

## Kolmatacja osadów w strefie aeracji pod wpływem infiltracji wód powierzchniowych (na przykładzie ujęcia wody „Dębina” w Poznaniu)

Katarzyna Skolasińska\*

**Clogging of deposits in the vadose zone under infiltration conditions (Dębina water intake, Poznań).** Prz. Geol., 51: 73–78.

*Summary.* The research carried out in the „Dębina” water intake in Poznań focused up on recognition of the changes, that occurring in the Warta River deposits (in the vadose zone — to a depth of 1.5 m) under long-lasting infiltration. Effects of chemical, biochemical and mechanical colmatage as well as conditions favourable to their development were recognized and described. Sediments are susceptible to colmatage processes especially if they show: (a) anisotropy of permeability, which is connected with the specific meandering river facies association, (b) numerous interbeds of muddy deposits, which reduce infiltration and additionally may be outwashed and redistributed in suspension, (c) presence of organic matter.

*Types of sediment transformation under infiltration condition show a certain zonation in vertical profiles. In the shallowest zone (0–20 cm) changes are connected to building-up a biological-mechanical mat at the water — deposit boundary. In this zone, a bottom layer is formed, composed of small organic and mineral particles settling from suspension. This horizon is responsible for the highest decrease of permeability (mechanical, chemical and biochemical colmatage). Deeper, in the vadose zone, deposits are enriched with iron compounds. Poorly-soluble iron oxides and hydroxides form cements between grains, concretions and continuous horizons. These processes can be intensified by iron-containing bacteria (mainly chemical and biochemical colmatage). In the water table zone, changes result from redistribution of muddy deposits: outwashing during the high stage of water table and repeated deposition in others places during the low stage (mechanical colmatage).*

**Key words:** colmatage, infiltration water intake, vadose zone

Infiltracyjne ujęcie wody „Dębina” w Poznaniu położone jest w kompleksie leśnym na południowych krańcach miasta na lewobrzeżnym tarasie zalewowym Warty (ryc. 1). Stawy infiltracyjne wykonano w 3 rzędach równoległe do Warty, w aluwiach rzecznych pochodzących z okresu przepływu Warty przez obecny obszar ujęcia. Ujęcie funkcjonuje od 1902 r. i na przestrzeni lat było sukcesywnie przebudowywane. Najstarsze stawy pochodzą z 1926 r., a najmłodsze z 1961 r.

Długotrwała, wymuszona infiltracja wód powierzchniowych spowodowała wiele zmian w osadach stanowiących podłoże stawów infiltracyjnych. Zmiany polegają przede wszystkim na zabudowywaniu wolnych przestrzeni porowych przez substancje wtórne, co ograniczyło pierwotnie wysoką przepuszczalność aluwiów rzecznych. Przeobrażenia w wielu przypadkach znajdują uzasadnienie w pierwotnym wykształceniu sedymentologicznym i składzie mineralogicznym osadów, co autorka będzie się starała przedstawić w niniejszym artykule.

### Charakterystyka procesów rządzących rozwojem kolmatacji w strefie aeracji na infiltracyjnych ujęciach wody

Kolmatacja osadów w strefie aeracji jest skutkiem wzajemnego oddziaływania na siebie składników osadu, atmosfery, hydrosfery i biosfery, które potęgowane jest infiltracją wód powierzchniowych. Jest więc tematem bardzo złożonym. W poniższych podrozdziałach A, B, C omówione zostaną ogólne prawa rządzące rozwojem kolmatacji w strefie aeracji wynikające z badań innych autorów jak i badań autorki.

**A. Kolmatacja mechaniczna.** Kolmatacja mechaniczna w strefie aeracji manifestuje się poprzez wzbogacenie

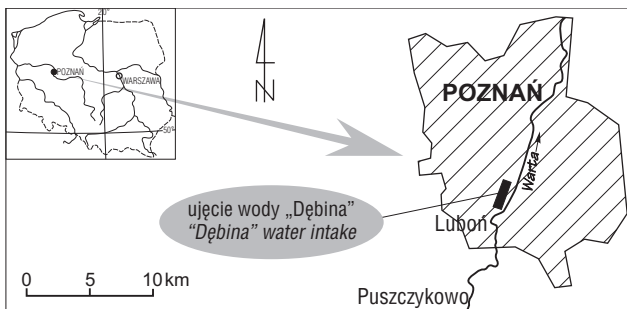
osadów (pierwotnie często pozbawionych frakcji ilastej) w drobną frakcję wprowadzoną w zawiesinie — tzw. cząstki „namyte”.

