

Układy regulacji odbioru produktów w osadzarkach

W artykule przedstawiono rozwój układów regulacji procesu wzbogacania węgla w osadzarkach, w szczególności układów sterowania odbiorem produktu dolnego. Układy te stabilizują gęstość rozdziału węgla na zadanym poziomie. Zaprezentowano układy oparte na pomiarze ciśnienia wody pod pokładem sitowym osadzarki, układy pływakowe oraz układy z zastosowaniem gęstościomierza radiometrycznego. Przeprowadzono analizę porównawczą tych układów, przedstawiono zalety i wady poszczególnych rozwiązań na podstawie oceny błędów pomiarowych poszczególnych metod.

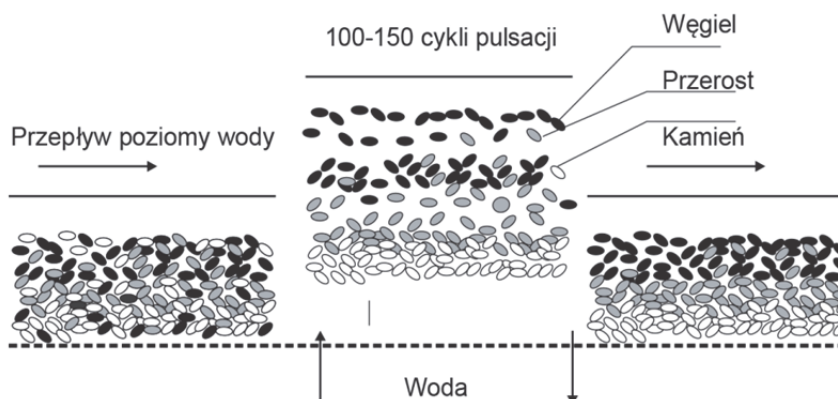
słowa kluczowe: wzbogacanie węgla, osadzarki, automatyczna regulacja

1. WSTĘP

Węgiel surowy (miał) w większości wzbogacany jest w wodnych osadzarkach pulsacyjnych, których działanie opiera się na grawitacyjnym rozwarstwieniu ziaren surowca poddawanego cyklicznym pulsacjom w ośrodku wodnym. W trakcie kolejnych cykli pulsacji następuje stopniowy rozdział węgla na warstwy o różnym składzie densymetrycznym: ziarna o większej gęstości (zawartości popiołu) lokują się w dolnych warstwach łoża osadzarki, natomiast ziarna o małej gęstości – w górnej części łoża. Produkt dolny (odpady lub przerost) odprowadzany jest z osadzarki poprzez układ odbioru z regulowaną szczeliną odbiorczą, a produkt górny (koncentrat) odprowa-

dzany jest poprzez próg przelewowy. Proces rozdziału ziaren według ich gęstości nie jest idealny, ponieważ opiera się na różnicy prędkości opadania ziaren, a ta zależy również od wielkości ziaren i ich kształtu.

Rozdział materiału w osadzarce na produkt górny i dolny określony jest gęstością rozdziału równą gęstości warstwy materiału, która w połowie przechodzi do produktu górnego i w połowie do produktu dolnego. Do sprawnej pracy osadzarki konieczne jest dostosowywanie parametrów pulsacji powietrza (ciśnienie, kształt) do zmieniających się warunków obciążenia osadzarki nadawą pod względem jej ilości i jakości. Konieczne jest również utrzymywanie gęstości rozdziału na zadanym poziomie poprzez regulację natężenia przepływu odprowadzanego produktu dolnego.



Rys. 1. Ilustracja procesu wzbogacania węgla w osadzarce [8]

