

## Transport cząstek koloidalnych z zaadsorbowanymi jonami arsenu przez mineralne złoża porowate

*Izabela Wróbel, Izabela Polowczyk, Zygmunt Sadowski  
Politechnika Wroclawska*

### 1. Wstęp

Obecność odpadów przemysłowych w środowisku naturalnym staje się coraz bardziej zauważalnym problemem w ochronie środowiska. Za główne źródło ich powstawania, uważa się przemysł wydobywczy i przetwórstwa kopalin. W wyniku prowadzenia procesów wzbogacania, bądź procesów hutniczych, powstają odpady deponowane na hałdach, które w znaczący sposób przyczyniają się do zanieczyszczeń wód gruntowych. Dzieje się tak w wyniku transportu trudno rozpuszczalnych zanieczyszczeń przez naturalny polimineralny ośrodek porowaty. Zjawisko to zostało zaliczone do głównych procesów mających istotny wpływ na zanieczyszczanie wód gruntowych [6, 12].

Dotychczasowe badania donoszą o istotnym udziale w procesie migracji części fazy stałej gleby, która może poruszać się pod wpływem zmiennych warunków geochemicznych. Ruchomymi komponentami gleby są powstające cząstki koloidalne, które za względu na mały rozmiar, obecność podwójnej warstwy elektrycznej oraz rozwiniętą powierzchnię właściwą, są efektywnymi sorbentami zanieczyszczeń [7, 8, 15].

Stwierdzono obecność wielu zarówno nieorganicznych, jak i organicznych koloidów w glebie i w wodach gruntowo glebowych. Należą do nich: glinokrzemiany i krzemiany, tlenki metali, wodorotlenki, węglany, fosforany, a także biokoloidy oraz makromolekularne fragmenty materii organicznej. Ich stężenie mieści się w granicy  $0,2 \div 1700$  ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ). Cząstki o rozdrobnieniu koloidalnym, których rozmiary mieszczą się w przedziale  $1 \div 1000$  nm, powstają w wyniku wietrzenia fizycznego i chemicznego. Głównym ich źródłem są minerały skałotwórcze, oraz przesycone roztwory jonów, z których cząstki kolo-

idalne tworzą się w procesie nukleacji. Organiczne cząstki koloidalne powstają z rozkładu materiału biologicznego. Dzieje się tak na skutek tworzenia dołów gnilnych, czy poprzez zasypywania wgłębień w terenie odpadami komunalnymi bez izolacji od otoczenia [2, 7, 11, 14].

Cząstki koloidalne, obecne w naturalnym ośrodku porowatym, są zazwyczaj nieruchome. Obniżenie siły jonowej, a co za tym idzie zwiększenie elektrostatycznego odpychania pomiędzy cząstkami koloidalnymi sprawia, że następuje migracja cząstek koloidalnych w głąb porowatego ośrodka. Mobilność cząstek koloidalnych obecnych zarówno w strefie stałej gleby, jak i warstwie wodonośnej, zależy od szeregu czynników fizykochemicznych. Są nimi: pH, stężenie jonów lub związków powierzchniowo czynnych, które mogą adsorbować się na powierzchni cząstek koloidalnych. Wyniki badań wskazują, że tworzenie układu dyspersyjnego w naturalnych porowatych ośrodkach jest ułatwione przy zwiększonym pH i niskiej sile jonowej. W środowisku naturalnym warunki te mogą ulegać zmianie w czasie i przestrzeni. Przyczyną tych wahań może być rozcieńczenie roztworów glebowych przez wody deszczowe, a także ich zatężenie przez odparowanie. Dodatkowo proces transportu powstałych cząstek koloidalnych jest zależny od warunków hydrodynamicznych, takich jak szybkość przepływu cieczy przez ośrodek porowaty. Wzrost szybkości przepływu powoduje większą mobilność cząstek koloidalnych [11, 14, 15].

Cząstki koloidalne, w odpowiednich warunkach hydrogeochemicznych, stanowią wysoce mobilne nośniki zanieczyszczeń. Na ich powierzchni mogą efektywnie sorbować się: jony metali ciężkich, związki organiczne, radionuklidy i inne substancje stanowiące potencjalne zagrożenie dla środowiska naturalnego. Niekiedy możliwe jest wstrzymanie transportu zanieczyszczeń, a tym samym zmniejszenie skażenia gleby i wód gruntowo glebowych. Dzieje się tak wtedy, gdy wielkość cząstki będących nośnikami zanieczyszczeń przewyższa wymiary porów. Wówczas następuje zapychanie warstwy filtracyjnej złoża, co skutkuje zmniejszeniem szybkości przepływającego płynu. Inhibicja transportu może być również wywołana przez zmniejszenie porowatości złoża, czy dużą koncentrację cząstek koloidalnych [7, 15, 16].

