ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1967
Seria: GÓRNICTWO z. 21 Nr kol. 185

JÓZEF SÓWKA
Katedra Przeróbki Mechanicznej
Kopalin

WPŁYW TEMPERATURY NA PRĘDKOŚĆ SEDYMENTACJI MUŁU WĘGLOWEGO

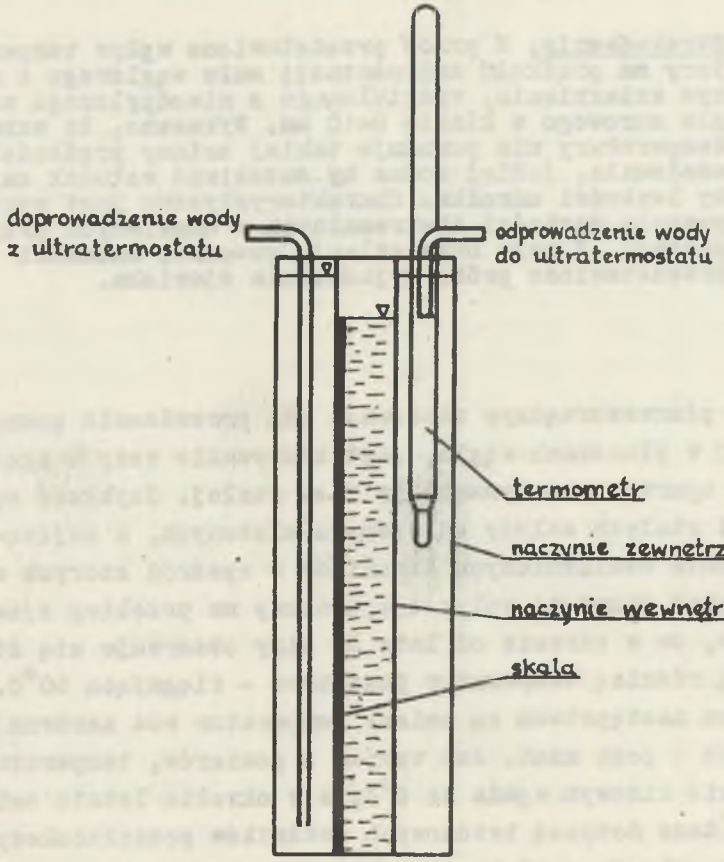
Streszczenie. W pracy przedstawiono wpływ temperatury na prędkość sedymentacji mułu węglowego o różnym uziarnieniu, wydzielonego z nieodpylonego węgla surowego w klasie 0-10 mm. Wykazano, że wzrost temperatury nie powoduje takiej zmiany prędkości osadzania, jakiej można by oczekiwać wskutek zmiany lepkości ośrodka. Charakterystyczne jest występowanie wartości ekstremalnych w omawianych przypadkach. W celu naświetlenia pozornej anomalii przedstawiono próbę wyjaśnienia zjawiska.

Wstęp

Problemem o pierwszorzędnym znaczeniu dla prowadzenia gospodarki wodnej w płuczkach węgla, jest klarowanie wody i zgęszczanie mułu oparte na sedymentacji fazy stałej. Szybkość opadania części stałych zależy od szeregu złożonych, a najczęściej wzajemnie uzależnionych czynników - spośród których za przedmiot badań przyjęto wpływ temperatury na przebieg zjawiska. Wiadomo, że w okresie od lata do zimy obserwuje się stosunkowo dużą różnicę temperatur powietrza - sięgającą 60°C. Nieuniknionym następstwem są zmiany temperatur wód zarówno w płuczkach jak i poza nimi. Jak wynika z pomiarów, temperatura wody w okresie zimowym spada do 0°C, a w okresie letnim osiąga nawet 26°C (dane dotyczą betonowych osadników pozapłuczkowych). Różnica temperatur w osadnikach zabudowanych wewnątrz płuczek jest odpowiednio mniejsza i wynosi od około +5 do około +22°C. Celowym więc wydaje się zbadanie procesu osadzania w zakresie temperatur od kilku do dwudziestukilku stopni.

Technika eksperymentowania

Fazę stałą przygotowaną do pomiarów wymieszano bardzo starannie i umieszczono w zamkniętym naczyniu. Wodę przeznaczoną do sporządzania zawiesin przechowywano również w zamkniętym słoju. Próby przeprowadzano w naczyniu termostatowanym, połączonym z ultratermostatem - rys. 1.