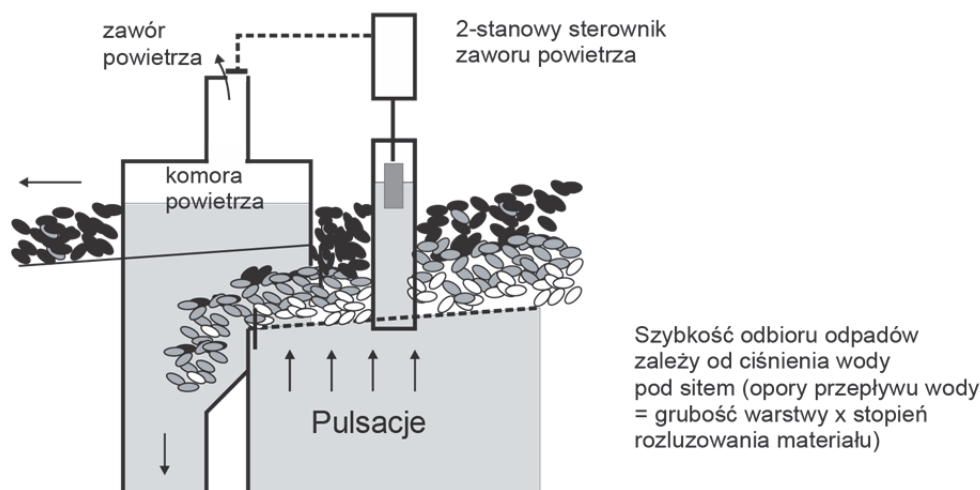
2. UKŁADY REGULACJI ODBIORU PRODUKTÓW

Podstawowym i najbardziej rozpowszechnionym układem regulacji procesu wzbogacania węgla w osadzarkie jest układ odbioru produktu dolnego i górnego w każdym przedziale osadzarki. Celem regulacji w tym układzie jest stabilizacja gęstości rozdziału na zadanej wartości, a sygnałem sterującym jest natężenie przepływu produktu dolnego. W rozwoju układów regulacji gęstości rozdziału istotny był zawsze pośredni sposób pomiaru gęstości rozdziału, a więc gęstości warstwy znajdującej się umownie na wysokości progu przelewowego i przechodzącej w 50% procentach do produktu górnego i dolnego. Wyróżnić należy trzy najważ-

niejsze metody pomiaru gęstości rozdziału – poprzez pomiar: (a) ciśnienia wody w rurce zanurzonej pod pokładem sitowym osadzarki, (b) położenia pływaka o odpowiednich rozmiarach i gęstości oraz (c) absorpcji promieniowania gamma w ośrodku na wysokości progu przelewowego.

2.1. Układy z pomiarem ciśnienia wody

Układy regulacji z pomiarem ciśnienia wody rozwinęły się w Wielkiej Brytanii i we Francji w latach 1950-60. W Wielkiej Brytanii układy takie zostały opracowane przez ACCO (*Automatic Coal Cleaning Company*) oraz przez RMDE Bretby (*Hirst Automatic Refuse Control*). Zasada działania takiego układu regulacji przedstawiona jest na rys. 2.



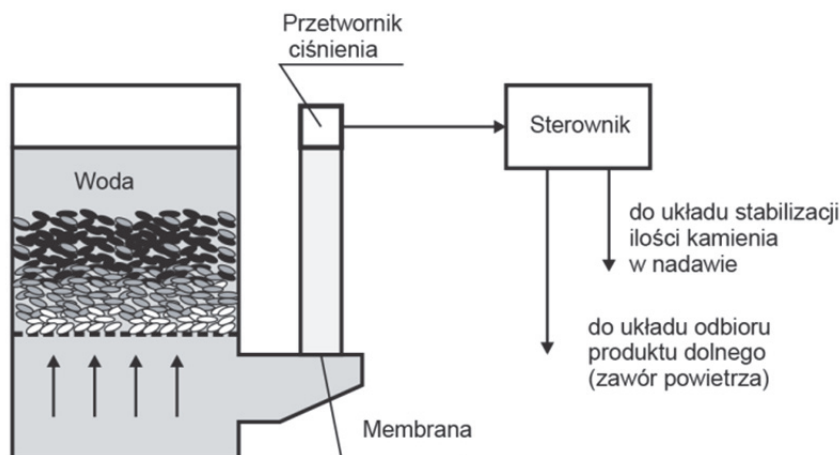
Rys. 2. Układ regulacji odbioru produktu dolnego firmy ACCO [8]

W układzie tym elementem pomiarowym jest rura wodna zanurzona w dolnej części, tuż pod pokładem sitowym osadzarki. Poziom wody w rurce pomiarowej pulsuje w takt pulsacji ośrodka woda/węgiel, a jego położenie jest proporcjonalne do ciśnienia wody pod pokładem sitowym osadzarki. Ciśnienie wody pod pokładem sitowym zależy od ruchu materiału w górę lub w dół oraz od oporów przepływu wody przez materiał łoża, a te z kolei zależą od grubości warstwy materiału oraz od stopnia jego rozluźnienia w każdym cyklu pulsacji. Maksymalne ciśnienie występuje tuż przed początkiem rozluźnienia łoża (stan fluidalny). W tym momencie ciśnienie wody jest określone przez spadek ciśnienia na wysokości zwartego (i poruszającego się w górę) łoża oraz ruch (przyśpieszenie) wody. Spadek ciśnienia zależy od grubości łoża oraz od stopnia jego upakowania (rozluźnienia) i w związku z tym pomiar ciśnienia nie jest dokładną miarą ilości materiału w łożu, jeśli