Zjawisko postsedymentacyjnego wzbogacania w drobnociarniste frakcje wskutek infiltracji powszechnie zachodzi na ujęciach wód podziemnych, ale jest również dość powszechne w przyrodzie, np. na aluwialnych równiach zalewowych podczas powodzi, czy w warunkach pustynnych w wyniku incydentalnych ulew. Problem namytego materiału ilastego w osadach był poruszany w pracach wielu autorów, np.: Matlack i in. (1989), Moraes, de Ros, (1990), Dunn (1992), Przybyłek i Wojewoda (1996), Skolasińska (1997). Jako jeden z pierwszych Walker (1976), na podstawie badań kenozoicznych osadów w suchych i półsuchych rejonach SW Stanów Zjednoczonych i NW Meksyku, wskazał na charakterystyczne strefy koncentracji namytych cząstek w profilach pionowych: w strefie aeracji, w pobliżu zwierciadła wód podziemnych, a także powyżej nieprzepuszczalnych barier. Jednocześnie wskazał na charakterystyczne mikrostruktury powstające w porach w zależności od strefy nasycenia (ryc. 2).

Do koncentracji w strefie aeracji dochodzi, gdy większość infiltrującej wody gromadzi się, a następnie odparowuje powyżej zwierciadła wód podziemnych. Jest to wynikiem bądź infiltracji ograniczonej ilości zawiesiny, bądź ekstremalnie niskiego położenia zwierciadła wody, jak np. w warunkach pustynnych. Akumulacja z zawiesiny zaznacza się tu głównie na górnych powierzchniach ziaren (struktury geopetalne) oraz w miejscach gdzie infiltrująca woda jest przechwytywana przez niekompletnie rozwinięte ekrany wody błonkowej lub wzdłuż menisków pomiędzy przyległymi ekranami tejże wody (meniskowe mostki powstałe na kontaktach ziaren) — zob. ryc. 2.

Na infiltracyjnych ujęciach wód podziemnych, wskutek sztucznego zasilania warstwy wodonośnej wodami powierzchniowymi, kolmatacja mechaniczna obejmuje głównie przypowierzchniowe partie osadów, stanowiących podłoże stawów infiltracyjnych (tzw. kolmatacja zew-

\*Instytut Geologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. Maków Polnych 16, 61-606 Poznań; katskol@amu.edu.pl



Ryc. 1. Mapa sytuacyjna ujęcia wody „Dębina”  
Fig. 1. Location of „Dębina” water intake

nętrzna–denna; Hotłoś i in., 1983). Materiał z zawiesiny odkłada się na dnach stawów w postaci ciągłych warstw mineralno-biologicznych szczelnie ekranując osady podłoża. Pociąga to za sobą potrzebę czyszczenia den stawów w określonych odstępach czasu. Głębiej, w strefie aeracji kolmatacja mechaniczna odgrywa podrzędną rolę. Jednak pomimo, iż namyty materiał nieznacznie wpływa tu na obniżenie porowatości całkowitej, to poprzez formowanie meniskowych połączeń pomiędzy ziarnami (zob. ryc. 12) może lokalnie znacznie obniżyć porowatość efektywną, a zarazem przepuszczalność osadów (Skolasińska, 2000, 2002).

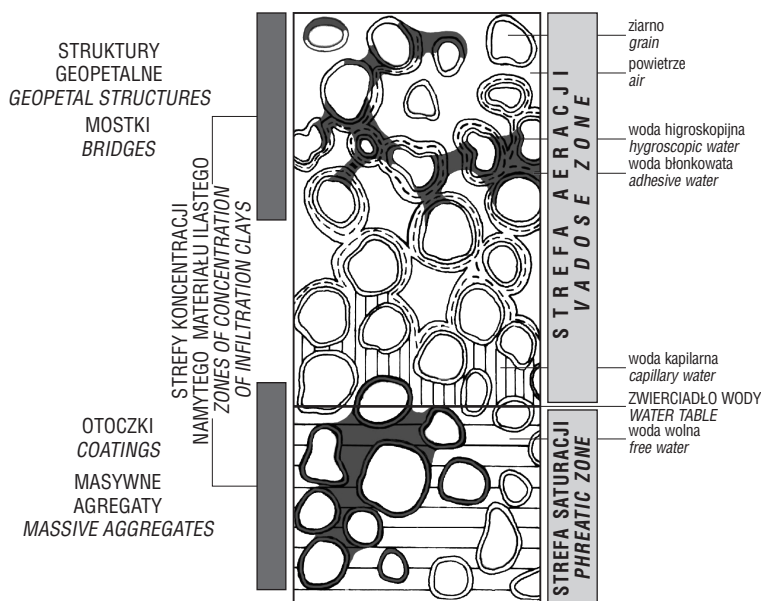
**B. Kolmatacja chemiczna i biochemiczna.** Strefa aeracji jest strefą największej aktywności procesów chemicznych i fizykochemicznych zachodzących pomiędzy roztworem, a środowiskiem skalnym. Przebiegają w niej np.: procesy biodegradacji i utleniania związków organicznych, nityfikacji, utleniania żelaza oraz procesy powierzchniowe, tj. sorpcja i wymiana jonowa (Kowal & Świderska–Bróź, 1997; Małecki, 1998).