Głównym celem badań naukowych nad układami koloidalnymi ułatwiającymi transport zanieczyszczeń w naturalnym ośrodku porowatym, jest zrozumienie jak dany układ zachowuje się w naturalnych warstwach podpowierzchniowych. Większość badań nad cząstkami koloidalnymi ułatwiającymi transport zanieczyszczeń oparta jest na obliczeniach modelowych i eksperymentalnej weryfikacji. Eksperymenty przeprowadza się z wykorzystaniem kolumn z wypełnieniem. Migrację cząstek koloidalnych badano w obecności takich zanieczyszczeń jak: kationy metali alkalicznych, kationy metali przejściowych ( $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ), aniony tlenkowe, polarne i niepolarne związki organiczne [15].

Zanieczyszczenie wód naturalnych związkami arsenu ma miejsce w wielu częściach świata. Sprawia to, że problem skażenia terenu arsenem stał się obecnie problem na skalę globalną. Arsen, jako jeden z najbardziej toksycznych pierwiastków śladowych, obecny w wodzie pitnej, ma znaczący wpływ na zdrowie człowieka. Jako czynnik kancerogenny, negatywnie działa na m.in. skórę, wątrobę, płuca, czy układ nerwowy. Zanieczyszczenie wód naturalnych arsenem może wynikać z wysoce rozwiniętego przemysłu, chociażby górniczego czy hutniczego. Z drugiej strony, obecność w wodach arsenu pochodzenia naturalnego dodatkowo wpływa na zwiększenie ilości tego pierwiastka. Ponad 300 minerałów zawiera w swojej strukturze arsen. Obecność minerałów zawierających arsen potwierdzono w rudach miedzi, cynku, ołowiu i złota. Arsen może stanowić główny składnik niektórych rud, bądź jedynie śladowe domieszki do innych minerałów. Arsen występuje głównie w postaci tlenków arsenu (III) i arsenu (V). Ich zawartość uzależniona jest od potencjału redoks, pH. Stwierdzono, że arsen (III) jest najbardziej toksyczną i mobilną formą w środowisku naturalnym. Związki arsenu stanowiące odpad w procesach wyprężania rud oraz wytopu metali, mogą migrować przez warstwę gleby do wód gruntowo-glebowych. Stanowiąc to może potencjalne zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi [1, 3÷5, 9, 10, 17].

W niniejszej pracy badano warunki fizykochemiczne transportu cząstek dwóch układów koloidalnych (syntetycznego hematytu oraz kaolinu pochodzenia naturalnego) przez warstwę porowatą, która zbudowana była z odpadów z przemysłu górniczego i hutniczego z obszaru Dolnego Śląska. Dodatkowo, zbadano transportu tych samych cząstek koloidalnych po zaadsorbowaniu na ich powierzchni jonów arsenowych.

## **2. Materiały i metody**

### **2.1 Materiał badawczy**

Badania transportu cząstek koloidalnych prowadzono dla dwóch układów. Pierwszym z nich był koloidalny hematyt ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), otrzymany syntetycznie [7]. Źródłem jonów żelaza (III) był 2 M roztwór chlorku żelaza (III), do którego dodano 6 M roztwór wodorotlenku sodu. Po dodaniu reagentów, całość mieszało przez 15 minut ( $1100 \text{ min}^{-1}$ ). Następnie ogrzewano w  $100^\circ\text{C}$  przez 74 godziny i dializowano w membranie celulozowej w obecności wody dejonizowanej. Wykonano dla powstałego koloidu rozkład wielkości ziaren (Malvern Mastersizer 2000), gdzie  $d(50)$  wynosi  $0,4 \mu\text{m}$ , a także pomiar całkowitej powierzchni właściwej przy użyciu adsorbenta polarnego –  $43,33 \text{ (m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$ . Drugim badanym układem koloidalnym był materiał pochodzenia naturalnego – kaolin (kaolin KOS z Kopalni Surowców Mineralnych „Surmin – Kaolin” w Nowogrodźcu),

dla którego wyznaczono podobne parametry:  $d(50)$  wynosi  $1,2 \mu\text{m}$ , odczyn pH 5,6, całkowita powierzchnia właściwa  $22,00 (\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$  oraz zawartość kaolinu wynosi 79%, illitu 7%, kwarcu 13% i innych minerałów 1%.

