



Sedymentacja siarczanu baru w osadniku jako metoda ograniczenia ilości osadów stałych w rurociągu odpływowym KWK „Jankowice”¹

*Marian Branny, Justyna Swolkień
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków*

1. Wstęp

Południowo-zachodnią część Górnosląskiego Zagłębia Węglowego, na której terenie położona jest kopalnia „Jankowice” charakteryzują wody o różnym charakterze chemicznym. Wody te zawierają duże stężenia jonów chlorkowych, a także jonów siarczanowych i barowych. Te ostatnie, a w szczególności osad siarczanu baru, jaki powstaje na skutek ich połączenia stanowi szczególne zagrożenie dla systemu retencyjno-dozującego „Olza”. Za pośrednictwem tego systemu wspomniana kopalnia odprowadza swoje wody dołowe do rzeki Odry. Problem nie byłby na tyle istotny gdyby kopalnia ta odprowadzała tylko swoje wody, o podwyższonych stężeniach jonów baru, ale za jej pośrednictwem odprowadza swoje wody również kopalnia „Chwałowice”. Jej wody z kolei charakteryzują przede wszystkim jony siarczanowe. Problem z wytrącaniem się osadu siarczanu baru jest bardzo ważny ze względu na stan techniczny rurociągów kolektora „Olza”, a także nakłady na energochłonność przetłaczania. Stąd też konieczne było podjęcie działań mających na celu

¹ Praca wykonana w ramach prac statutowych AGH nr. 11.11.100.497 finansowanych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego

zminimalizowanie tego zjawiska, poprzez zastosowanie odpowiednich metod ograniczenia wytrącania się siarczanu baru. W poniższym artykule przedstawiono jedną z takich metod wykorzystującą proces sedymentacji siarczanu baru w osadniku „Jankowice”. Główna uwaga autorów skupiła się na opisie przebiegu samego procesu, a także wykorzystaniu metod symulacji numerycznej przepływu siarczanu baru przez osadnik w celu wyznaczenia efektywności jego sedymentacji.

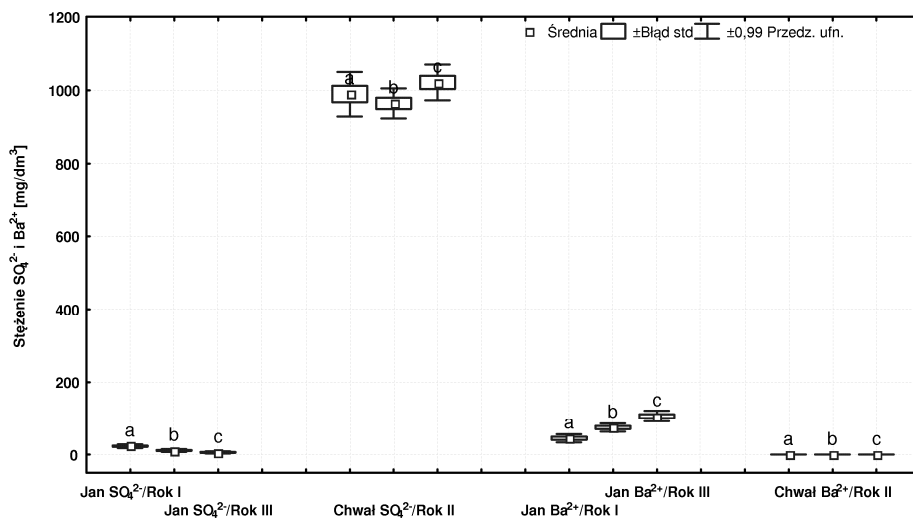
2. Charakter chemiczny wód kopalni „Jankowice” i „Chwałowice”

Wody kopalniane obu omawianych kopalń, ze względu na swoje usytuowanie [1], powinny obfitować w jony siarczanowe, jednakże w części wschodniej kopalni „Jankowice”, w której prowadzona jest eksploatacja, występują jony barowe. Pomocne przy określeniu składu chemicznego i pochodzenia wód kopalnianych okazały się badania izotopowe [1,2,3]. Szczególnie ważną rolę spełniały one podczas identyfikowania pochodzenia jonów siarczanowych. Na rysunku 1 przedstawione zostały zmiany stężeń jonów baru i siarczanowych w obu kopalniach w okresie od VI 2003÷V 2006.

Z wykresu wynika, że w wodach obu kopalń występują jony siarczanowe, przy czym ich stężenia w „Chwałowicach” uległy wzrostowi na przestrzeni trzech lat, przekraczając nawet 1000 mg/dm^3 (VI 2005÷V 2006). O wiele niższe stężenia jonów siarczanowych zanotowano w kopalni „Jankowice”. Średnio wynosiły one 23 mg/dm^3 w roku pierwszym i ulegały wyraźnemu spadkowi w latach następnych (średnio 6 mg/dm^3 w roku trzecim). Na wykresie zaobserwować można ścisłą korelację pomiędzy stężeniami jonów siarczanowych i barowych. Spadkowi stężeń tych pierwszych odpowiada wyraźny wzrost stężenia drugich (w kopalni „Jankowice” średnio 107 mg/dm^3 w roku trzecim). W kopalni „Chwałowice” jony baru praktycznie nie występują, za wyjątkiem głębiej położonych poziomów (1050 m) [4].

Pomimo obecności w wodach kopalni „Jankowice” jonów siarczanowych, przeważają w niej jony baru. Obecności ich sprzyjają silnie warunki redukcyjne panujące we wschodniej części „Jankowic”, obecność promieniotwórczych izotopów radu [1], a także wysokie stężenia jonów chlorkowych (rysunek 1) i wzrost głębokości eksploatacji. Źródłem baru mogły być również okruszcowane barytem szczeliny uskoko-

we występujących w rejonie kopalni, a także ascezyjny dopływ wód z głębiej położonych poziomów [4]. Nie bez znaczenia dla obecności baru są występujące na terenie kopalni izolujące ilaste osady, które uniemożliwiają infiltrację wód z powierzchni.