Rys. 1. Naczynie termostatowane do pomiaru prędkości sedymentacji

Uruchomienie zestawu odbywało się następująco: włączono ultratermostat i wypełniono przestrzeń pomiędzy naczyniami wodą. Do naczynia pomiarowego wlano przygotowaną wodę do około

0,3 wysokości, wsypano naważkę węgla i uzupełniono wodą do właściwego poziomu. Podczas przygotowywania próbki mieszano intensywnie zawiesinę w celu dokładnego zwilżenia fazy stałej i przyspieszenia wyrównania temperatur składników ośrodka. Ze względu na to, że czas osiągnięcia temperatur o odpowiednich wartościach przez cały ośrodek jest różny, przyjęto 35 minutowy okres wyczekiwania przed rozpoczęciem pomiarów. Jest to czas, przed którego upływem nastąpiło wyrównanie temperatur w całym ośrodku, dla każdej ze stosowanych wielkości (5°, 10°, 15°, 20° i $25^{o}C$). Tak więc czas zanurzenia wszystkich próbek fazy stałej w cieczy był identyczny, co jak wiadomo [2] jest istotne dla przebiegu osadzania.

W celu wykluczenia ewentualnych pomyłek, przeprowadzano powtórne ważenie poszczególnych próbek fazy stałej i dwukrotne wykonanie pomiaru dla każdego zagęszczenia i danej temperatury.