Porowatym materiałem, na którym przeprowadzono doświadczenia transportu cząstek koloidalnych, były odpady przemysłu górniczo-hutniczego rejonu Dolnego Śląska. Są to pohutnicze odpady rud laterytowych niklu, pochodzące z Zakładów Górniczo-Hutniczych w Szklarach. Materiał ten został pobrany od strony południowej i zachodniej hałdy. Podział taki zastosowano ze względu na różnice we właściwościach fizykochemicznych materiału, które są skutkiem stosowania odmiennych procesów technologicznych w Zakładach Górniczo-Hutniczych w Szklarach. Trzecim materiałem był odpad pochodzący z kopalni w Złotym Stoku, który jest pozostałością po eksploatacji rud arsenu i złota. W celu określenia właściwości fizykochemicznych badanych materiałów wykonano analizy: gęstości własnej ( $\rho$ ), porowatości ( $n$ ), pH wodnej zawiesiny, zawartości węglanów ( $\text{XCO}_3$ ; metoda wagowa z użyciem roztworu kwasu solnego), wielkości rozkładu ziaren ( $d(50)$ ; Malvern Mastersizer 2000), całkowitej powierzchni właściwej ( $S$ ; metoda z użyciem adsorbenta polarnego), a także składu pierwiastkowego (metoda spektrometrii ICP-OES) dla frakcji  $40\text{--}1000 \mu\text{m}$ .

**Tabela 1** Charakterystyka porowatego materiału badawczego

**Table 1.** Characteristic of mineral porous bed

	Szklary		Złoty Stok
	południowe	zachodnie	
$\rho [\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}]$	3,05	2,86	2,86
$n [\%]$	48,5	48,4	38,6
pH	9,5÷10,6	11,0÷11,6	9,2÷9,6
$\text{XCO}_3 [\%]$	40,04	68,15	15,39
$d(50) [\text{mm}]$	500,0	203,7	220,1
$S [\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}]$	4,21	37,97	23,91
Ni [ppm]	1070	820	25
Mn [ppm]	910	1050	380
Fe [%]	5,98	8,07	6,16
Ca [%]	17,28	23,45	4,18
Mg [%]	8,74	5,75	7,56
As [%]	1,37	0,88	3,99

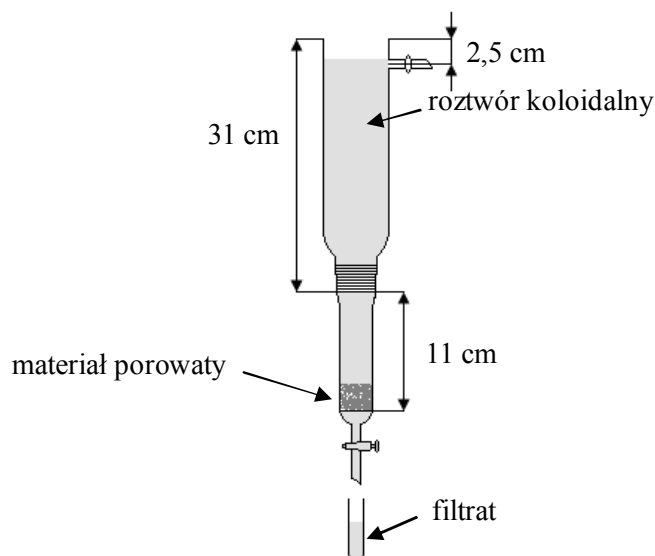
## **2.2. Adsorpcja arsenu na cząstkach koloidalnych**

Adsorpcje jonów arsenowych na cząstkach koloidalnego hematytu oraz kaolinu prowadzono używając wzorcowego roztworu arsenu o stężeniu  $1000 \text{ mg/dm}^3$ . Roztwór sporządzono przy użyciu  $\text{As}_2\text{O}_3$ , rozpuszczając w wodzie tlenek z dodatkiem 2 M roztworu NaOH, a następnie lekko zakwaszając 2 M roztworem HCl. Adsorpcję jonów arsenowych na hematycie przeprowadzono w zakresie stężeń jonów arsenowych  $50\div 340 \text{ ppm}$ , przy pH 10,2 w stosunku  $8,2 \cdot 10^{-4} \text{ g}$  fazy stałej do  $25 \text{ cm}^3$  roztworu z jonami arsenowymi. Natomiast adsorpcję jonów arsenowych na kaolinie prowadzono w zakresie stężeń  $100\div 1000 \text{ ppm}$ , przy pH 10,3, w stosunku 1 g fazy stałej do  $25 \text{ cm}^3$  roztworu jonów arsenowych o określonym stężeniu. Czas wytrząsania roztworów z fazą stałą wynosiło 1 godzinę. Wykonano izotermę adsorpcji jonów arsenowych dla badanych układów koloidalnych, stosując do oznaczeń metodę z błękitem arsenomolibdenowym. Z przeprowadzonych badań adsorpcji stwierdzono, że maksymalna adsorpcja jonów arsenowych ma miejsce przy stężeniu 0,6 g As na 1 g hematytu i 2 mg na 1g kaolinu i wyniosła odpowiednio:  $31,05 \text{ (mg} \cdot \text{m}^{-2})$  dla hematytu i  $0,18 \text{ (mg} \cdot \text{m}^{-2})$  dla kaolinu.

