

Dr inż. JÓZEF SÓWKA
Katedra Przeróbki Mechanicznej Kopalin
Politechnika Śląska

WPLYW TEMPERATURY NA PRĘDKOŚĆ SEDYMENTACJI MUŁU WĘGLOWEGO

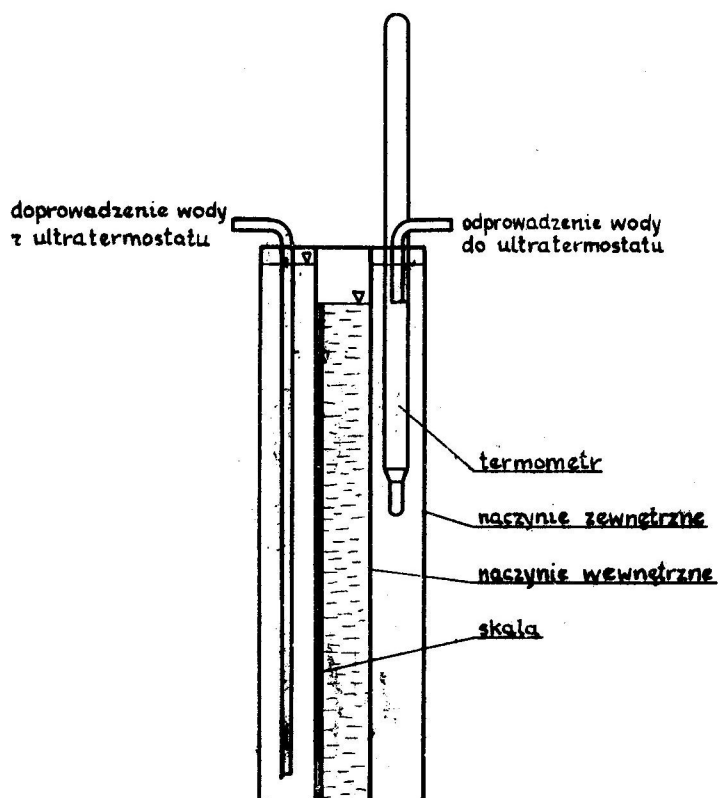
Streszczenie. W pracy przedstawiono wpływ temperatury na prędkość sedymentacji mułu węglowego o różnym uziarnieniu, wydzielonego z nieodpylonego węgla surowego w klasie 0-10 mm. Wykazano, że wzrost temperatury nie powoduje takiej zmiany prędkości osadzania, jakiej można by oczekiwać wskutek zmiany lepkości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

WSTĘP

Problemem o pierwszorzędym 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). Różnice temperatur w osadnikach zabudowanych wewnątrz płuczek jest odpowiednio mniejsza i wynosi od około $+5$ do około $+22^{\circ}\text{C}$. Celowym więc wydaje się zbadanie procesu osadzania w zakresie temperatur od kilku do dwudziestukilku stopni.

BADANIA I POMIARY

Fazę stałą przygotowaną do pomiarów mieszano bardzo starannie i umieszczano w zamkniętym naczyniu. Wodę przeznaczoną do sporządzania zawiesin przechowywano również w zamkniętym słoju



Rys. 1. Naczynie termostatowane do pomiaru prędkości sedymentacji

Próby przeprowadzano w naczyniu termostatowanym, połączonym z ultratermostatem – rys. 1.