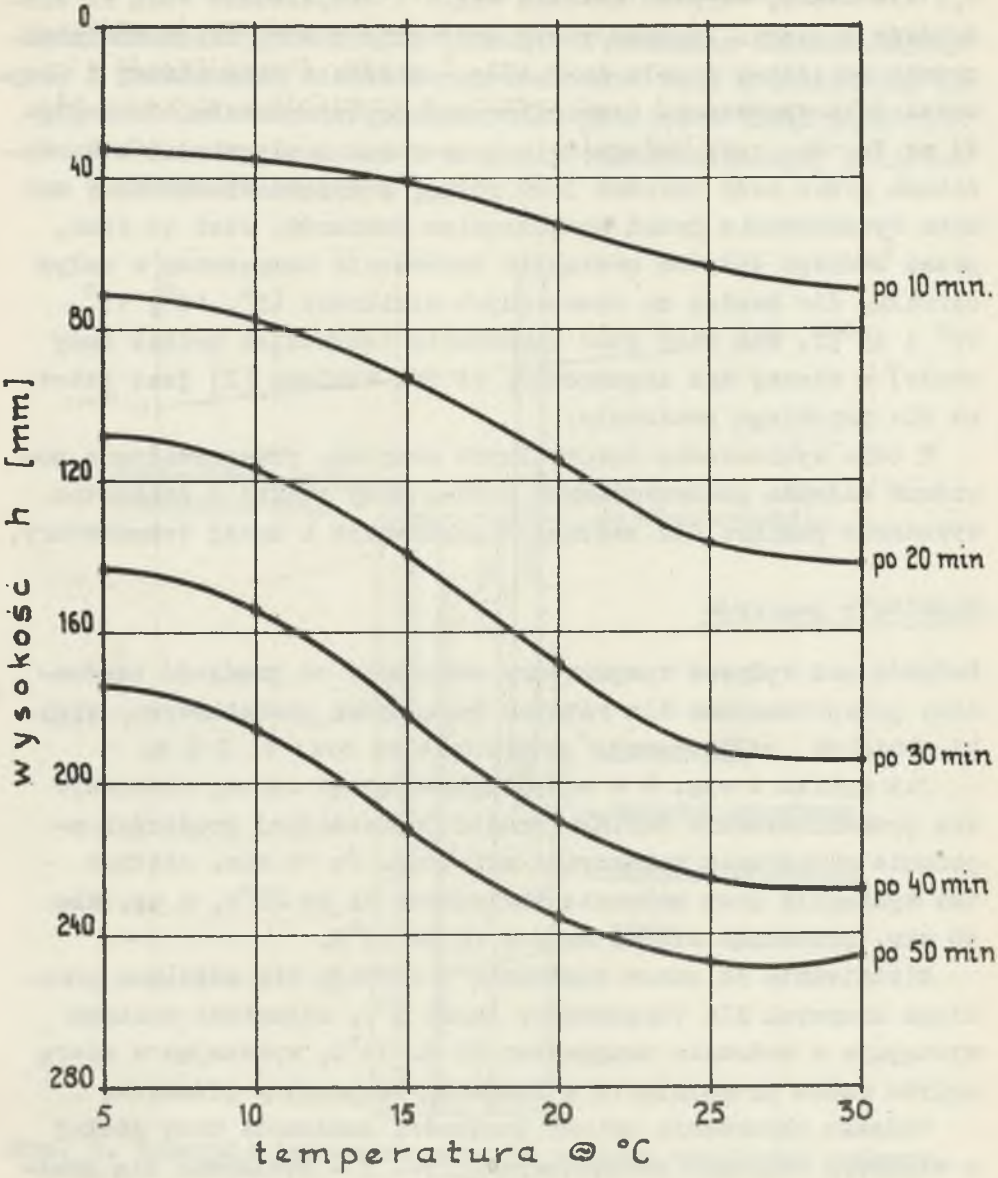
Rezultaty pomiarów

Badania nad wpływem temperatury zawiesiny na prędkość osadzania, przeprowadzano dla różnych zagęszczeń początkowych. Wyniki pomiarów zilustrowano graficznie na rys. 2, 3 i 4.

Jak wynika z rys. 2 w miarę upływającego czasu, obserwuje się przemieszczenie odcinka prawie jednostajnej prędkości opadania w kierunku temperatur niższych. Po 10 min. odcinek ten występuje przy zakresie temperatur 15 do $25^{o}C$, a np. dla 40 min. przesunął się na zakres 10 do $15^{o}C$.

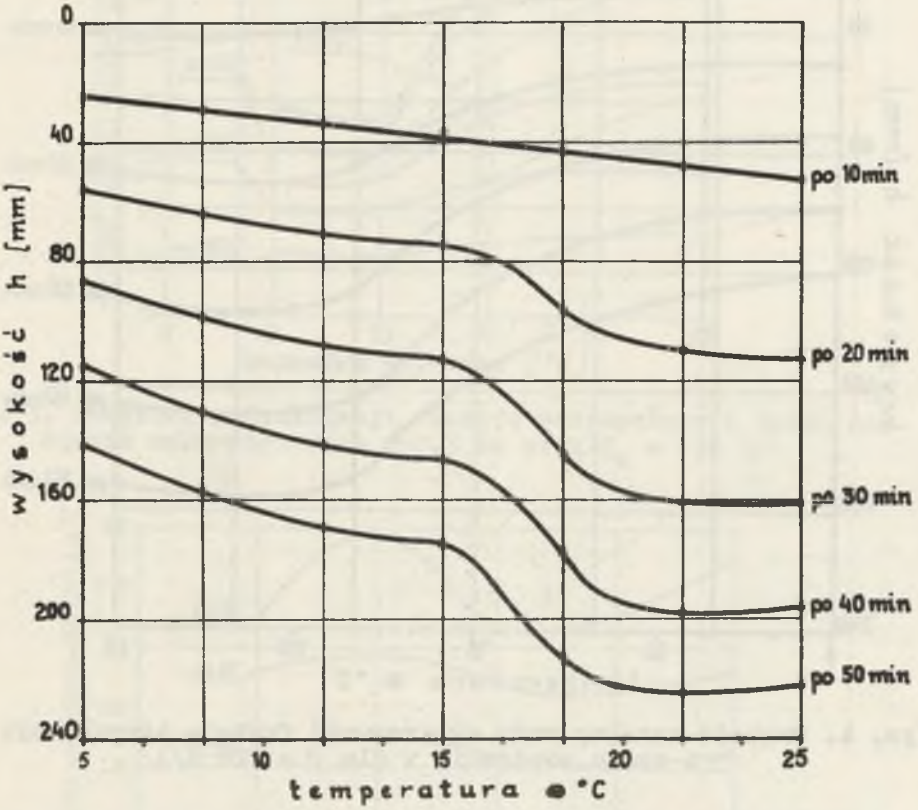
Niezależnie od czasu osadzania obserwuje się maksimum przebiegu krzywych dla temperatury około $5^{o}C$, natomiast minimum występuje w zakresie temperatur 25 do $30^{o}C$, wykazując w miarę upływu czasu przesunięcie w kierunku temperatur niższych.

Podczas obserwacji zmiany prędkości osadzania fazy stałej o większym stężeniu początkowym - rys. 3 - stwierdza się gwałtowniejszą zmianę prędkości w zakresie 15 do $20^{o}C$. W niższych temperaturach wartość ekstremalna nie występuje, natomiast w zakresie 20 do $25^{o}C$ zarysowuje się bardzo wyraźnie.