## **2.3. Badania transportu**

Przeprowadzono serię doświadczeń transportu cząstek koloidalnych hematytu oraz kaolinu, oraz tych samych cząstek po zaadsorbowaniu jonów arsenowych, przez mineralną warstwę porowatą. Pomiaru były prowadzone przy dwóch siłach jonowych:  $5 \cdot 10^{-3} \text{ M KCl}$  oraz  $5 \cdot 10^{-4} \text{ M KCl}$ , a także przy wartości pH, które odpowiadały wartościom pH wodnej zawiesinie materiału z hałdy.

Badanie transportu cząstek koloidalnych przez złożę hałdy prowadzono w szklanej pionowej kolumnie. Składała się ona z dwóch części: dolnej i górnej. W dolnej części ( $\phi = 29 \text{ mm}$ ) znajdował się szklany spiek z otworami ( $\phi = 2\div 3 \text{ mm}$ ), na który nałożono sącdek syntetyczny ( $\phi = 28 \text{ mm}$ ). Górna część ( $\phi = 46 \text{ mm}$ ) połączona była z dolną za pomocą szlif. Materiał stały umieszczono na dole kolumny, natomiast pozostałą objętość zajmował odpowiedni roztwór koloidalny, bądź roztwór koloidalny z zaadsorbowanymi jonami arsenu. W górnej części kolumny znajdował się otwór odprowadzający nadmiar koloidu, co pozwala na utrzymanie stałego poziomu cieczy podczas pomiaru. Ubywająca ciecz była uzupełniana poprzez pompę perystaltyczną, dostarczająca ciecz od góry. Schemat kolumny pomiarowej przedstawiono poniżej.



**Rys. 1.** Schemat kolumny do pomiaru transportu cząstek koloidalnych przez ośrodek porowaty

**Fig. 1.** Column with porous material for investigations

Do badań transportu użyto 16 g suchego materiału badawczego i po zwilżeniu wodą dejonizowaną, upakowano na sączku warstwę mineralną. Następnie wprowadzono wodę dejonizowaną do stałej wysokości, w celu ustalenia stałej prędkości przepływającego płynu. Po usunięciu wody, wprowadzano odpowiednio przygotowane roztwory koloidalne. Sporządzano koloidalny hematyt o stężeniu  $20,46 \text{ (mg} \cdot \text{dm}^{-3}\text{)}$ , w przypadku eksperymentu z zaadsorbowanymi jonami arsenu, stężenie jonów arsenowych wynosiło 0,6 g As na 1 g hematytu. W przypadku kaolinu, roztwór koloidalny przygotowano o stężeniu  $25,00 \text{ (mg} \cdot \text{dm}^{-3}\text{)}$ , prowadząc homogenizację zawiesiny ( $2 \text{ min; } 15000 \text{ min}^{-1}$ ). Dla układu kaolin–jony arsenowe stężenie arsenu wynosiło 2 mg na 1g kaolinu. pH roztworów koloidalnych było ustalone do wartości  $9,2 \div 11,6$ , w zależności od użytego złoża mineralnego.