Rys. 1. Analiza stężeń jonów SO_4^{2-} i Ba^{2+} w kopalniach Jankowice i Chwałowice w okresie od VI 2003÷V 2006 (a) VI 2003÷V 2004, (b) VI 2004÷V 2005, (c) VI 2005÷V 2006

Fig. 1. Analysis of SO_4^{2-} i Ba^{2+} ions' concentration in Jankowice and Chwałowice coal mines in the period of VI 2003-V 2006; (a) VI 2003-V 2004, (b) VI 2004-V 2005, (c) VI 2005-V 2006

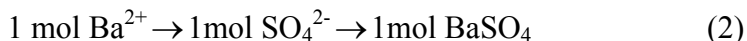
Obecność w wodach dołowych obu omawianych kopalń, zarówno jonów siarczanowych, jak i jonów baru stanowi źródło poważnych problemów podczas ich wspólnego odprowadzania do kolektora „Olza”. Wynika to z faktu, że połączenie tych jonów skutkuje wytrąceniem trudno rozpuszczalnego osadu siarczanu baru w jego rurociągach. Proces ten postępował od 1993 roku, kiedy to rozpoczęto wprowadzanie wód kopalni „Chwałowice” do osadnika przypowierzchniowego „Jankowice” i dalej do rurociągu kolektora [5].

W związku z faktem, iż proces wytrącania się osadów siarczanu baru jest niemal natychmiastowy, na przestrzeni lat nastąpiło znaczące zmniejszenie czynnej średnicy rurociągów, a co za tym idzie zwiększenie

energochłonności przetwarzania całego systemu. Konieczne stało się więc wdrożenie metod ograniczania ilości wytrącającego się siarczanu baru u źródła, czyli bezpośrednio w kopalni.

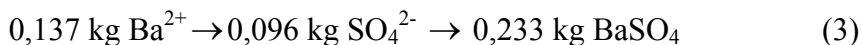
3. Analiza chemiczna procesu strącania siarczanu baru

W najprostszy sposób reakcję łączenia się jonów barowych z jonami siarczanowymi można zapisać w następujący sposób:



Na skutek połączenia się obu jonów prawie natychmiast następuje wytrącenie białego, trudno rozpuszczalnego, drobnokrystalicznego osadu siarczanu baru. Związek ten bardzo łatwo ulega zanieczyszczeniu w wyniku współstrącenia z innymi jonami dodatnimi obecnymi w roztworze, takimi jak: Fe^{3+} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Mg^{2+} [6]. Fakt ten stanowi dodatkowy kłopot w przypadku wytrącania osadu w rurach stalowych, którymi odprowadzane są wody kopalniane. Współstrącenie następuje na skutek adsorpcji, okluzji, tworzenia kryształów mieszanych. Oprócz tego, jeśli odprowadzane wody, bogate między innymi w jony wapnia i magnezu, połączą się z wodami zawierającymi w swoim składzie jony węglanowe, to dodatkowo nastąpi wytrącenie osadów węglanów. Powstające zawiązki stałe niejednokrotnie zawierają w swoim składzie również promieniotwórcze izotopy radu.

Biorąc pod uwagę fakt, iż reakcja strącania przebiega stechiometrycznie, ilość wytrąconego siarczanu można wyznaczyć korzystając z równania reakcji (1 i 2). Uwzględniając masy molowe substratów i produktu, otrzymujemy ogólne równanie (5), pozwalające wyznaczyć ilość wytrąconego siarczanu baru, jak również równanie (6) określające ilość jonów siarczanowych potrzebnych do wytrącenia zadanego ładunku baru.



$$Y \text{ kg BaSO}_4 = \frac{0,233 \text{ kg BaSO}_4 \cdot A \text{ kg Ba}^{2+}}{0,137 \text{ kg Ba}^{2+}} \quad (5)$$

$$X \text{ kg SO}_4^{2-} = \frac{0,096 \text{ kg SO}_4^{2-} \cdot A \text{ kg Ba}^{2+}}{0,137 \text{ kg Ba}^{2+}} \quad (6)$$

$$M_{\text{Ba}^{2+}} = 0,137 \text{ kg/mol}$$

$$M_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,096 \text{ kg/mol}$$

$$M_{\text{BaSO}_4} = 0,233 \text{ kg/mol}$$

Przykładowo, zakładając, że ilość jonów baru w wodach kopalni wynosiłaby $A = 157,3 \cdot 10^3 \text{ kg}$, to ilość siarczanu baru, która powstałaby w wyniku reakcji strącania wynosiłaby odpowiednio 267,52 Mg (7):

$$Y \text{ kg BaSO}_4 = \frac{0,233 \text{ kg BaSO}_4 \cdot 157,3 \cdot 10^3 \text{ kg Ba}^{2+}}{0,137 \text{ kg Ba}^{2+}} \quad (7)$$

$$Y \text{ BaSO}_4 = 267,525 \cdot 10^3 \text{ kg} = 267,52 \text{ Mg}$$

$$X \text{ kg SO}_4^{2-} = \frac{0,096 \text{ kg SO}_4^{2-} \cdot 157,3 \cdot 10^3 \text{ kg Ba}^{2+}}{0,137 \text{ kg Ba}^{2+}} \quad (8)$$

$$X \text{ kg SO}_4^{2-} = 110,22 \text{ Mg}$$

Aby stracić taką ilość osadu, bez konieczności wprowadzania go do kolektora, potrzebne byłoby około 110 Mg jonów siarczanowych (8). W przypadku niezapewnienia odpowiedniej ilości jonów siarczanowych niestrącony bar przedostawałby się do rurociągów i na skutek kontaktu z wodami innych kopalń, zawierającymi jony siarczanowe ulegałyby strąceniu w rurociągach kolektora „Olza”, powodując ich zarastanie i zmniejszanie czynnej średnicy.

4. Zestawienie metod usuwania szkodliwych jonów baru w kopalni „Jankowice”

Dopływające do niższych poziomów kopalni „Jankowice” wody są słabo lub mocno zmineralizowane, czyli zawierają odpowiednio dużo lub mało związków mineralnych. Największy problem sprawia zagospodarowanie wód doprowadzanych na poziomy 400 m i 565 m, gdyż są one najbardziej zanieczyszczone jonami baru i promieniotwórczym radem (^{226}Ra).