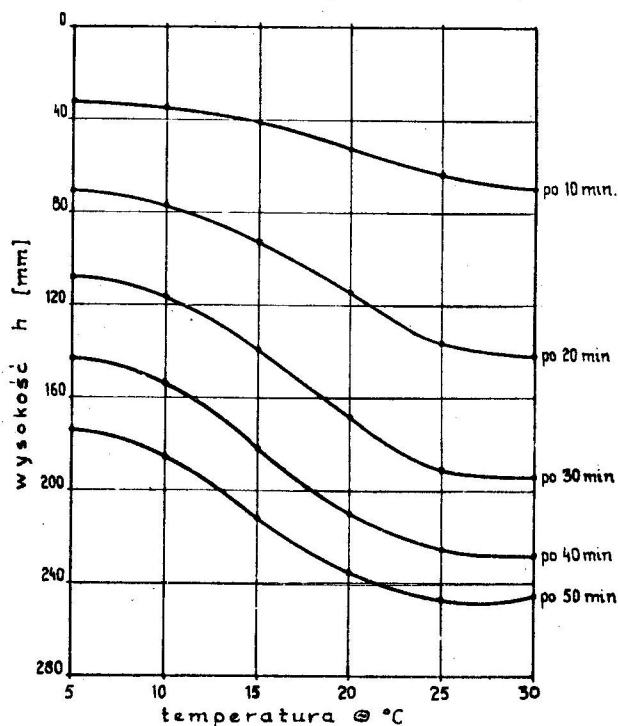
Uruchomienie zestawu odbywało się następująco: Włączono ultratermostat i wypełniono przestrzeń pomiędzy naczyniami wodą. Do naczynia pomiarowego wlewano przygotowaną wodę do około 0,3 wysokości, wsypywano naważkę węgla i uzupełniano wodą do właściwego poziomu. Podczas przygotowywania próbki mieszano 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°C). Tak więc czas zanurzenia wszystkich próbek fazy stałej w cieczy był identyczny, co jak wiadomo [2] jest istotne dla przebiegu osadzania.

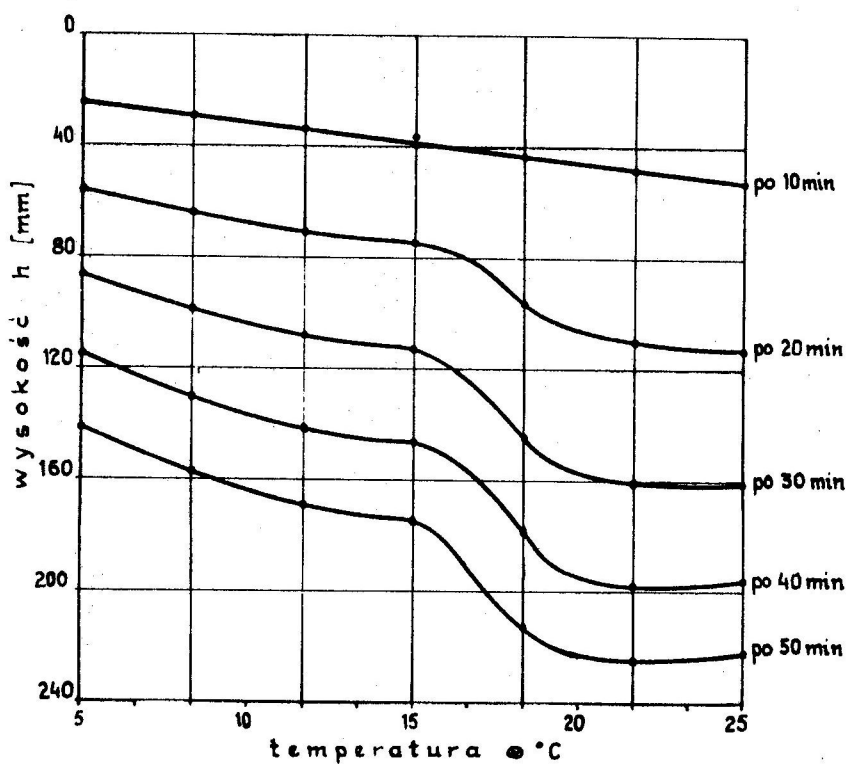
W celu wykluczenia ewentualnych pomyłek, przeprowadzano powtórne ważenie poszczególnych próbek fazy stałej i dwukrotne wykonanie pomiaru dla każdego zagęszczenia i danej temperatury.

WYNIKI POMIARÓW

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



Rys. 2. Grubość warstwy wody sklarowanej funkcją temperatury θ i czasu osadzania t dla $\beta = 180 \text{ G/l}$