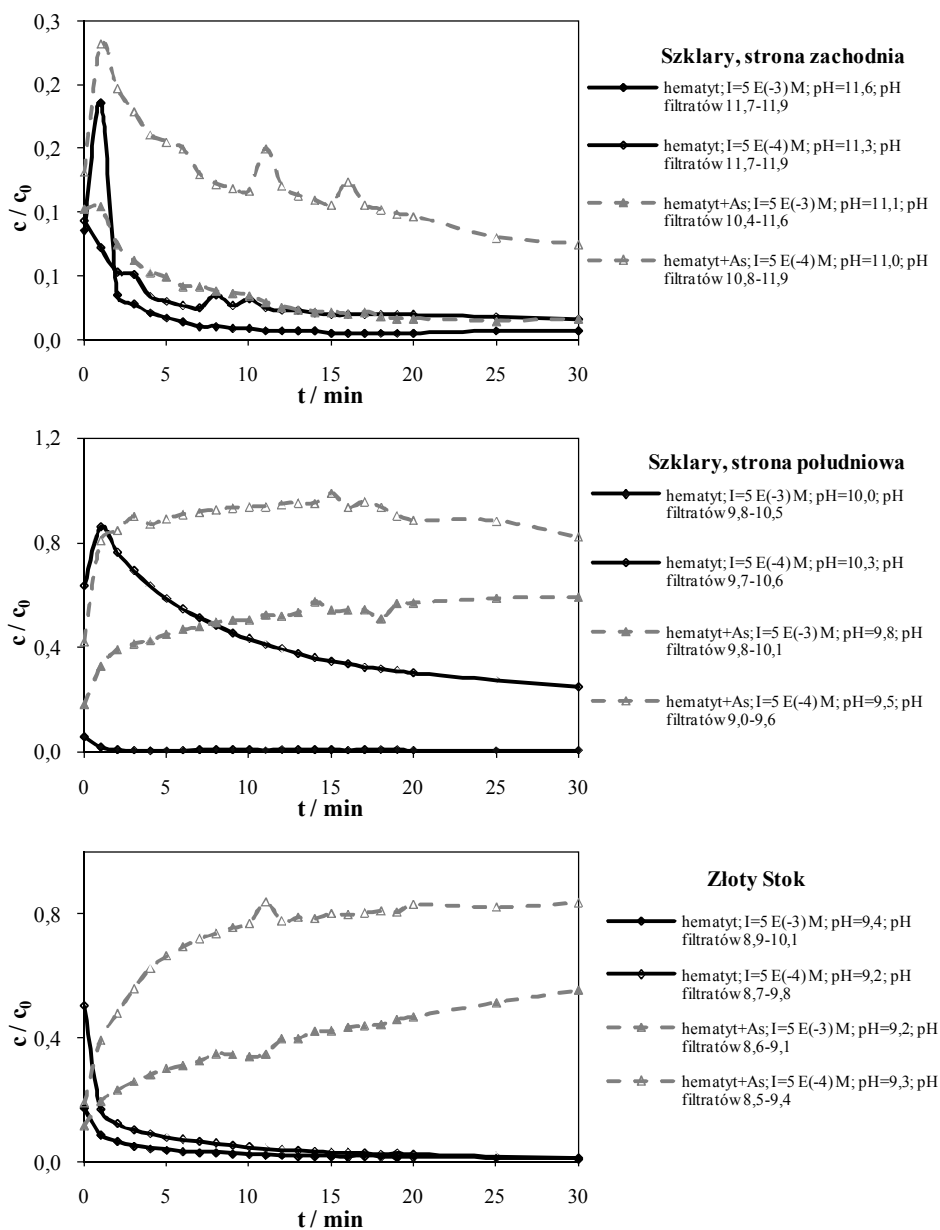
Pomiar trwał 30 minut. Filtraty zbierano przez 20 minut co jedną minutę, a następnie co 5 minut. Otrzymane filtry analizowano spektrofotometrycznie przy odpowiednich długościach fali (hematyt  $\lambda = 430 \text{ nm}$ , hematyt z As  $\lambda = 450 \text{ nm}$ , kaolin  $\lambda = 335 \text{ nm}$ , kaolin z As  $\lambda = 335 \text{ nm}$ ) oraz mierzono pH roztworów.

### **3. Wyniki badań i ich omówienie**

Analizując zmiany stężenia cząstek hematytu i hematytu z zaadsorbowanymi jonami arsenu stwierdzono, że cząstki hematytu z zaadsorbowanymi jonami arsenu łatwiej migrowały w porównaniu do cząstek hematytu bez jonów arsenowych. Dla wszystkich badanych materiałów wypełniających, obserwuje się największą migrację dla warunków mniejszej siły jonowej ( $5 \cdot 10^{-4}$  M KCl). Zauważalne jest to zarówno w doświadczeniach z układem hematyt-As, jak i również z samy hematytem. W przypadku materiału pochodzącego ze Szklar (strona południowa) i Złotego Stoku, krzywe zmiany stężenia w czasie migracji mają charakterystyczny kształt (rys. 2). Dla przypadku hematyt-As następuje ciągle wzrost ilości przechodzących cząstek przez warstwę porowatą w czasie trwania doświadczenia. Odwrotne zjawisko miało miejsce przy badaniu transportu hematytu. W tym przypadku zaobserwowano spadek ilości cząstek w zbieranych filtratach. Świadczy to o zmianach właściwości cząstek hematytu zachodzących w wyniku adsorpcji arsenu. Zmiany te powodują, że migracji cząstek koloidalnych wraz z jonami arsenu jest intensywna. Analizując wykres dotyczący migracji w materiale ze Szklar z części zachodniej, stwierdzono, że kształt krzywych odbiega od wyżej omawianych przypadków. Związane jest to z innym mechanizmem występującym podczas migracji cząstek koloidalnych. Można to wyjaśnić odmiennymi właściwościami materiału, z którego zbudowane zostało złożo porowate (rys. 2).