Bezpośrednie odprowadzanie ich do znajdujących się w pobliżu pola macierzystego kopalni rzek Rudy i Nacyny powodowałoby wytrącenie osadów siarczanu baru zawierających promieniotwórczy rad, a także przekroczenie najwyższych dopuszczalnych wartości innych szkodliwych substancji (chlorki, zawiesiny ogólne). Takie rozwiązanie byłoby więc niekorzystne zarówno ekologicznie, jak również ekonomicznie, ze względu na silne zanieczyszczenie znajdującego się w pobliżu zbiornika „Rybnik”, z którego elektrownia „Rybnik” pobiera wodę do celów technologicznych.

Od 1989 roku kopalnia „Jankowice”, w ramach profilaktyki przeciwpożarowej, lokuje w swoich wyrobiskach odpady energetyczne pochodzące z elektrowni „Rybnik” (popioły lotne) i górnicze odpady poplotacyjne z Zakładu Mechanicznej Przeróbki Węgla [7]. Do tworzenia mieszanin popiołowo-wodnych wykorzystywane są wody dopływające do kopalni. Połączenie bogatych w siarczany popiołów i odpadów górniczych z naturalnie bogatymi w jony baru wodami kopalni, powoduje strącanie w wyrobiskach górniczych osadu siarczanu baru i radu. Powstałe na skutek strącenia szlamy lokowane są w specjalnie do tego przygotowanych osadnikach w pokładzie 507, pomiędzy poziomami 400 m i 250 m [7].

Usuwanie zanieczyszczeń stałych w wyrobiskach górniczych pozwoliło w dużym stopniu wyeliminować z wód kopalni „Jankowice” szkodliwe jony baru i radu, ale także zagospodarować uwalniające się z odpadów energetycznych i górniczych jony siarczanowe. Niestety wody kopalni „Jankowice” są na tyle bogate w jony baru, że uwalniane jony siarczanowe nie były w stanie całkowicie ich wytrącić (zgodnie z równaniem reakcji strącania siarczanu baru). Konieczne było więc zastosowanie dodatkowych metod oczyszczania wód. Z pomocą przyszły odprowadzane do osadnika kopalni wody kopalni „Chwałowice”, w których stężenia jonów siarczanowych były na tyle duże, że praktycznie całkowicie wystarczały do usunięcia jonów baru. W metodzie tej wykorzystano proces sedymentacji siarczanu baru w osadniku kopalni „Jankowice”.

5. Symulacja numeryczna przepływu cząsteczek siarczanu baru przez osadnik kopalni „Jankowice”

Wykorzystanie zjawiska sedymentacji w procesie usuwania szkodliwych jonów baru i siarczanowych jest bardzo skuteczną metodą, gdyż w wysokim stopniu eliminuje przedostawanie się szkodliwych jonów do rurociągów kolektora. Cały wytrącony osad siarczanu baru pozostaje

w osadniku. Metoda ta musi podlegać jednak szczegółowej kontroli z uwagi na ilość dopływających do osadnika jonów siarczanowych i barowych, a także ze względu na czas ich bezpośredniego kontaktu w zbiorniku.

Według Pluty i Szczepańskiej [8], przewidywany czas całkowitego wytrącenia jonów baru o stężeniu 90 mg/dm^3 przez jony siarczanowe o stężeniu równym 1050 mg/dm^3 , wynosi dwie doby, przy czym praktycznie 90% osadu wytrąca się w ciągu pierwszych kilku godzin. Z uwagi na efektywność wytrącanego siarczanu baru, tak ważne jest poznanie przebiegu zjawiska osadzania się siarczanu baru już w samym osadniku. Z pomocą przychodzi metoda symulacji numerycznej przepływu zawiesiny przez osadnik.

6. Komputerowe modelowanie przepływu wielofazowego

Przepływ zawiesiny przez osadnik można scharakteryzować jako dwufazowy, w którym wyróżnia się fazę ciągłą stanowiącą wodę i rozproszoną, składającą się z cząstek pochodzenia mineralnego lub chemicznego (siarczan baru).

Przepływy dwufazowe można opisać przy pomocy tych samych zasad zachowania masy, pędu i energii, co jednofazowe, ale opis ten jest zdecydowanie bardziej skomplikowany. Wynika to z faktu istnienia dużych różnic pomiędzy tymi przepływami, wśród których podstawowe znaczenie ma występowanie nie tylko oddziaływań zewnętrznych na płyn ze strony ścian sztywnych lub ciał opływanych lecz również oddziaływania wewnętrzne na powierzchniach rozdziału faz. Te ostatnie są zmienne, zarówno pod względem miejsca, jak i czasu. Trudności związane z rozwiązaniem modeli teoretycznych stanowiły punkt wyjścia do opracowania wielu metod opartych o równania półempiryczne, które opisują konkretne przypadki przepływów dwufazowych [9, 10, 11].

Obecnie w komputerowej mechanice płynów stosowane są dwie metody rozwiązywania przepływów wielofazowych, a mianowicie metoda Eulera-Lagrange'a i Eulera-Eulera [12]. W pierwszej z nich faza płynna traktowana jest jako ośrodek ciągły i opisywana przy pomocy czasowo-uśrednionych równań Naviera-Stokea, a rozwiązania dla fazy rozproszonej bazują na wyznaczeniu torów dużej liczby cząsteczek w obliczonym polu prędkości. Pomiedzy fazą ciągłą i rozproszoną może zachodzić wymiana masy, pędu i energii. Podstawowe założenie obowią-

zujące w tym modelu dotyczy małego udziału objętościowego fazy rozproszonej. W procesie obliczeniowym trajektorie cząsteczek wyznaczone są dla określonej liczby kroków.

Symulacje trójwymiarowego (3D) przepływu cząsteczek stałych przez osadniki kopalń „Jankowice” wykonano właśnie w oparciu o model Eulera-Lagrange’a zakładając, że przepływ jest dwufazowy. Fazę ciągłą stanowi woda, zaś fazę rozproszoną cząstki stałe o różnych średnicach. Obliczenia wykonano z wykorzystaniem programu FLUENT 6.1.