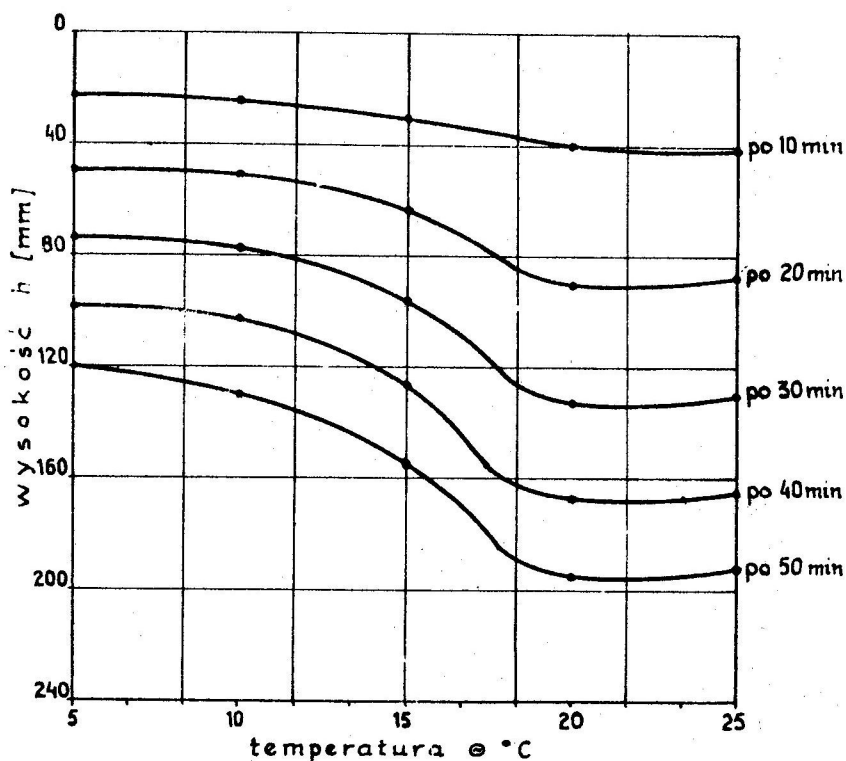


Rys. 3. Grubość warstwy wody sklarowanej funkcją temperatury θ i czasu osadzania dla $\beta = 200 \text{ G/l}$

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°C , a np. dla 40 min. przesunął się na zakres 10 do 15°C .

Niezależnie od czasu osadzania obserwuje się maksimum przebiegu krzywych dla temperatury około 5°C , natomiast minimum występuje w zakresie temperatur 25 do 30°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°C . W niższych

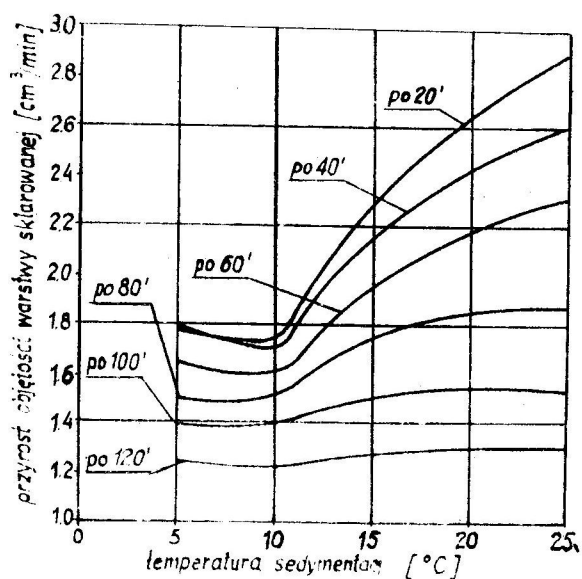


Rys. 4. Grubość warstwy wody sklarowanej funkcją temperatury θ i czasu osadzania t dla $\beta = 220$ G/l