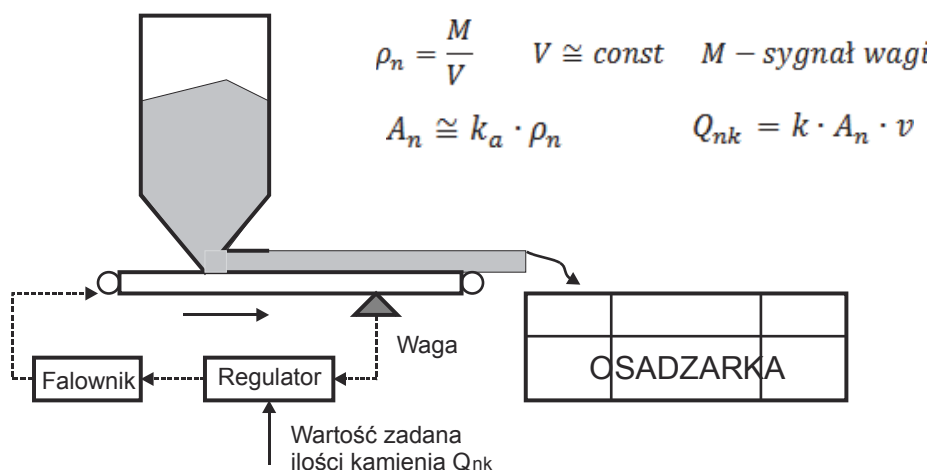
zmienia się jednocześnie pulsacja. Poziom wody w rurce pomiarowej mierzony jest pływakiem, którego wysokie położenie otwiera zawór powietrza w komorze powietrznej, powodując większy odbiór produktu dolnego, a niskie położenie przymyka zawór, tłumiąc pulsację wody w przestrzeni pomiędzy dolnym i górnym progiem spiętrzającym materiał.

Zmodyfikowany przez firmę Bermen [8] pomiar ciśnienia wody pod pokładem sitowym został przedstawiony na rys. 3.

W układzie tym rura pomiarowa oddzielona jest od przedziału osadzarki membraną, a przeniesione przez ciecz w rurce zmiany ciśnienia mierzone są przetwornikiem elektropneumatycznym. Sygnał ciśnienia wykorzystywany jest tu do regulacji ilości odbieranego produktu dolnego i jednocześnie – do regulacji ilości frakcji ciężkiej w nadawie, kierowanej do osadzarki. Schemat blokowy układu stabilizującego ilość frakcji ciężkiej (produktu dolnego) przedstawiony jest na rys. 4.



Rys. 3. Zmodyfikowany pomiar ciśnienia wody w układzie regulacji odbioru produktu dolnego [8]



Rys. 4. Stabilizacja ilości kamienia dozowanego w nadawie do osadzarki

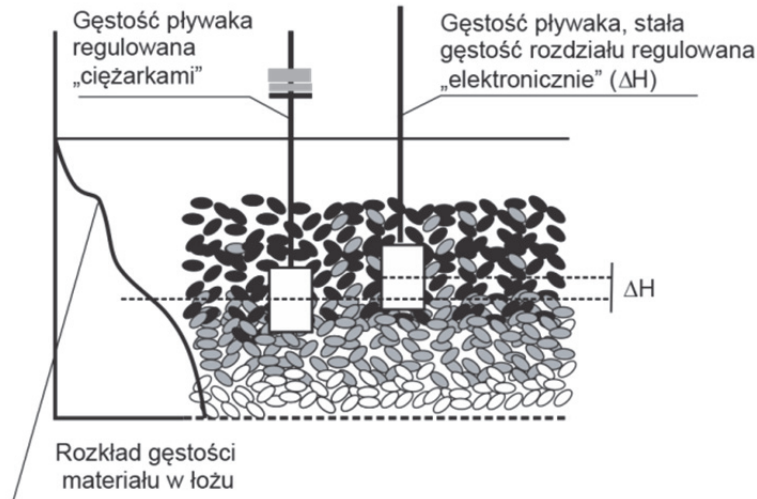
W omawianym układzie wykorzystywana jest korelacja pomiędzy zawartością popiołu w węglu i jego gęstością oraz gęstością „nasywową”. Na przenośniku taśmowym zamykającym wylot zbiornika musi być zapewniona stała grubość warstwy węgla surowego. Wtedy pomiar masy jednostkowej na przenośniku w strefie pomiarowej wagi jest proporcjonalny w przybliżeniu do jego gęstości nasywowej, a ta z kolei – do zawartości popiołu w węglu. Stałe natężenie przepływu frakcji ciężkiej w nadawie można uzyskać przez uzależnienie prędkości przenośnika od zawartości popiołu w nadawie. W ten sposób otrzymuje się stabilne obciążenie osadzarki frakcją ciężką. Należy zaznaczyć, że sposób ten daje efekty przede wszystkim w osadzarkach jednoprzędziałowych.