7. Warunki brzegowe

Dla fazy ciągłej (wody) przyjęto następujące warunki:

- w otworach dopływowych przyjmowano warunki brzegowe pierwszego rodzaju w postaci stałej prędkości wpływającej do obszaru wody, kinetyczną energię turbulencji oraz szybkość dyssypacji tej energii wyliczano przy założeniu 5% intensywności turbulencji na wlocie,
- w przekroju wylotowym przyjmowano stałą wartość ciśnienia statycznego, zaś dla pozostałych zmiennych zakładano zerową wartość gradientu w kierunku przepływu tzw. warunki ciśnieniowe,
- na ścianach sztywnych przyjmowano przepływ bezpoślizgowy, a w obszarach przyściennych korzystano z klasycznego modelu funkcji ściany,
- powierzchnię swobodną modelowano poprzez przyjęcie zerowych wartości naprężeń stycznych.

Warunki brzegowe dla fazy rozproszonej sprowadzają się zaś do przyjęcia miejsca z którego uwalniane są cząstki stałe oraz określenia warunków ich zderzenia ze ścianą. W obliczeniach przyjęto dwa typy warunków brzegowych dla fazy dyskretnej.

- cząstka po zderzeniu ze ścianą ulega odbiciu. Warunek określany jest przez ilość pędu jaką cząstka traci po zderzeniu ze ścianą i stosowany był dla ścian bocznych osadnika,
- cząstka po dotarciu do brzegu znika (zostaje zatrzymana lub wypływa z obszaru), obliczenia jej trajektorii zostają zatrzymane. Warunek zadawany był na powierzchni dna osadnika oraz w przekroju otworu odpływowego.

8. Obliczenia numeryczne trójwymiarowego (3D) przepływu dwufazowego przez osadniki i ich analiza

Obliczenia numeryczne przepływu cząstek stałych wykonano dla osadnika kopalni „Jankowice”, na który odprowadza swoje wody ta kopalnia i kopalnia „Chwałowice”. Charakterystykę przyjętego do obliczeń osadnika przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka osadnika
Table 1. Characteristics of settling tank

Nazwa	Wymiary [m]	Przepływ [m ³ /dobę]	Opis
Osadnik KWK „Jankowice”	250·180·1	9670	Niestrukuralna siatka numeryczna o ilości węzłów ponad 800000

W obliczeniach przyjęto również, że przez osadnik przepływa jednorodna rozcieńczona zawiesina. Drobnodziarniste cząstki siarczanu baru mają kształt kul o średnicach od $1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-6}$ m i gęstości 4500 kg/m^3 [13]. Jednocześnie proces sedymentacji ma charakter ciągły, co znaczy, że w osadniku występują strefy o różnych stężeniach. Zakłada się, że przepływ jest ustalony, trójwymiarowy (3D), strumień objętości i masy zawiesiny dopływający do osadnika jest równy strumieniowi wypływającemu (tabela 1). Oznacza to, że w bilansach masowych strumieni na wlotach i wylotach pominięto masę cząstek stałych osadzających się w zbiorniku.

W obliczeniach numerycznych wyznaczono trójwymiarowe (3D) pola prędkości, ciśnień, kinetycznej energii turbulencji i dyssypacji tej energii dla fazy ciągłej, oraz wyznaczono trajektorie ruchu cząstek stałych (siarczanu baru). Pozwoliło to na określenie efektywności procesu sedymentacji, rozumianej jako stosunek liczby cząstek osiadłych na dnie zbiornika do ogólnej liczby cząstek uwolnionych. Niezależność rozwiązań od gęstości siatki numerycznej sprawdzono poprzez jej zagęszczenie.

Na rysunkach 2, 3, zostały przedstawione obrazy linii prądu wychodzące z powierzchni wlotu osadnika, pola prędkości w płaszczyźnie zwierciadła swobodnego, oraz tory cząstek siarczanu baru przy założonych różnych średnicach. W omawianym przypadku siarczanu baru powstaje w miejscu mieszania się strumieni wlotowych.

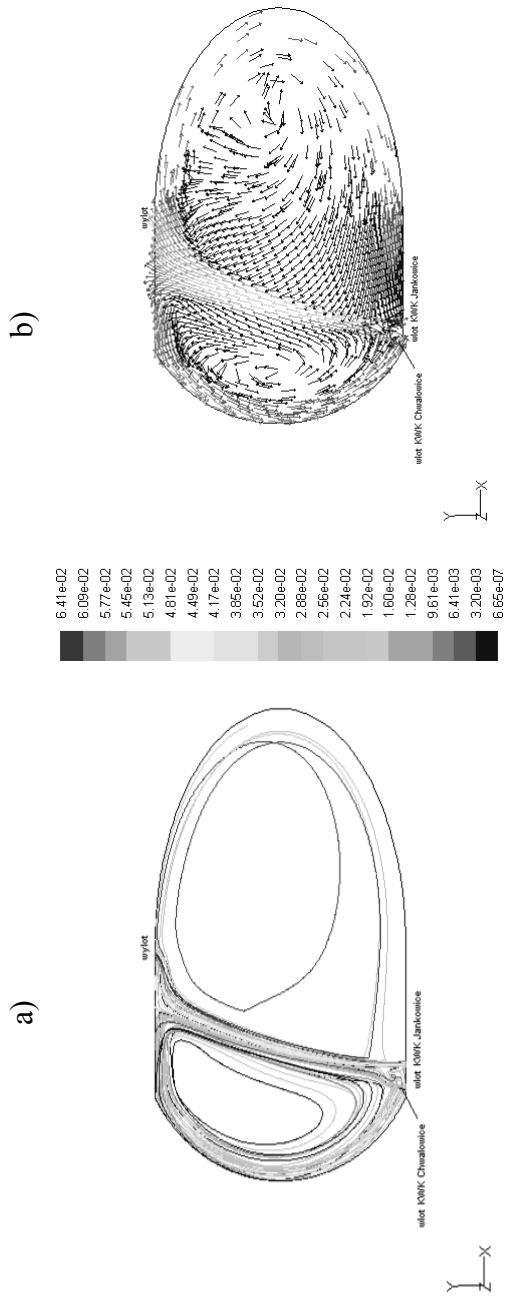
Dodatkowo w tabeli 2 zestawiono wartości efektywności sedymentacji w zależności od średnicy cząstek stałych.