Rys. 2. Grubość warstwy wody sklarowanej funkcją temperatury Θ i czasu osadzania t dla β = 180 G/l

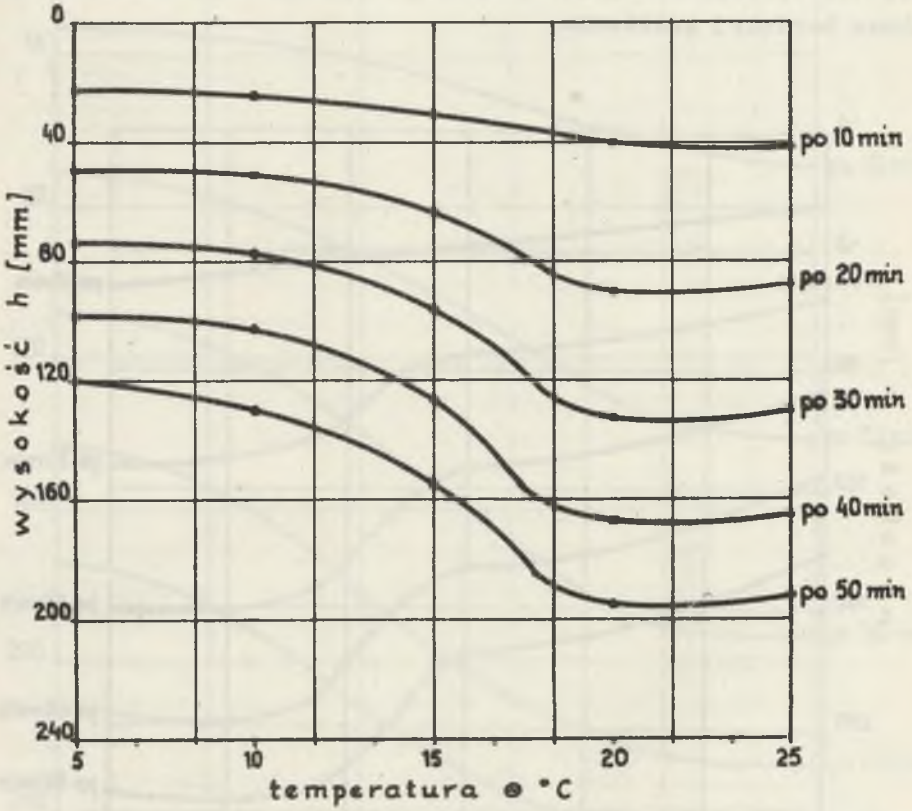
Przebieg osadzania przy jeszcze wyższym zagęszczeniu początkowym (220 G/l) - rys. 4 - jest bardzo podobny do zmian prędkości przedstawionych na rys. 2 z tym, że odcinek zależności proporcjonalnej jest krótki, a przejście w kierunku minimum bardziej gwałtowne.



Rys. 3. Grubość warstwy wody sklarowanej funkcją temperatury ~ i czasu osadzania dla β = 200 G/l

Na rys. 5 i 6 przedstawiono sedymentację wyrażoną przyrostem objętości warstwy sklarowanej w czasie, zależną od temperatury. Przeprowadzone doświadczenia wykonano na węglach pochodzących z różnych kopalń, a więc charakteryzują-

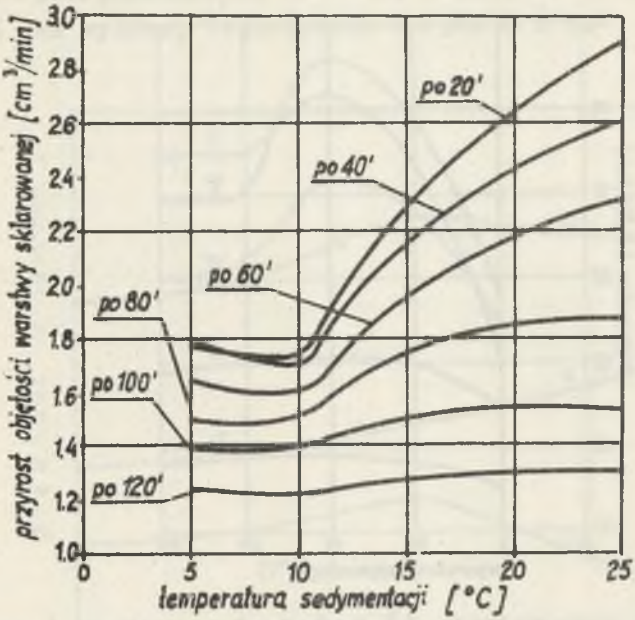
ych się innymi własnościami. Nadto, zastosowano również inne zagęszczenia początkowe (150 i 160 G/l).