2.2. Układy z pływakiem

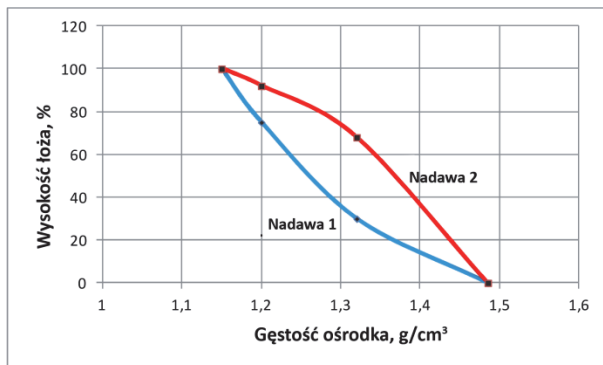
Równoległe z metodami pomiaru ciśnienia pojawiły się układy z pływakiem metalowym, który z zało-

żenia powinien mierzyć położenie warstwy materiału o gęstości odpowiadającej parametrom pływaka, jak to przedstawiono na rys. 5.

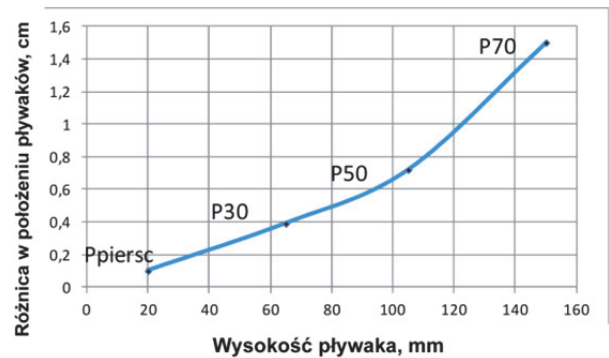
W rytm pulsacji ośrodka pływak zachowuje się jak duże ziarno o pewnej dobranej gęstości, zajmując położenie warstwy ziaren o takiej samej prędkości opadania. Gęstość warstwy wybiera się przez zmianę gęstości pływaka przy pomocy „ciężarków” nakładanych na jego trzpień. W nowszych układach wyboru gęstości warstwy (gęstości rozdziału) dokonuje się poprzez zmianę w układzie elektronicznym zadanego położenia pływaka (DH) o niezmienną gęstości. Jednym z problemów pomiarowych pływaka jest jego stosunkowo duża wysokość (ok. 200 mm) w stosunku do grubości mierzonego łóża (300-400 mm). Z tego powodu prędkość opadania pływaka może się zmieniać w stosunku do prędkości opadania ziaren wybranej warstwy. Średnia gęstość ośrodka w przestrzeni zajmowanej przez pływak (w stanie rozluźowanym) jest inna niż dla pojedynczego ziarna (i może się inaczej zmieniać). Efekt ten zilustrowany został na rys. 6. i 7.