Na rysunkach 2 a i b przedstawione zostały linie prądu i pola prędkości cząstek siarczanu tworzące się podczas kontaktu jonów baru i siarczanowych. Ich przebieg zależy od kształtu zbiornika oraz usytuowania otworów wlotowych i wylotowych. Analizując przebieg linii prądu i pól prędkości wyróżnić można dwie strefy z przepływem recyrkulacyjnym różniące się między sobą zarówno zasięgiem jak i natężeniem przepływu.

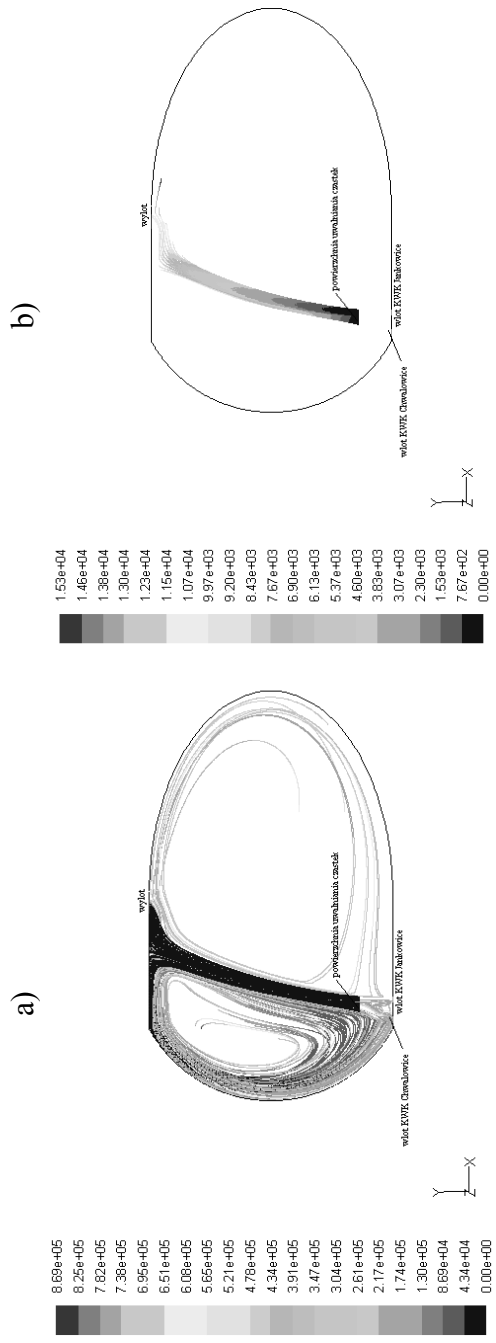
Analizując powyższe wykresy, oraz dane zamieszczone w tabeli 2, wyraźnie uwidacznia się zależność między efektywnością sedymentacji, a średnicą cząstek siarczanu. Mała efektywność, a tym samym najdłuższy czas opadania występuje przy średnicy $1 \cdot 10^{-6}$ m. W przypadku średnicy cząstek siarczanu baru $1 \cdot 10^{-6}$ m efektywność sedymentacji wynosi 62,5%. Przyjęta na rysunku 3 skala szarości odpowiada czasowi przebywania cząstki stałej w zbiorniku, która zgodnie z przyjętymi warunkami brzegowymi bądź to osiada na dnie zbiornika bądź też wypływa otworem wylotowym. Czas przebywania cząstki stałej w zbiorniku jest funkcją wielu zmiennych, wśród których istotne znaczenie ma geometria osadnika, strumień masowy przepływającej zawiesiny, jak i właściwości fizyczne samych cząstek stałych. Informacja o czasie ich przebywania w osadniku może być wykorzystana przy modernizacji zbiornika, polegającej na optymalizacji jego kształtu oraz rozmieszczeniu otworów dopływowych i wypływowych, jak również przy projektowaniu nowych obiektów.

W omawianym przypadku wraz ze wzrostem średnicy cząstek skraca się czas ich opadania i jednocześnie wzrasta efektywność sedymentacji. Dla osadnika kopalni „Jankowice” efektywność 99% uzyskano przy średnicy cząstki wynoszącej $7 \cdot 10^{-6}$ m.

Zasadniczą trudnością w określaniu swobodnej prędkości opadania ziaren BaSO_4 , co rzutuje na efektywność sedymentacji, jest niemożność dokładnego sprecyzowania ich średnicy. Określenie jej rzeczywistej wartości jest dosyć trudne, a dane literaturowe podają jedynie pewien jej zakres [14]. Według nich przy ciągłym mieszaniu otrzymuje się kryształki o średnicy $6 \div 8 \mu\text{m}$, a przy mieszaniu intensywnym, mechanicznym o średnicy od $3 \mu\text{m}$ do $0,1 \mu\text{m}$. Należy zwrócić również uwagę na fakt, iż siarczan baru ma zdolności do okludowania, adsorbowania i tworzenia kryształów mieszanych, co jeszcze bardziej utrudnia precyzyjne wyznaczenie jego średnicy.



Rys. 2. a) Linie prądu wychodzące z powierzchni wlotu osadnika „Jankowice” b) pole prędkości – płaszczyzna zwierciadła swobodnego w osadniku „Jankowice”
Fig. 2. a) Stream lines coming out from the surface of inlet of “Jankowice” settler b) velocity field – plane of water table in the “Jankowice” settler



Rys. 3. Tory cząsteczek siarczynu baru ($\rho=4500 \text{ kg/m}^3$) uwalnianych w miejscu mieszania się strumieni wlotowych, a) przy $d=1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$, b) przy $d=7 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

Fig. 3. Path lines of barium sulphate deposits ($\rho=4500 \text{ kg/m}^3$) released from the point of inlet streams mixing in “Jankowice” settler; a) diameter $d=1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$, b) diameter $d=7 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

Tabela 2. Zestawienie średnic i sprawności sedymentacji w badanym osadniku
Table 2. List of diameters and efficiency of sedimentation in the settling tank