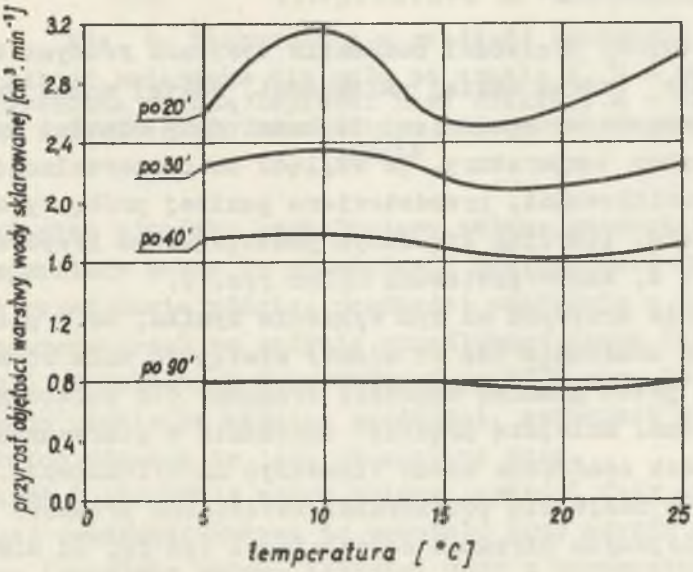
Rys. 4. Grubość warstwy wody sklarowanej funkcją temperatury ~i czasu osadzania t dla β = 220 G/l

Przytoczono również wyniki przebiegu osadzania bardzo drobnoziarnistej fazy stałej (0-0,033 mm) wydzielonej z nieodpylonego węgla surowego, przy stężeniu początkowym 10 G/l - rys. 7.

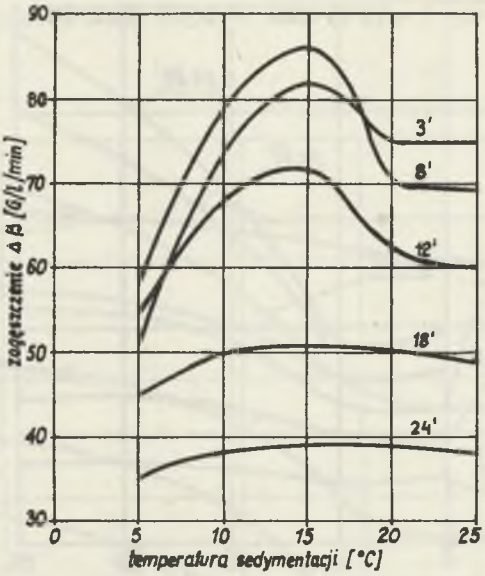
Wszystkie przedstawione zależności charakteryzują się jedną lub dwoma wartościami ekstremalnymi, przypadającymi na te same lub różne temperatury o mniejszym lub większym zróżnicowaniu wartości odniesionych na osiach rzędnych wykresów.



Rys. 5. Prędkość sedymentacji funkcją temperatury i czasu osadzania mułu węglowego 0–0,3 mm przy β_n = 150 G/l



Rys. 6. Prędkość sedymentacji funkcją temperatury i czasu osadzania mułu węglowego 0–0,3 mm przy β_n = 160 G/l



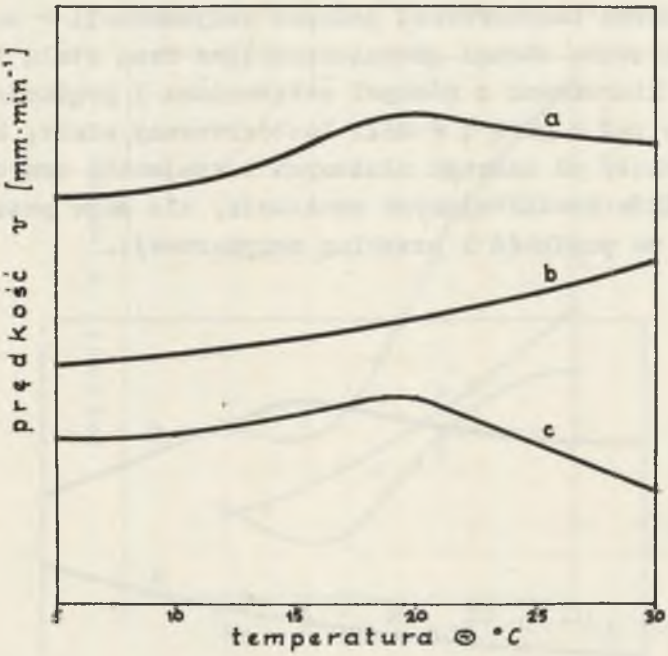
Rys. 7. Spadek zagęszczenia $\Delta\beta$ funkcją temperatury i czasu osadzania mułu węglowego 0–33μ przy β_n = 10 G/l