Przeprowadzono także eksperymenty, w których badano transport cząstek koloidalnych kaolinu, oraz cząstek kaolinu po adsorpcji jonów arsenowych (rys. 3). Analiza otrzymanych wyników pomiaru transportu koloidalnego kaolinu wskazuje na zjawisko, które było odwrotne do przypadku transportu koloidalnych cząstek hematytu. Zaobserwowano, że cząstki kaolinu migrowały lepiej, gdy nie miały zaadsorbowanych jonów arsenowych. Świadczy o tym większa ilość cząstek koloidalnych kaolinu w filtracie bez adsorpcji jonów arsenu w warunkach mniejszej siły jonowej ( $5 \cdot 10^{-4}$  M KCl). Jedynie dla złoża utworzonego z materiału pobranego ze Szklar od strony południowej, nie obserwuje się wyraźnych różnic pomiędzy badanymi siłami jonowymi. Zmiany te można tłumaczyć odmiennością właściwości powierzchniowych cząstek kaolinu bez i po adsorpcji jonów arsenu.

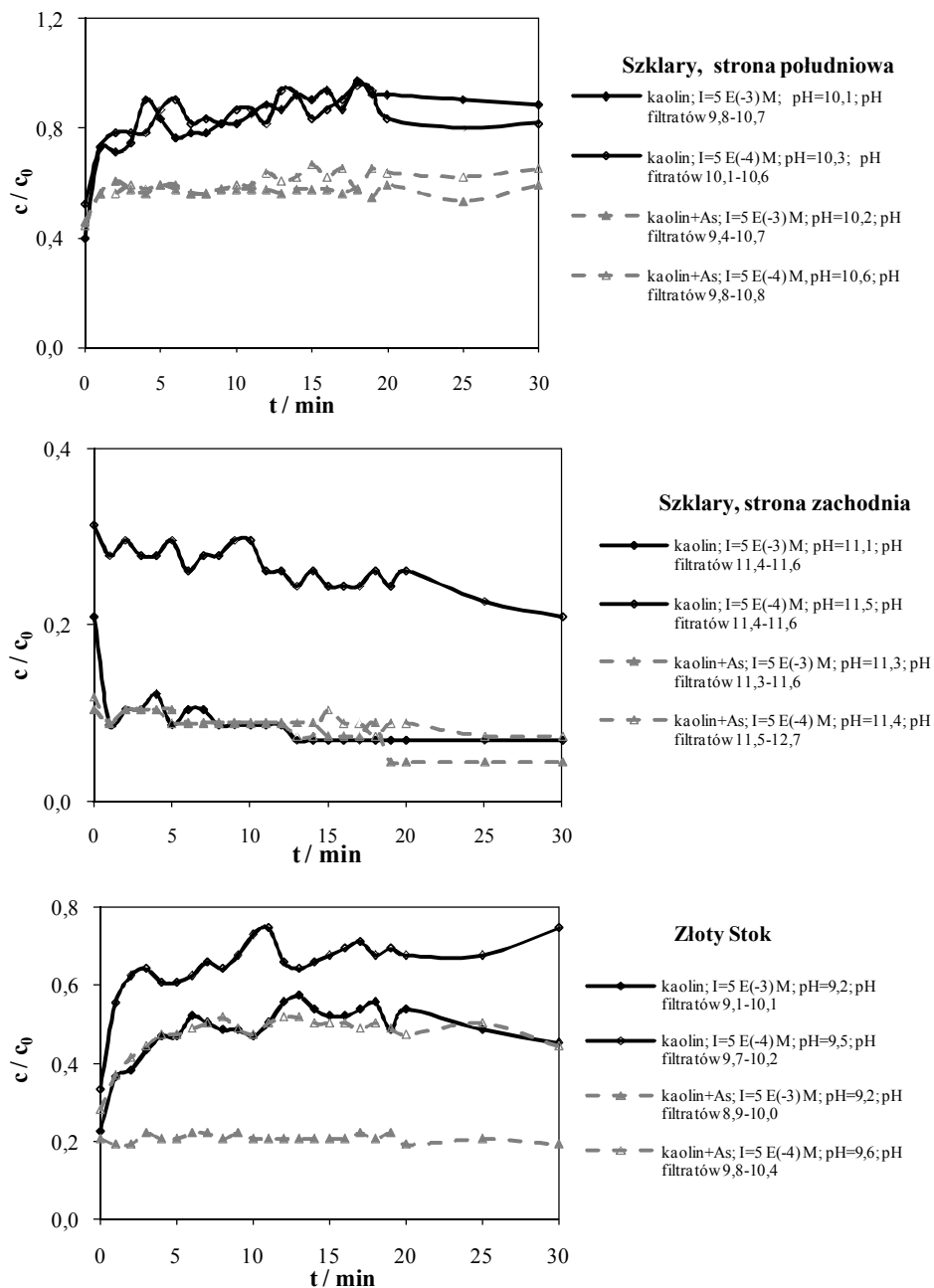
Na wykresach (rys. 2, rys. 3) przedstawiono wartości odczynu pH roztworów koloidalnych wprowadzanych do kolumny, a także zakres pH filtratów otrzymanych w trakcie prowadzenia doświadczeń transportu.