Nazwa	średnica [m]	efektywność [%]	średnica [m]	efektywność [%]
Osadnik KWK „Jankowice”	$1 \cdot 10^{-6}$	62,5	$7 \cdot 10^{-6}$	99

Analizując uzyskane w procesie obliczeń numerycznych dane (tabela 2) i zakładając, że nie da się jednoznacznie określić średnicy cząstek siarczanu baru, racjonalnym wydaje się, przy regulowaniu rozplywem wód, wydłużenie czasu kontaktu różnych chemicznie wód. Pozwoli to zabezpieczyć rurociągi kolektora przed ewentualnym przedostaniem się do nich siarczanu baru. Zakładając, zgodnie z literaturą [13], najbardziej prawdopodobną średnicę siarczanu baru jako równą $7 \cdot 10^{-6}$ m, otrzymana efektywność jego sedymentacji w osadniku „Jankowice” wynosi, wspomniane już 99%. Należy jednak pamiętać, że na efektywność procesu sedymentacji ma wpływ geometria zbiornika i usytuowanie otworów wlotowych i wylotowych. Inny kształt zbiornika spowodować może uzyskanie innej wartości efektywności przy tej samej przyjętej średnicy.

9. Proces sedymentacji siarczanu baru w osadniku kopalni „Jankowice”

W tabeli 3 przedstawiono średnie stężenia jonów baru i jonów siarczanowych w wodach kopalnianych odprowadzanych do i z osadnika kopalni „Jankowice”, za okres od VI 2003 do V 2006.

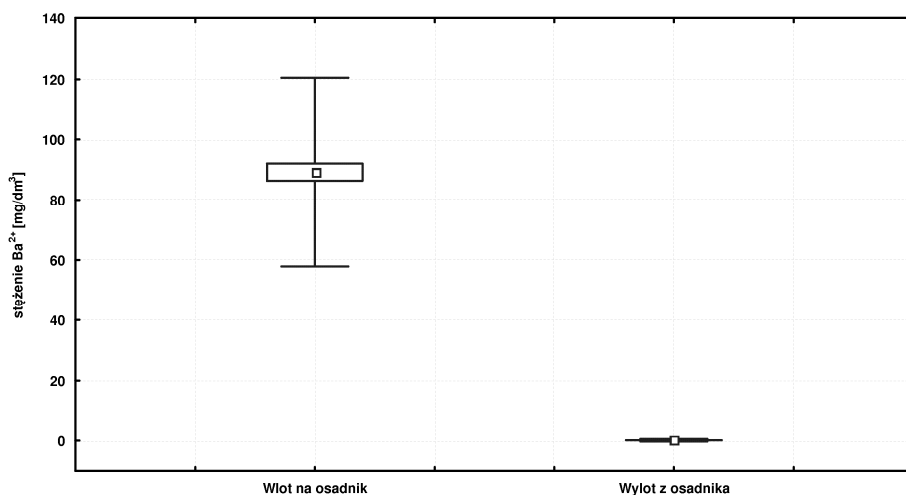
Analiza tych stężeń pokazała, że stężenia jonów baru odprowadzanych do osadnika, pomimo oczyszczania w wyrobiskach górniczych, były wysokie. W pierwszym półroczu 2006 roku sytuacja uległa znacznemu pogorszeniu. Stężenia jonów baru wzrosły bowiem półtora raza w stosunku do roku 2005, przy jednoczesnym spadku stężeń jonów siarczanowych. Pierwsze znaczne wzrosty stężenia zanotowano już w październiku 2005 roku. Taka sytuacja mogła być spowodowana dopływem do kopalni wód o zwiększonych zawartościach jonów baru. Nie stanowi to jednak problemu, ponieważ odprowadzane z kopalni „Chwałowice” wody zawierają na tyle dużo siarczanów (tabela 3), że są w stanie strącić cały ładunek baru.

Tabela 3. Zestawienie stężeń jonów baru i jonów siarczanowych na wlocie i na wylocie z osadnika Jankowice
Table 3. List of barium and sulphates ions' concentrations on the inlet and outlet of the Jankowice settler

Okres	Jankowice/wlot		Chwałowice/wlot mg SO ₄ ²⁻ /dm ³	Pompownia Jankowice/wylot	
	mg Ba ²⁺ /dm ³	mg SO ₄ ²⁻ /dm ³		mg Ba ²⁺ /dm ³	mg SO ₄ ²⁻ /dm ³
VI÷XII 2003	53,75	24,07	916,05	0,10	301,20
2004	58,85	15,14	1003,56	0,00	275,45
2005	85,74	10,20	1007,76	0,18	265,54
I÷V 2006	135,07	1,67	1030,67	0,47	211,40

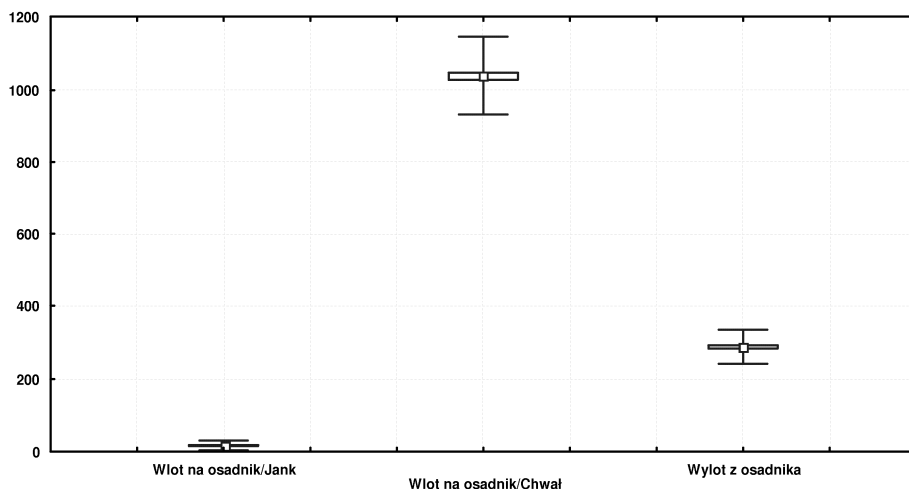
Istotny jest jednak fakt, że proces strącania osadu musi podlegać szczegółowej kontroli, a wody z obu kopalń powinny pozostawać w kontakcie na tyle długo, aby cały siarczan baru uległ wytrąceniu. Dawne zaniedbania związane z obserwacją tegoż właśnie procesu przyczyniły się do pogorszenia jakości rurociągów, ponieważ zbyt krótki czas przebywania wody w osadniku skutkowało przedstawianiem się osadu do rurociągów kolektora. Wprowadzona od 2003 roku systematyczna kontrola stężeń jonów baru i jonów siarczanowych na wlocie i na wylocie z osadnika, a także retencjonowanie odprowadzanych wód, pozwoliło wyeliminować ten problem.