Rys. 5. Zastosowanie pływaka do pomiaru położenia warstwy o wybranej gęstości [8]



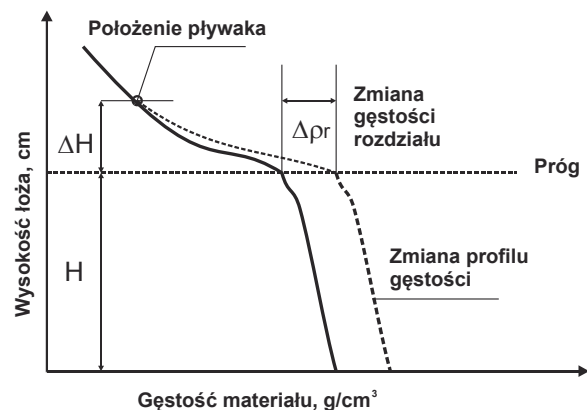
Rys. 6. Dwie charakterystyki densymetryczne materiału w łożu osadzarki



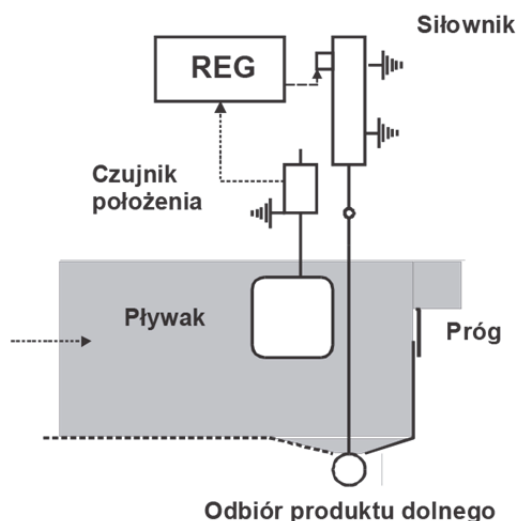
Rys. 7. Wpływ zmiany rozkładu gęstościowego materiału w łożu na położenie pływaka w stosunku do wybranej warstwy

Na rys. 6. i 7. przedstawiono wpływ zmian rozkładu gęstościowego materiału w łożu osadzarki na położenie pływaka w stosunku do wybranej warstwy. Widać, że zmiany położenia są większe dla pływaków o większej wysokości (50 i 70% wysokości łoża) i wynoszą do 15 mm [10]. Można się spodziewać, że w warunkach przemysłowych zmiany te będą jeszcze większe (20-30 mm). Na rys. 8. przedstawiono możliwość powstania błędów wskazań pływaka powodowanych zmianami zadanego położenia pływaka o stałej gęstości (rys. 5).

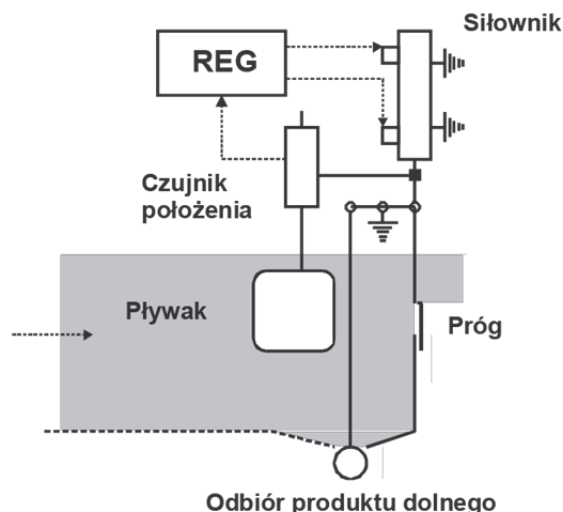
Jeżeli zadane położenia pływaka jest inne niż położenie progu przelewowego, to na skutek zmiany rozkładu gęstościowego materiału pomiędzy pływakiem a progiem przelewowym mogą powstać dodatkowe błędy wyznaczenia gęstości rozdziału. Przykłady pływakowych układów odbioru produktu dolnego przedstawiono na rys. 9a, b, c.



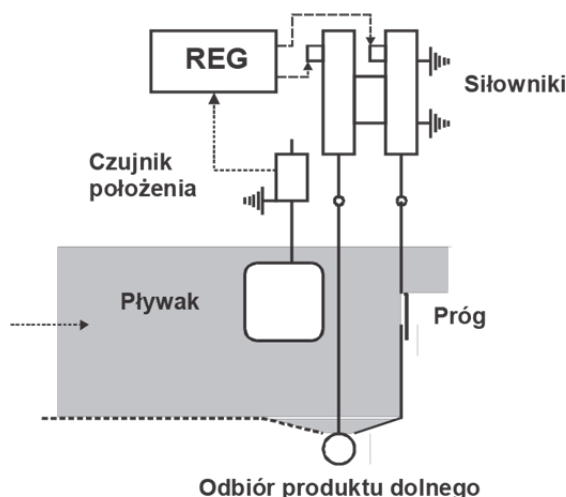
Rys. 8. Błędy pomiaru gęstości rozdziału powodowane zmianą zadanego położenia pływaka o stałej gęstości