**Rys. 2.** Wykresy zmiany stężenia koloidalnego hematytu i hematytu z jonami arsenu w czasie

**Fig. 2.** The concentration of hematite and hematite+As ions as a function of migration time





**Rys. 3.** Wykresy zmiany stężenia koloidalnego kaolinu i kaolinu z jonami arsenu w czasie  
**Fig. 3.** The concentration of kaolin and kaolin + As ions as a function of migration time

#### 4. Wnioski

Z przeprowadzonych badań transportu cząstek koloidalnych hematytu i kaolinu, z użyciem pionowej kolumny z mineralnym wypełnieniem wynika, że badana mobilność jest uwarunkowana właściwościami fizykochemicznymi cząstek koloidalnych oraz materiałów tworzących warstwę porowatą. Badane koloidy, mogą wpływać na zanieczyszczenie wód gruntowo w rejonach składowania badanych odpadów przemysłowych. Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że na proces transportu badanych cząstek koloidalnych wpływa obecność zaadsorbowanych jonów arsenowych. W przypadku koloidalnego hematytu jest to najbardziej zauważalne zjawisko, szczególnie dla ośrodka porowatego zbudowanego z materiałów pobranych od strony południowej hałdy w Szklarach i hałdy w Złotym Stoku. Dodatkowo, obserwowany był wpływ siły jonowej na ilość przechodzących cząstek koloidalnych przez warstwę porowatego ośrodka mineralnego. W miarę zmniejszania się siły jonowej, zwiększa się grubość podwójnej warstwy elektrycznej na cząstkach koloidalnych. Wpływa to na zmniejszenie oddziaływań przyciągających pomiędzy cząstkami koloidu, a także pomiędzy cząstką koloidalną, a ziarnem złoża mineralnego. Odwrotny przypadek zauważalny jest przy badaniach transportu cząstek koloidalnych kaolinu. Adsorpcja jonów arsenowych przez cząstki kaolinu powoduje, że zmniejsza się ich mobilność. Ma to swoje pozytywne przełożenie na zahamowanie migracji jonów arsenu do wód podpowierzchniowych. Podobny skutek wywołuje zwiększenie siły jonowej.

#### Literatura

1. **Arienzo M., Adamo P., Chiarenzelli J., Bianco M. R., Martino A.:** *Retention of arsenic on hydrous ferric oxides generated by electrochemical peroxidation.* *Chemosphere* 48, 1009-1018, 2002.
2. **Baumann T., Werth C.J.:** *Visualization of colloid transport through heterogeneous porous media using magnetic resonance imaging.* *Colloids Surfaces A*, 265, 2-10, 2005.
3. **Benning L. G.:** *Asrenic sulphides: nucleation and growth from aqueous solution.* School of Earth Sciences, University of Leeds.
4. **Drewniak L., Skłodowska A.:** *Rola bakterii w biogeochemicznym cyklu arsenu.* *Postępy Mikrobiologii*, 46(3), 275-285, 2007.
5. **Gimenez J., Martinez M., Pablo J., Rovira M., Duro L.:** *Arsenic sorption onto natural hematite, magnetite and goethite.* *J. Hazardous Materials*, 141, 575-580, 2007.
6. **Johnson P.R., Sun N., Elimelech M.:** *Colloid Transport in Geochemically Heterogeneous Porous Media: Modeling and Measurements.* *Environ. Sci. Technol.*, 30, 3284-3293, 1996.
7. **Kretzschmar R., Sticher H.:** *Colloid Transport in Natural Porous Media: Influence of Surface Chemistry and Flow Velocity.* *Phys. Chem. Earth*, 23(2), 133-139, 1998.
8. **Kuhnen F., Barmettler K., Bhattacharjee S., Elimelech M., Kretzschmar R.:** *Transport of Iron Oxide Colloids in Packed Quartz Sand Media: Monolayer and Multilayer Deposition.* *J. Colloid Interface Science*, 231, 32-41, 2000.