Na rysunku 4 zobrazowane zostały stężenia jonów baru przed i po redukcji na osadniku „Jankowice” za okres trzech ostatnich lat (od VI 2003 do V 2006). Średnie stężenie jonów baru odprowadzanych przez kopalnię „Jankowice” w tym czasie wynosiło około 90 mg/dm^3 , a po redukcji na osadniku praktycznie zero. Jednocześnie analiza stężeń jonów siarczanowych odprowadzanych do osadnika z kopalni „Chwałowice” (rysunek 5) pokazuje, że ich średnie stężenie sięgało około 1050 mg/dm^3 , natomiast po zajściu reakcji strącania siarczanu baru uległo znacznemu zmniejszeniu do wartości około 300 mg/dm^3 .



Rys. 4. Stężenia jonów baru przed i po redukcji na osadniku kopalni „Jankowice” w okresie od VI 2003÷V 2006

Fig. 4. Barium ions' concentrations before and after reduction on the “Jankowice” settler in the period of VI 2003-V 2006



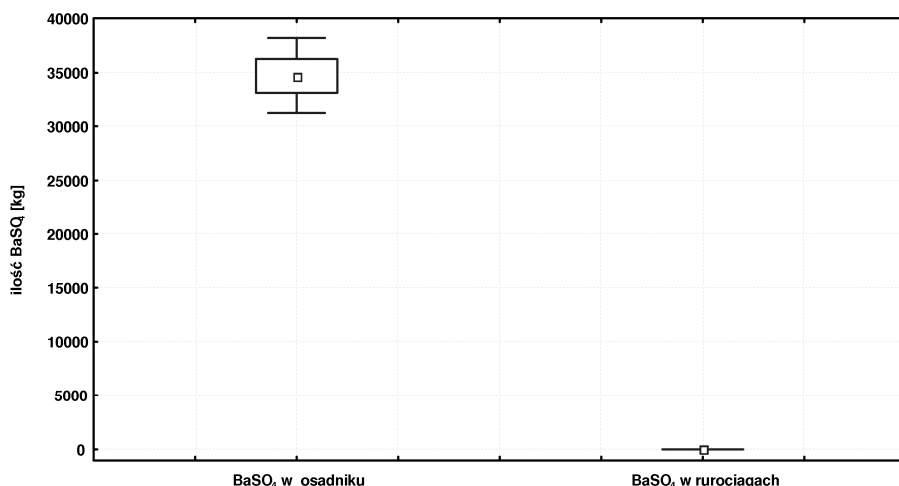
Rys. 5. Stężenia jonów siarczanowych odprowadzanych do i z osadnika kopalni „Jankowice” w okresie od VI 2003÷V 2006

Fig. 5. Concentrations of sulphates ions transported to and from the “Jankowice” settler in the period of VI 2003-V 2006

Powyższe dane zdają się potwierdzać w badaniach symulacji numerycznej przepływu cząstek stałych przez osadnik „Jankowice”, według których przyjmując najbardziej prawdopodobną ich średnicę ($7 \cdot 10^{-6}$ m), efektywność sedymentacji wynosi 99%. W związku z faktem, iż nie można dokładnie określić średnicy cząstek siarczanu baru [13], aby zabezpieczyć rurociągi przed ewentualnym przedostawaniem się do nich osadu, uzasadnione wydaje się być, ze względów profilaktycznych, wydłużenie czasu przebywania chemicznie różnych wód w osadniku.

W okresie trzech ostatnich lat w osadniku kopalni średnio na miesiąc strącało się nieco poniżej 35000 kg siarczanu baru (rysunek 6), a zarazem w rurociągu nie wytrącał się on praktycznie w ogóle. Oznacza to, że jego usuwanie było niemalże całkowite, a decydującą rolę odgrywały tutaj pierwsze godziny kontaktu odprowadzanych wód.

Zastosowanie metody strącania siarczanu baru w osadniku przykopalnianym, jakkolwiek skuteczne, powoduje pojawienie się nowego problemu związanego z zagospodarowaniem wytrąconego osadu. Wymusza to na kopalni wprowadzenie odpowiedniej technologii oczyszczania osadnika z zalegających w nich osadów, tak aby nie wyłączać go z użytku na zbyt długi okres czasu.



Rys. 6. Ilość wytrąconego w osadniku kopalni „Jankowice” i w rurociągu kolektora „Olza” siarczanu baru w okresie od VI 2003÷V 2006

Fig. 6. The amount of precipitated barium sulphate in the “Jankowice” settler and in the “Olza’s” interceptor sewer’s pipe-lines in the period of VI 2003÷V 2006

10. Podsumowanie

Zjawisko wytrącania się w rurociągach kolektora „Olza” osadów stałych siarczanu baru stanowi poważne zagrożenie dla ich stanu technicznego. Wprowadzanie odpowiednich metod ograniczenia ilości tych osadów pozwala rozwiązać ten problem. Należy pamiętać jednak, że nie każda metoda neutralizacji znajdzie swoje zastosowanie w wybranych kopalniach. Z punktu widzenia kopalni Jankowice najskuteczniejsza wydaje się być metoda sedymentacji osadów w zbiornikach przykopalnianych. Poznanie mechanizmu przebiegu sedymentacji, przy pomocy metody symulacji numerycznej, pozwoliło w przybliżony sposób określić jego efektywność. Jej wartość przy średnicy cząstek $7 \cdot 10^{-6}$ m wynosi 99%. Problemem jest jednak fakt, niema możliwości dokładnego określenia średnicy cząsteczek siarczanu baru. Przebieg procesu sedymentacji w osadniku ściśle zależy od jego geometrii i rozmieszczenia otworów wlotowych i wylotowych, a to ma wpływ na czas przebywania cząstek w osadniku. W przypadku osadnika kopalni Jankowice pomiary stężeń jonów baru i siarczanowych na wlocie i wylocie potwierdziły, że proces sedymentacji przebiega praktycznie ze 100% efektywnością.