Interpretacja wyników

Stwierdzone zmiany prędkości osadzania wywołane różnymi temperaturami nie tworzą takiej zależności, jakiej można by oczekiwać w związku ze spadaniem lepkości fazy ciekłej spowodowanej wzrostem temperatury. Ze względu na powtarzalność pozornej nieprawidłowości, przedstawiono poniżej próbę wyjaśnienia zjawiska. Kierując się dużym podobieństwem krzywych z rys. 2, 3 i 4, zinterpretowano tylko rys. 2.

Z porównania krzywych na tym wykresie wynika, że w początkowym okresie osadzania (do 10 minut) występuje mała różnica w przebytych przez granicę mętności drogach, dla poszczególnych temperatur. Mniejszą prędkość osadzania w pierwszych dziesięciu minutach osadzania można tłumaczyć antoflokulacją. Przypuszczenie to zdaje się potwierdzać zwiększona prędkość opadania w późniejszych okresach sedymentacji (po 20, 30 min. itd.).

W celu przeprowadzenia bardziej wnikliwej analizy zjawiska, wykonano dwa wykresy teoretyczne - rys. 8 i 9.



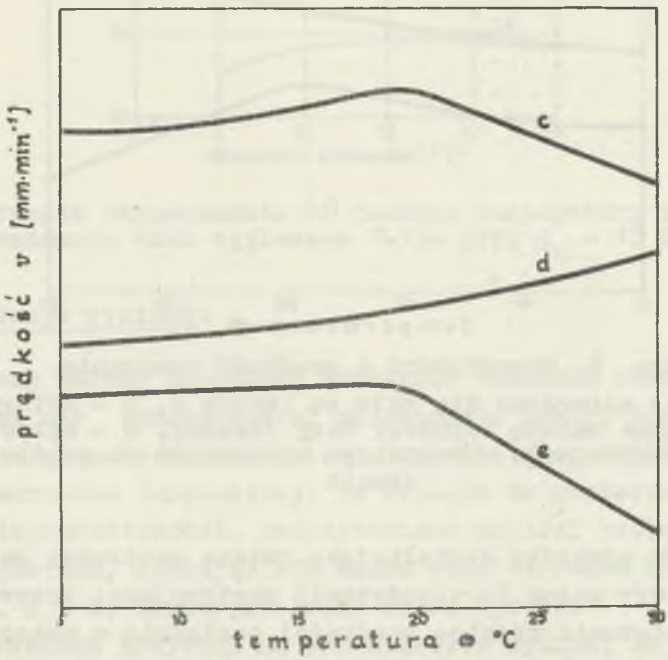
Rys. 8. Temperatura a prędkość osadzania

a - prędkość zmierzona dla mułu po czasie t, b - zmiana prędkości wywołana zmianą lepkości fazy ciekłej, c - wpływ kłaczkowania spowodowanego samorzutnym mieszaniem na prędkość osadzania

Mechanizm zjawiska kształtujący zmianę prędkości zależnie od temperatury można by przedstawić następująco: Krzywa a na rys. 8 przedstawia różnicę prędkości osadzania w poszczególnych temperaturach po upływie określonego czasu (np. dla 20 min.). W zakresach temperatur 5 do 10°C oraz 25 do 30°C występuje niewielka różnica prędkości, natomiast w zakresach pośrednich różnica ta jest stosunkowo duża.

Krzywa b ilustruje wpływ zmiany lepkości fazy ciekłej na prędkość opadania; krzywa ta powstała przy użyciu równania Stokesa (przyjęto zmiany lepkości wody z temperaturą). Odej-