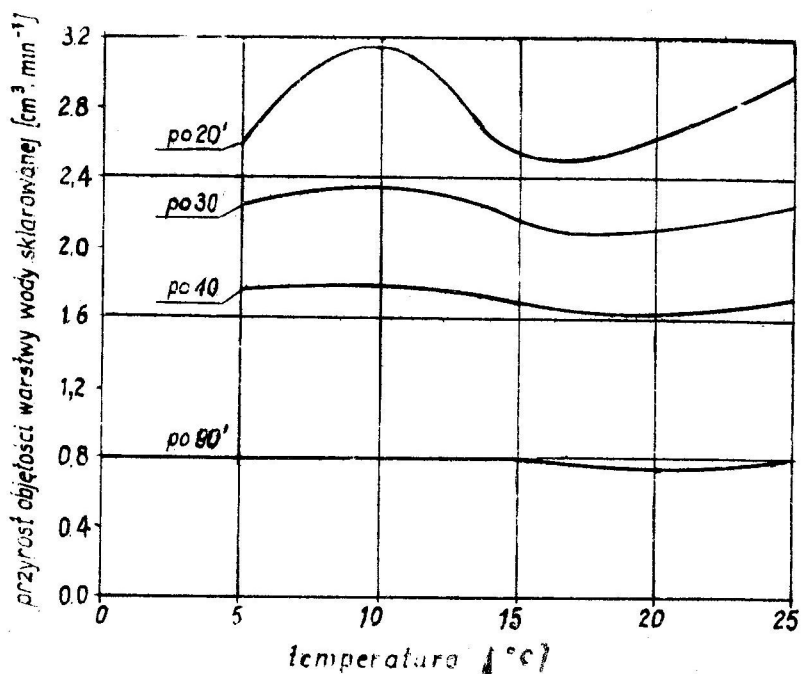
temperaturach wartość ekstremalna nie występuje, natomiast w zakresie 20 do 25°C zarysowuje się bardzo wyraźnie.

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.

Na rys. 5 i 6 przedstawiono sedymentację wyrażoną przyrostem objętości warstwy sklarowanej w czasie, zależną do temperatury. Przeprowadzone doświadczenia wykonano na węglach pochodzących z różnych kopalń, a więc charakteryzujących się innymi własnościami. Nadto, zastosowano również inne zagęszczenia początkowe (150 i 160 G/l).

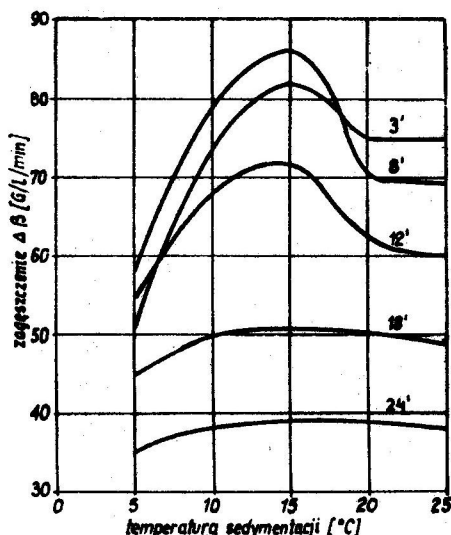


Rys. 5. Prędkość sedymentacji funkcją temperatury i czasu osadzenia mułu węglowego 0-0,3 mm przy $\beta_n = 150$ G/l



Rys. 6. Prędkość sedymentacji funkcją temperatury i czasu osadzenia mułu węglowego 0-0,3 mm przy $\beta_n = 160$ G/l

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



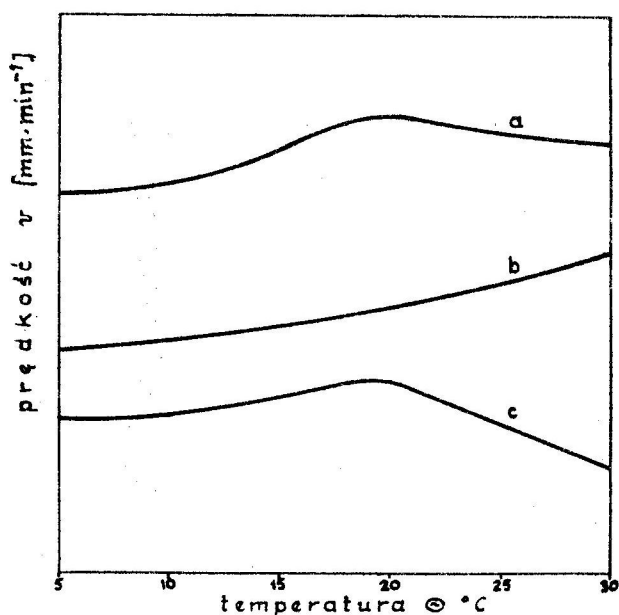
Rys. 7. Spadek zagęszczenia $\Delta\beta$ funkcją temperatury i czasu osadzania mułu węglowego 0-33 μ przy $\beta_n = 10$ G/l

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.

OMOWIENIE 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 autoflokulacją. Przypuszczenie to zdaje się potwierdzać zwiększona prędkość opadania w późniejszych okresach sedymentacji (po 20, 30 itd. min.).



