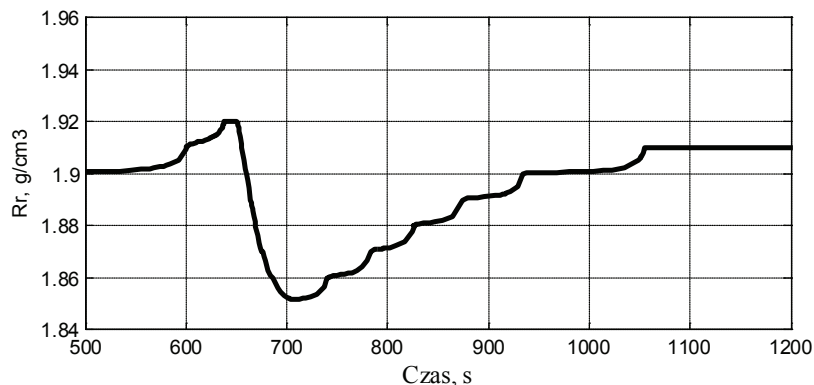
Na rysunkach 12. i 13. przedstawiono odpowiedzi układu sterowania na skokowe zmiany zadanego położenia pływaka o gęstości wskazującej położenie warstwy $1,55 g/cm^3$. W ten sposób w pływakowym układzie sterowania ($k_i = 0,3$) najczęściej zmieniana jest gęstość rozdziału.



Rys. 12. Odpowiedź układu sterowania (gęstość rozdziału) na skokową zmianę zadanego położenia pływaka (33→34 cm) [2]



Rys. 13. Odpowiedź układu sterowania (gęstość rozdziału) na skokową zmianę zadanego położenia pływaka (33→32 cm) [2]



Rys. 16. Odpowiedź układu regulacji na skokową zmianę natężenia przepływu nadawy $q_n/q_{no} 1,0 \rightarrow 1,3$ ($k_{i1} = 0,3$, $k_{i2} = 0,2$) [2]

Układ regulacji doprowadza gęstość rozdziału do wartości zadanej ($1,9 \text{ g/cm}^3$). W przypadku układu bez gęstościomierza radiometrycznego błąd regulacji wynosił ok. $0,05 \text{ g/cm}^3$, jak to przedstawiono na rysunku 10.

4. PODSUMOWANIE

Strefa odbioru produktów w osadzarce – dla sygnałów: wejściowego (natężenie odbioru produktu dolnego) i wyjściowego (gęstość rozdziału) – jest nieliniowym układem całkującym z ograniczeniami. Zapropionowany model matematyczny strefy odbioru, oparty na analizie zachowania się poszczególnych warstw gęstościowych w funkcji czasu w reakcji na zmiany wielkości zakłócających, pozwala na efektywną analizę własności dynamicznych strefy odbioru jako obiektu regulacji oraz całego pływakowego układu sterowania odbiorem produktu dolnego. Symulacja układu, zrealizowana w środowisku Matlab/Simulink, wykonywana była dla dyskretnego rozkładu gęstości w badanych obszarach z przedziałami co $0,01 \text{ g/cm}^3$.

Wyniki badań symulacyjnych potwierdzają w przybliżeniu wyniki badań przemysłowych [2]. Obserwuje się istotny wpływ sposobu wykorzystania pływaka na efekty stabilizacji gęstości rozdziału w obecności zakłóceń (np. natężenia przepływu nadawy). Dla stabilnej pracy pływaka niezbędne jest m.in. dobranie odpowiedniej jego gęstości oraz usytuowanie go powyżej progu przelewowego. Powoduje to powstanie istotnych błędów stabilizacji gęstości rozdziału, dochodzących do $0,05 \text{ g/cm}^3$. Reakcja układu sterowania jest znacznie szybsza na zmniejszenie zadanej gęstości rozdziału (80-100 s) w porównaniu do reakcji na jej zwiększenie (200-250 s). W badaniach przemysłowych te przybliżone stałe

czasowe wynosiły odpowiednio ok. 150 i 300 s [2]. Wynika to z nieliniowości charakterystyki dynamicznej strefy odbioru produktów. Pływakowy układ regulacji

z dodatkowym gęstościomierzem radiometrycznym [2], mierzącym gęstość rozdziału i korygującym zadane położenie pływaka, daje znacznie lepsze efekty w porównaniu z układem z samym pływakiem.

Literatura

1. Cierpisz S., Kowol D., Joostberens J.: *Model symulacyjny strefy rozdziału węgla w osadzarce*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 2010, nr 10.
2. Cierpisz S.: *Analiza procesu rozdziału węgla na produkty w osadzarce z zastosowaniem gęstościomierza radiometrycznego*. „Górnictwo i Geologia”, t. 6, z. 2, Gliwice 2011.
3. King R.P.: *Modeling and simulation of mineral processing systems*, Butterworth-Heineman 2001.
4. Srinivasan R., Mishra B.K., Mehrotra S.P.: *Simulation of particle stratification in jigs*. „Coal Preparation”, vol. 20, 1999.
5. Xia Y., Peng F.F., Wolfe E.: *CFD simulation of fine coal segregation and stratification in jigs*. „International Journal of Mineral Processing”, vol. 82, April, 2007.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.