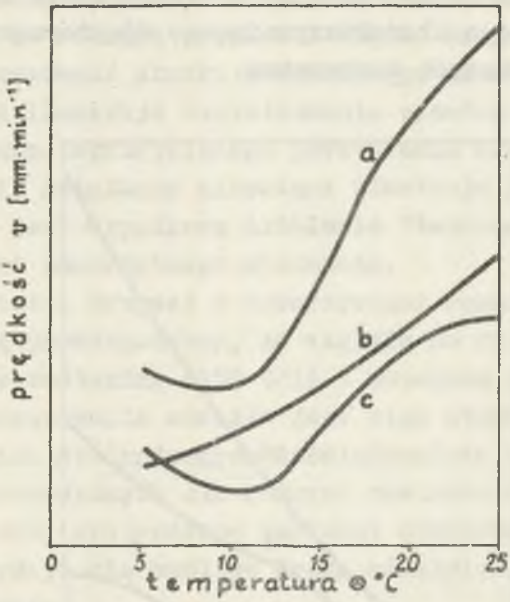
mując wartości prędkości scharakteryzowanych krzywą b od wartości krzywej a otrzymamy krzywą c, która ilustruje wpływ samorzutnego mieszania się zawiesiny na przebieg osadzania. Z łatwością można zaobserwować podczas sedymentacji w zawiesinach, niezliczone strugi przemieszczające fazę stałą i ciekłą w różnych kierunkach z różnymi natężeniami i prędkościami - szczególnie zaś w górę i w dół. Zaobserwowany efekt, którego wielkość zależy od szeregu złożonych i wzajemnie uwarunkowanych czynników kształtujących osadzanie, nie może pozostawać bez wpływu na prędkość i przebieg sedymentacji.



Rys. 9. Czynniki kształtujące osadzanie
d - wpływ działania "tworzącego" kłaczki na osadzanie,
e - wpływ działania niszczącego kłaczki na osadzanie.

Rozważając wpływ samorzutnego mieszania można przypuszczać, że działanie jego ma podwójne znaczenie. Ruchy wewnątrz zawiesiny zwiększają prawdopodobieństwo zderzania się ziarn ze sobą, co umożliwia powstawanie kłaczków, których szybkość opa-

dania jest większa od prędkości opadania pojedynczych ziarn. Wpływ kłaczków na kształtowanie prędkości ilustruje krzywa d na rys. 9.

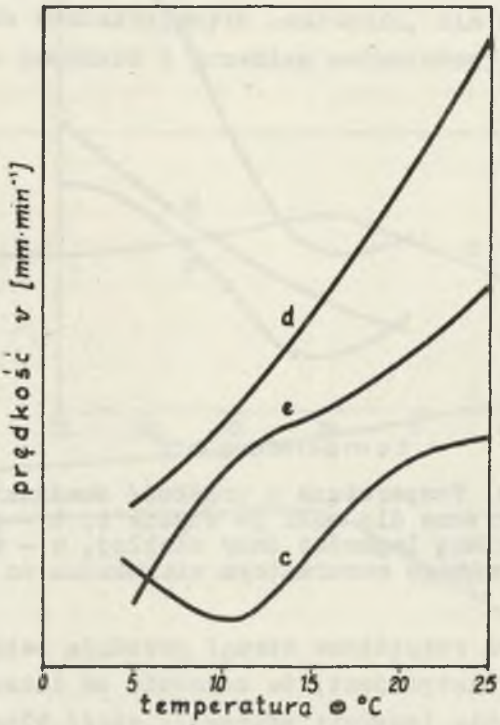


Rys. 10. Temperatura a prędkość osadzania
a - prędkość zmierzona dla mułu po czasie t, b - zmiana prędkości wywołana zmianą lepkości fazy ciekłej, c - wpływ kłaczkowania spowodowanego samorzutnym mieszaniem na osadzanie

Ponieważ jednak rozpędzone strugi powodują także zderzanie się kłaczków oczywistym jest, że zależnie od intensywności samorzutnego mieszania (energii zderzeń), część kłaczków ulegnie rozbiciu. To niszczące działanie zostało zobrazowane krzywą e. Można przyjąć, że jeżeli wzrostowi temperatury odpowiada wzrost energii wewnętrznej (przyspieszenie ruchów Brauna), to nasilenie ruchów samorzutnego mieszania będzie także wzrastało - krzywa d na rys. 9.

Rozumując konsekwentnie należałoby przypuszczać, że działanie niszczące powinno również wykazywać tendencję wzrostu od 5 do 30°C. Jednak krzywa e na rys. 9 ma odwrotny przebieg; oznacza to, że działanie niszczące maleje ze wzrostem tempe-

ratury, co jest bardzo prawdopodobne przy względnie wysokim zagęszczeniu zawiesiny, które występuje po kilkudziesięciu minutach sedymentacji. Dla 10-minutowego czasu osadzania krzywa e jest znacznie mniej wypukła. W przypadku niższego stężenia początkowego zawiesiny, można by prawdopodobnie oczekiwać przebiegu krzywej e charakteryzującego się rosnącymi wartościami w kierunku wyższych temperatur.