Rys. 9a. Układ sterowania odbiorem produktów – stały próg przelewowy



Rys. 9b. Układ sterowania z ruchomym progiem – jeden siłownik



Rys. 9c. Układ sterowania z ruchomym progiem – dwa siłowniki

Na rys. 9a zaprezentowano układ regulacji odbioru z jednym siłownikiem oraz z nieruchomym progiem spiętrzającym materiał. Takie układy preferuje większość firm zagranicznych [11, 12]. Na rys. 9b pokazano układ z jednym siłownikiem oraz ruchomym progiem przelewowym. W układzie tym istnieje mechaniczne sprzężenie otwarcia szczeliny odbierającej produkt dolny z położeniem progu. Ideą tego rozwiązania jest szybsze osiągnięcie zadanej gęstości rozdziału w przypadku wystąpienia znacznego zakłócenia, np. w postaci zmiany ilości nadawy. Jest to jednak okupione zmianą grubości łoża i w konsekwencji – zmianą stopnia rozluźnienia materiału, wymagającą korekty kształtu pulsacji powietrza. Na rys. 9c układ posiada dwa odrębne siłowniki do niezależnej regulacji szczeliny odbierającej produkt dolny i do zmiany położenia progu. W tym układzie możliwa

jest szybka zmiana położenia progu, a następnie stopniowy powrót do zadanej gęstości rozdziału.

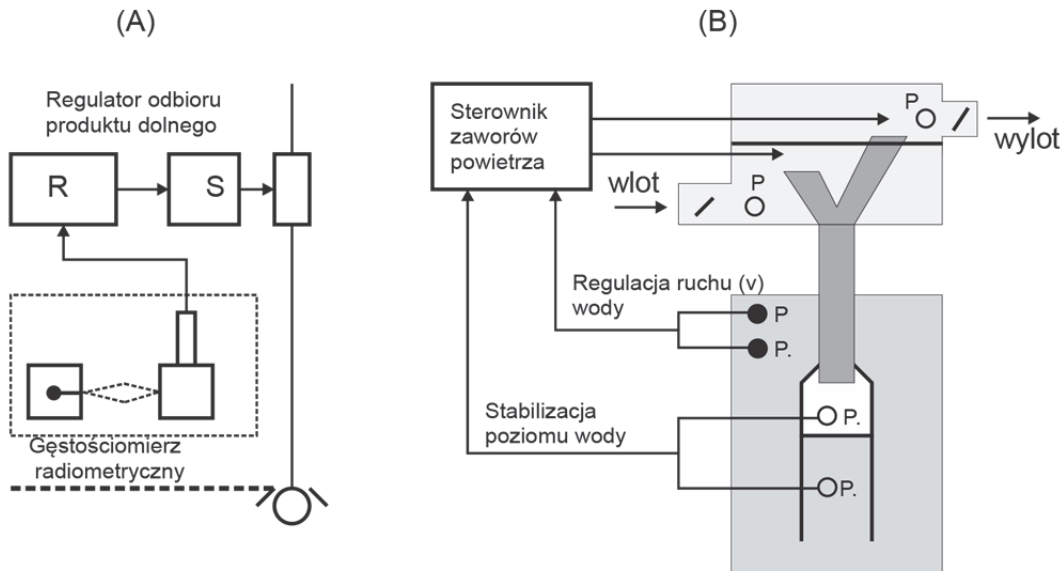
2.3. Układy radiometryczne

W ostatnich latach [11] obserwuje się rozwój zastosowania metod radiometrycznych do pomiaru gęstości rozdziału w osadzarce. Pierwsze próby z gęstościomierzem radiometrycznym użytym do regulacji odbioru produktu dolnego przeprowadził D. Bartelt [1] w 1964 r. Bartelt osiągnął bardzo pozytywne efekty zastosowania gęstościomierza radiometrycznego w układzie sterowania, uzyskując imperfekcję maszyny na poziomie 0,06 dla węgla o uziarnieniu 120-10 mm. Radiometryczny układ sterowania osadzarki był również przedmiotem badań w Australii [11] w latach 1989-95 (JKMRC). Na rys. 10.