Połączenie chemicznej analizy procesu sedymentacji z analizą jego przebiegu metodą symulacji numerycznej, a także systematyczną kontrolą stężeń jonów na wlocie i wylocie z osadnika stwarza możliwości zastosowania tej metody w innych kopalniach, jak również wykorzystania jej przy projektowaniu nowych zbiorników, tak aby zapewnić najlepsze parametry procesu.

Literatura

1. **Pluta I.**: *Wody kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego-geneza, zanieczyszczenia i metody oczyszczania*. GIG, Katowice, 2005.
2. **Pluta I.**: *Promieniotwórczość wód karbonu GZW, a ich pochodzenie określone badań izotopowych i hydrochemicznych*. Praca doktorska, AGH, Kraków, 1988.
3. **Zuber A., Pluta I.**: *Wskaźniki izotopowe i hydrochemiczne genezy solanek karbonu GZW*. Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski, Prace Naukowe Instytutu Geotechniki i Politechniki Wrocławskiej, 497-504, 1989.
4. **Pluta I.**: *Bar w wodach kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Przegląd Górniczy, nr 4, 16-22, 1999.
5. **Pustelnik J., Pluta I., Andrejewicz M.**: *Stan techniczny rurociągu kolektora Olza i ocena możliwości jego dalszej eksploatacji*. Przegląd Górniczy, nr.1, 21-24, 1999.
6. **Cygański A.**: *Chemiczne metody analizy ilościowej*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1987.
7. **Kryj K., Rudek S.**: *Ekologiczne, ekonomiczne i techniczne aspekty ograniczania zrzutu wód słonych do zbiorników powierzchniowych*. Materiały Konferencji Szkoły Eksploatacji Podziemnej, 671-679, 2004.
8. **Szczepańska J., Pluta I.**: *Bar w wodach kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Przegląd Górniczy nr.4, 16-22, 1999.
9. **Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R.**: *Mechanika płynów w inżynierii środowiska*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 372-436, 1997.
10. **Wacławik J.**: *Mechanika płynów i termodynamika*. Wydawnictwo AGH, Kraków, 323-340, 1993.
11. **Bandrowski J., Merta H., Ziolo J.**: *Sedymentacja zawieszin. Zasady i projektowanie*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1995.
12. **Fluent 6.1 Documentation User's Guide: "Discrete Phase Models"**.
13. **Lebecka J.**: *Metoda i technologia oczyszczania z radu wód dołowych typu B*. GIG Katowice, 1994.
14. **Majcherek H.**: *Podstawy hydromechaniki w inżynierii oczyszczania wody*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 45-48, 2006.

Sedimentation of Barium Sulphate in Settler as a Method of Limitation of Solid Residues in Jankowice Outflow Pipe-line

Abstract

The article treats about the process of barium sulphate deposits flow through the Jankowice's settling tank.

"Jankowice" coal mine transports its mine waters through the "Olza" retaining-dose system. The waters' chemical character strongly depends on the hydrological lay of land of the south-western part of Upper Silesia. The different chemical character of transported waters is a main reason for precipitation of solid sediments in the interceptor-sewer's pipe-lines. This leads to their overgrowing with sediment, increasing of water pumping energy and, in the end, necessity of overhaul repairs. Therefore, it is very important to get to know the chemical character of mine waters through the years. Authors described changes of the barium and sulphates ions' concentrations in the water transported to the river from "Jankowice" and "Chwalowice" coal mines in the period of VI 2003-V 2006. From 1993 "Jankowice" mine, through the medium of one big settling tank, drains off its waters with increased concentration of barium ions, and also waters of increased concentration of sulphate ions coming from "Chwalowice" coal mine. The process of precipitation of barium sulphate is almost immediate and it is a source of huge technical problems for the interceptor sewer. It is also very important to analyze the process of chemical sedimentation of barium sulphate by usage of chemical equations. This allows to estimate the amount of sulphates ions needed to precipitate barium ions.

Due to the strong contaminations of "Jankowice" and "Chwalowice" waters special water cleansing methods were introduced. They were focused on removing barium and sulphate ions and most of them were highly effective. Unfortunately the amount of sulphates ions used in certain methods was insufficient to remove whole barium ions. Therefore, there was another method used. The process of precipitation of barium sulphate is being proceed at the source, that is in the settling tank. In order to prevent penetrating the remaining barium sulphate into the pipe-lines it is necessary to get to know the process of its sedimentation and its efficiency.

Numerical simulation of the solid particles flow (barium sulphate) proceeded in this article throughout Fluent 6.1, is the way of describing the sedimentation process. Usage of the two-phase model flow throughout the calculations of the velocity field and trajectory of barium sulphate particles, allows to pinpoint the sedimentation efficiency and the particles' descending time (time

of particles being in the settler). The calculated sedimentation efficiency for the particles of $7 \cdot 10^{-6}$ m diameter for the “Jankwice” settler was 99%, which means that the whole barium ions were precipitated. Unfortunately difficulties with clear specification of the barium sulphate particles’ diameter reflect on the appraising their free descending velocity and in the end on the sedimentation efficiency. The sedimentation efficiency and descending time depend also on the settler geometry, inlet and outlet placing (water inflow and outflow), and flowing water volume flux. Thus, the same sedimentation process proceeded in geometrically different settler would give different sedimentation efficiency.

Numerical calculations of the different mass flux suspension flow through the settlers of different geometry allow to demonstrate the process of sedimentation. This knowledge might be useful during the settlers’ modernization. Not only does it concern the optimization of the settlers’ shape and arranging inlet and exit cavities but also designing new objects.