Rys. 11. Czynniki kształtujące osadzanie
d - wpływ działania "tworzącego" kłaczki na osadzanie, e - wpływ działania niszczącego kłaczki na osadzanie

Wskutek dużego zróżnicowania przebiegów osadzania zilustrowanych na rys. 5, 6 i 7 należałoby omówić wszystkie wykresy, lecz ze względu na analogię w rozumowaniu i z uwagi na wąskie ramy tego opracowania, przedstawiona zostanie hipoteza tylko dla rys. 5. W celu ułatwienia interpretacji procesu sporządzono rysunki 10 i 11.

Jak już wiadomo, na rzeczywistą prędkość osadzania mułu (krzywa a) wpływa m.in. lepkość fazy ciekłej oraz autoflokulacja. Spadek prędkości osadzania wywołany zmianą lepkości w coraz niższych temperaturach (krzywa b) można określić ze znajomości zależności lepkości cieczy od temperatury. Można więc przypuszczać, że różnicę prędkości między krzywą a oraz krzywą b powinny wyrównać skutki samorzutnego mieszania się zawiesiny. Krzywa d ilustruje kształtowanie prawdopodobieństwa zderzania się ziarn, sprzyjającego powstawaniu kłaczków - czyli antoflokulacji. Działanie niszczące ilustruje krzywa e. Tak więc krzywa c jest wypadkową działania "tworzącego" i niszczącego kłaczki samorzutnego mieszania.

Wzrost wartości krzywej e towarzyszący rosnącym temperaturom wydaje się prawdopodobny, ze względu na niższe zagęszczenie początkowe zawiesiny (150 G/l) i mniejszą zawartość drobnych ziarn, skrępowanie ośrodka jest więc stosunkowo mniejsze.

We wszystkich stwierdzonych doświadczalnie przebiegach osadzania, przeprowadzonych dla różnych zawiesin w szerokim wachlarzu zagęszczeń, stwierdzono wartości ekstremalne, których wyjaśnienie wydaje się możliwe drogą analogicznego do powyższych rozumowania.

Wnioski

1. Przebieg osadzania węglowych mułów przemysłowych charakteryzuje się najczęściej jedną lub dwoma wartościami ekstremalnymi.

2. Przyczyną istnienia ekstremów jest prawdopodobnie różny skutek samorzutnego mieszania się zawiesiny, które składa się na działanie "tworzące" kłaczki i niszczące je.

3. Przyczyną różnego nasilenia samorzutnego mieszania się zawiesiny są parametry mieszaniny (głównie zagęszczenie) oraz właściwości fazy stałej i ciekłej.

4. Podanie pełniejszej interpretacji zjawiska wymaga jeszcze wielu dodatkowych badań w celu selektywnego przeanalizowania wpływu ważniejszych czynników.

5. Istotne dla praktyki ruchowej jest nie występowanie gwałtownego spadku prędkości osadzania w najniższych temperaturach.

LITERATURA

[1] CIBOROWSKI J.: Inżynieria chemiczna PWN 1965 r.

[2] SÓWKA J.: Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Górnictwo z. 11 1964 r. str. 200.

[3] ANDERSSON O.: Svensk Papperstidning, t. 59, 1956 r. Nr 15, t. 60, 1957 r. Nr 5, t. 60, 1957 r. Nr 9, t. 64, 1961 r. Nr 7.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СКОРОСТЬ СЕДИМЕНТАЦИИ УГОЛЬНОГО ШЛАМА

Резюме

В работе представлено влияние температуры на скорость седиментации угольного шлама с разной грануляцией, выделенного из сырого обеспыленного угля разряда 0-10 мм.

Доказано, что повышение температуры не вызывает такого изменения скорости седиментации, какого можно было бы ожидать вследствие изменения липкости центра.

Характерно появление максимального качества в обсуждаемых случаях. С целью представления мнимой аномалии дана попытка выяснения этого явления.

THE TEMPERATURE INFLUENCE ON THE SEDIMENTATION VELOCITY OF COAL MUD

S u m m a r y

In this work the temperature influence on the sedimentation velocity of various graining of coal mud received from not dedusted raw coal of 0-10 mm classification type is given.

It has been proved thad the temperature increase causes not such a change of sedimentation velocity as it might be expected in consequence of the centre viscosity change.

In the discussed cases the occurence of extreme values is typical.

To clear the above described apparent anomaly of the said influence the explanation test is presented.