9. **Lenoble V., Bouras O., Deluchat V., Serpaud B., Bollinger J. C.:** *Arsenic Adsorption onto Pillared Clays and Iron Oxides*. J. Colloid Interface Science 255, 52-58, 2002.
10. **Lorenzen L., Deventer J. S. J., Landi W. M.:** *Factors affecting the mechanism of the adsorption of arsenic species on activated carbon*. Minerals Engineering, 8 (4/5), 557-569, 1995.
11. **Mohanty K.K., Hirasaki G.J.:** Editorial overview. *Transport in porous materials*. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 6, 189-190, 2001.
12. **Rosik-Dulewska C.:** *Podstawy Gospodarki Odpadami*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2002.
13. **Roy S.B., Dzombak D.A.:** *Colloid release and transport processes in natural and model porous media*. Colloids Surfaces A, 107, 245-262, 1996.
14. **Ryan J.N., Elimelech M.:** *Colloid mobilization and transport in groundwater*. Colloids Surfaces A, 107, 1-56, 1996.
15. **Sen T.K., Kilar K.C.:** *Review on subsurface colloids and colloid-associated contaminant transport in saturated porous media*. Advances in Colloid and Interface Science, 119, 71-96, 2006.
16. **Sen T.K., Mahajan S.P., Khilar K.C.:** *Colloid – Associated Contaminant Transport in Porous Media: 1. Experimental Studies*. AIChE Journal, 48(10), 2366-2374, 2002.
17. **Zhang F.-S., Itoh H.:** *Iron oxide-loaded slag for arsenic removal from aqueous system*. Chemosphere, 60, 319-325, 2005.

## **Transport of Colloidal Particles with Arsenic Ions Adsorbed on the Colloidal Surfaces Through Mineral Porous Bed**

### **Abstract**

The storage of insecure industrial waste, descended from mining and metallurgical industry, has an influence on the pollution of a ground and groundwater. It is a result of migration of toxic substances into the bed of soli. The weathering processes and hydrodynamic changes in soil causes the colloidal particles formation, which are effective contaminations carriers through mineral porous media. In this paper transport of colloidal particles: synthetic hematite and natural kaolin has been investigated. The porous medias were waste from both Szklary and Złoty Stok heaps. The aim of this work is to inspect the influence of arsenate ions on the behaviour of colloidal particles in porous bed. The investigations were conducted in two ionic strengths:  $5 \cdot 10^{-3}$  M KCl and  $5 \cdot 10^{-4}$  M KCl, at pH 9.2-11.6. Results showed that transport of colloidal hematite was facilitated, when arsenic ions were adsorbed onto the colloid particles. Additionally, the increase of mobility of hematite was caused by a decrease of ionic strength. In the case of kaolin transport, the results showed an increase of kaolin particles migration

without arsenic ions. These behaviour of colloidal kaolin particles into mineral bed is explained by different surface property of kaolin particles.

Results of examinations on colloidal particles of hematite and kaolin transport through column with mineral bed show, that examined mobility is conditioned with physico-chemical proprieties of colloidal particles and materials of porous bed. Studied colloids, can influence pollution of underground waters in the areas of storing of studied industrial wastes. Results of conducted measurements show, that the process of examined colloidal particles transport is influenced by presence of adsorbed arsenic ions. It is the most perceptible phenomenon in the case of the colloidal hematite, particularly for porous medium built from materials taken from the southern side of heap in Szklary and heap in Złot Stok. Additionally, influence of ion strength on quantity of transported colloidal particles through the layer of porous mineral medium was observed. When ion strength was decreasing, the thickness of the double electric layer increases on colloidal particles. It has impact on decrease of attracting interactions among particles of colloid, and also between colloidal particle and grain of mineral bed. The opposite case was noted during investigations on transportation of colloidal particles of kaolin. Adsorption of arsenic ions by particles of kaolin causes decrease of their mobility. This causes stopping of migration of arsenic ions to underground waters. The similar result is obtained when ion strength is enlarged.