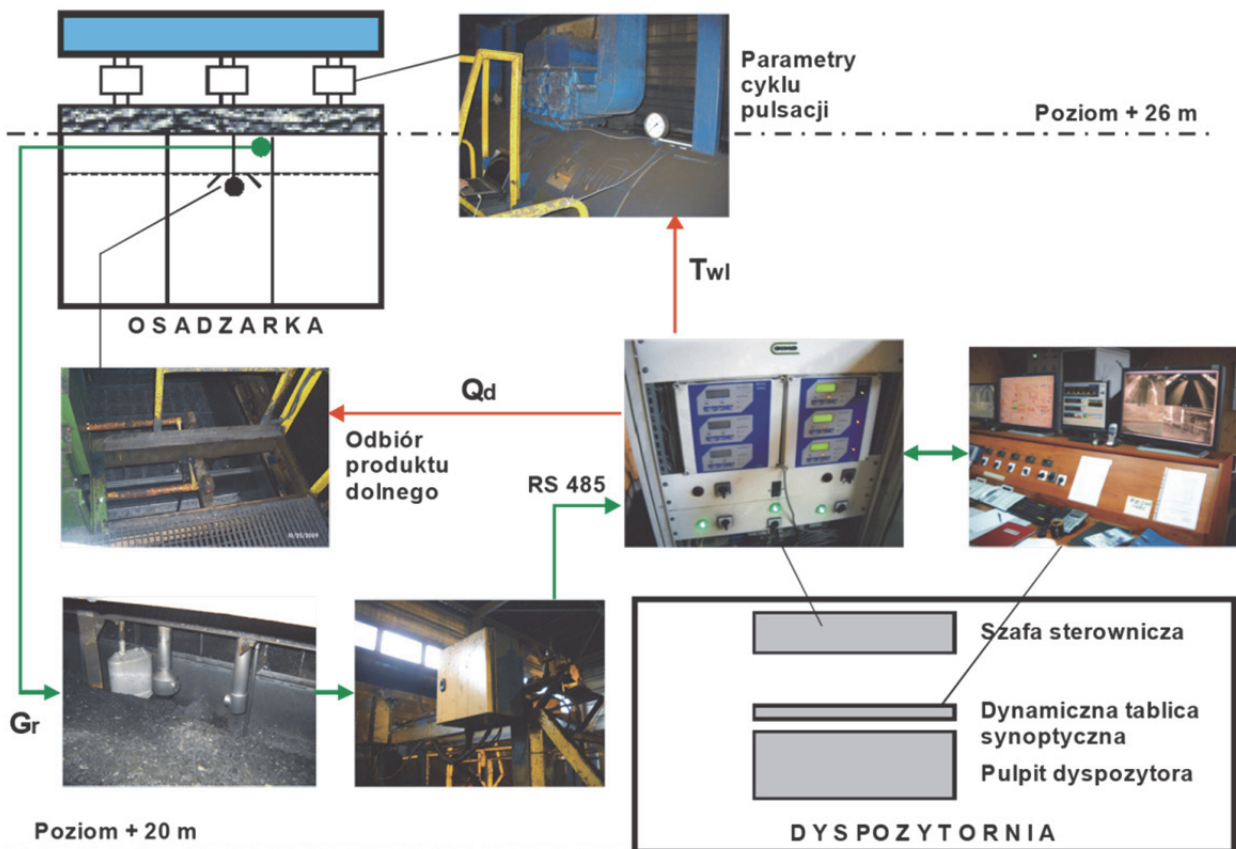
przedstawiono poglądowy schemat układu „JigScan” opracowanego przez JKMRC [6, 12].

Badania układów radiometrycznych do regulacji procesu wzbogacania węgla w osadzarkach są prowa-

dzone w ITI EMAG od 2009 r. Na rys. 11. przedstawiono doświadczalny układ, analizowany w latach 2010-11 w kopalni Rydułtowy [5].