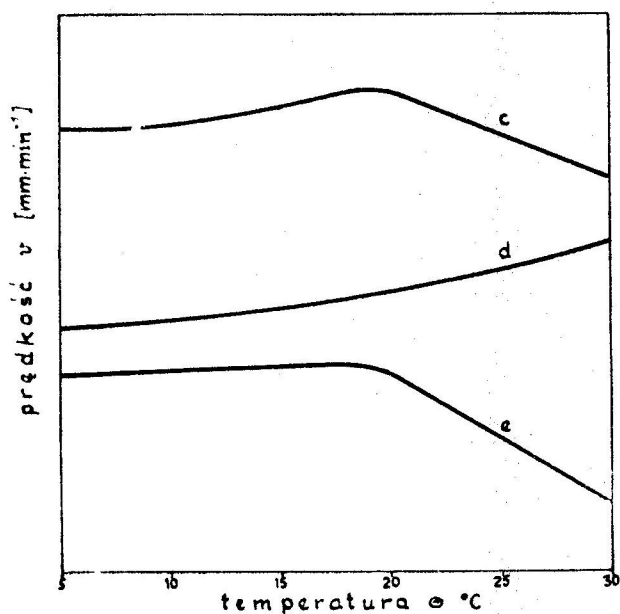
Rys. 8. Temperatura a prędkość osadzania

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

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

Mechanizm zjawiska kształtujący zmianę prędkości zależnie od temperatury można by przedstawić następująco: Krzywa a na rys. 8 przedstawia różnicę prędkości osadzania w poszczególnych

nych 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.



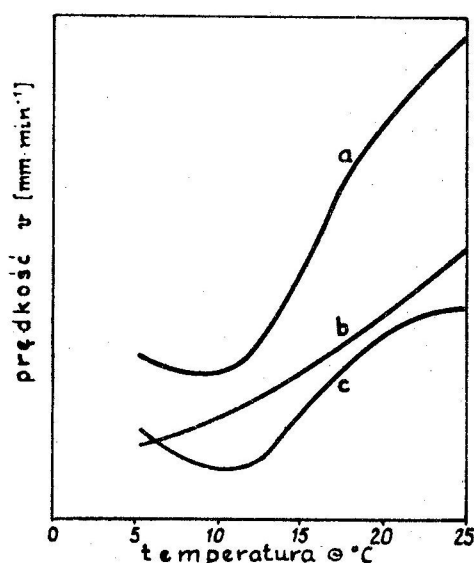
Rys. 9. Czynniki kształtujące osadzanie

d - wpływ działania "tworzącego" kłaczkii na osadzanie, e -
wpływ działania niszczącego kłaczkii na osadzanie

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

nych czynników kształtujących osadzanie, nie może pozostawać bez wpływu na prędkość i przebieg sedymentacji.

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



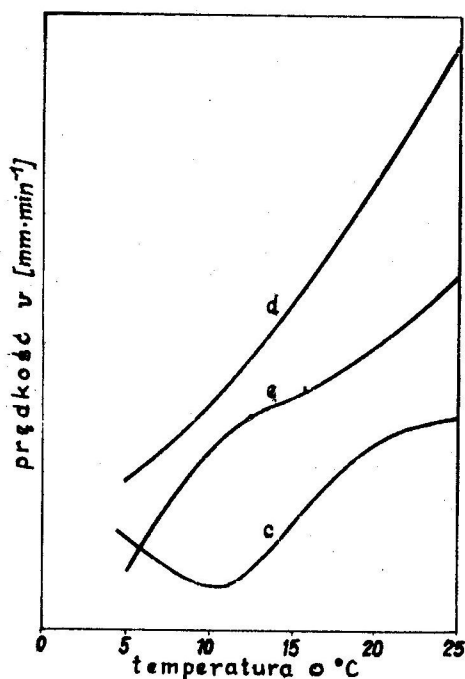
Rys. 10. Temperatura a prędkość osadzania

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 rozpadzone 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 Browna), 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 temperatury, co jest bardzo prawdopodobne przy względnie wysokim zagęszczeniu zawiesiny, które występuje po kilkudziesięciu minutach sedimentacji. 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" kłaczkii na osadzanie, e -
wpływ działania niszczonego kłaczkii 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 kłaczkii 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; skrzepowanie 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" kłaczkii 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.