Rys. 10. Układ regulacji osadzarki „JigScan”
(A) – stabilizacja gęstości rozdziału, (B) – regulacja stopnia rozluźnienia



Gr – gęstość rozdziału, g/cm^3 , Qd – natężenie odbioru produktu dolnego, t/h , Twi – czas wlotu powietrza, s

Rys. 11. Ilustracja doświadczalnego systemu radiometrycznego w kopalni Rydułtowy

W układzie tym gęstościomierz radiometryczny, umieszczony na wysokości progu spiętrzającego materiał, został wykorzystany do korekty pracy układu pływakowego w kaskadowej pętli sprzężenia zwrotnego. Zastosowanie gęstościomierza pozwoliło na zbadanie rozkładu gęstości materiału w powiązaniu z wysokością łoża oraz dynamicznych zmian gęstości w trakcie rozluźniania materiału w każdym cyklu pulsacji. W układzie z gęstościomierzem radiometrycznym można uzyskać zmniejszenie fluktuacji gęstości rozdziału do $\pm 0,015 \text{ g/cm}^3$.

3. PODSUMOWANIE

Rozwój układów regulacji odbioru produktów w osadzarce dokonywał się na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat. Celem regulacji we wszystkich układach była stabilizacja gęstości rozdziału na zadanym poziomie pod wpływem zakłóceń głównie w postaci zmian ilości i jakości nadawy. Pierwsze metody pomiarowe wprowadzone w układach regulacji oparte były na pomiarach ciśnienia wody pod pokładem sitowym osadzarki, a następnie zaczęto stosować pływaki metalowe. Pomiar ciśnienia wody pozwalał na przybliżoną ocenę ilości materiału w łożu osadzarki i wobec tego stabilizacji grubości łoża w obecności występujących zakłóceń. Chociaż gęstość rozdziału w tym przypadku nie była mierzona bezpośrednio, to układ regulacji umożliwił pewne zmniejszenie jej fluktuacji w porównaniu do układu bez żadnej regulacji. Pewien postęp osiągnięto po zastosowaniu układów pływakowych, których wskazania są w większym stopniu związane z rzeczywistą gęstością rozdziału w osadzarce. Układy pływakowe cechują się jednak błędami pomiaru gęstości warstwy

rozdziału powstającymi na skutek fluktuacji stopnia rozluźniania materiału, decydującego o zajmowaniu położenia przez pływak w stanie skrępowanym materiału. Metody radiometryczne zastosowane do pomiaru gęstości warstwy materiału na wysokości progu przelewowego dają najlepsze efekty stabilizacji parametrów rozdziału, zbliżone do osiągniętych we wzbogacalnikach zawieszinowych.

Literatura

1. Bartelt D.: *Dry preparation of small coal using radioisotopes for control of shale extraction*, V International Coal Preparation Congress, Pittsburgh 1968.
2. Będkowski Z.: *Kompleksowy system sterowania pracą węzła wzbogacalnika osadzarkowego w zakładach przeróbki mechanicznej węgla AS 2000 z zastosowaniem układu automatycznego odbioru produktów wzbogacania BOSS 2000*. „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa”, 2001, nr 8.
3. Cierpisz S., Kowol D.: *Wpływ zakłóceń procesu wzbogacania węgla w osadzarce na zmiany gęstości rozdziału – badania laboratoryjne*. „Górnictwo i Geoinżynieria” (AGH), 2009, nr 4.
4. Cierpisz S., Kowol D., Joostberens J.: *Model symulacyjny strefy rozdziału węgla w osadzarce*. „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa”, 2010, nr 1.
5. Cierpisz S.: *Analiza procesu rozdziału węgla na produkty w osadzarce z zastosowaniem gęstościomierza radiometrycznego*. „Górnictwo i Geologia”, t. 6, z. 2, Gliwice 2011.
6. *Coal preparation in South Africa*, compiled by the South African coal processing society, 2002.
7. Dietrych J.: *Osadzarki*, PWT, Katowice 1953.
8. Hillman J.: *A history of British coal preparation*, Ratcliff & Proper, London 2003.
9. Jonkers A., Lyman G.J., Loveday G.K.: *Advances in modeling of stratification in jigs*, XIII International Coal Preparation Congress, Brisbane, Australia 1998.
10. Kowol D.: *Wpływ zmian parametrów nadawy na efekty działania pływakowego układu sterowania odbiorem produktów osadzarki*, praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 2010.
11. Lyman G.J.: *Review of jigging principles and control*. “Coal Preparation”, 1992, nr 11 (1-2), pp. 41-72.
12. Lyman G.J., Jonkers A., van Latum L., Hughes D.M.: *Automatic computerized jig control*. In: *Proceedings of the ninth international conference on coal research*, Washington, DC, USA, 13-16 Oct 1991.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.