Do kolmatacji czwartorzędowych aluwów rzecznych (w których najczęściej funkcjonują infiltracyjne ujęcia wody), przyczyniają się głównie: rozpuszczanie i wytrącanie składników mineralnych, utlenianie i redukcja składników w formie jonowej, rozkład substancji organicznej oraz sorpcja. Woda infiltracyjna wraz z zawartym w niej dwutlenkiem węgla, rozpuszcza przede wszystkim węglany, siarczany, ale także prowadzi do rozkładu krze-

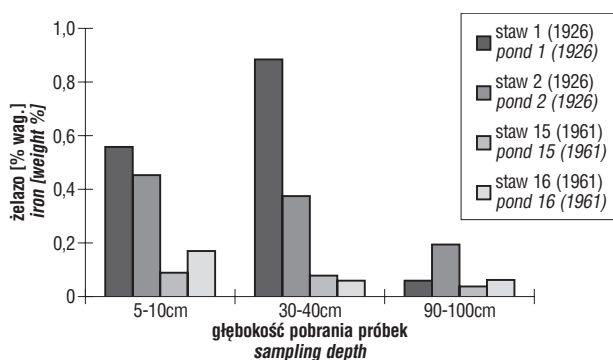
mianów i glinokrzemianów skał magmowych włączając ich składniki do wód porowych. Procesy wytrącania z roztworów porowych mogą być związane ze zmianą warunków fizycznych (parowania, temperatury i ciśnienia) lub hydrogeochemicznych (głównie: pH, Eh, stężenie roztworu), z rozwojem określonych mikroorganizmów, z zakłóceniem równowagi gazowej, itp. (Macioszczyk, 1987). W przypadku przypowierzchniowych partii osadów stawów infiltracyjnych rozpuszczone składniki mineralne (np. węglany, siarczany) są z reguły ługowane, a rekryształizacja dotyczy z reguły głębszych partii osadów, najczęściej w pobliżu zwierciadła wód podziemnych.

Utlenianie składników mineralnych zachodzi pod wpływem tlenu obecnego w strefie aeracji. Wszystkie pierwiastki, mogące występować w warunkach naturalnych na różnych stopniach utlenienia, np.: Fe, Mn, S, N, przechodzą na stopień najwyższy, przy czym o przebiegu tych procesów decyduje potencjał red–oks oraz pH środowiska. W systemach zasilanych infiltracyjnie zachodzą kolejno: utlenianie związków organicznych, siarczków, jonów  $Fe^{2+}$ , nityfikacja, utlenianie jonów  $Mn^{2+}$  (Kowal & Świderska–Bróź, 1997). Najbardziej efektywne są procesy utleniania jonów żelazawych i ich połączeń, nie tylko ze względu na ich aktywność, ale także powszechność zarówno w osadach, jak i w infiltrującej wodzie. Produktem utleniania jest nierozpuszczalny wodorotlenek żelazowy, który wytrąca się z wody w postaci brunatno-rdzawego osadu. Odgrywa on podstawową rolę w procesach kolmatacji chemicznej strefy aeracji. Wytrącenia związków żelaza są bądź nierównomiernie rozprzestrzenione w osadzie, co ma związek z mozaikową równowagą chemiczną w strefie hipergenicznej (Płochniewski, 1973; Ratajczak & Witczak, 1983), bądź są rozmieszczone w charakterystyczny sposób, znajdujący uzasadnienie w pierwotnej strukturze osadu (Skolasińska, 1999) — zob. ryc. 5, 6.

Na przeobrażenia pierwotnych cech osadu w strefie aeracji wpływają również przemiany biochemiczne zachodzące z udziałem mikroorganizmów. Mikroorganizmy uczestniczą w rozkładzie substancji organicznej oraz w większości procesów utleniająco-redukcyjnych, przyczy-



Ryc. 2. Kolmatacja mechaniczna i mikrostruktury kolmatacyjne a strefy nasycenia (na podstawie: Walkera, 1976; Moraesa & De Rosa, 1990)  
Fig. 2. Mechanical infiltration and clogging microstructures in vadose and phreatic zones (modified after: Walker, 1976; Moraes & De Rosa, 1990)



Ryc. 3. Zawartość żelaza w próbkach osadów pochodzących z różnowiekowych stawów infiltracyjnych

Fig. 3. Iron content in samples from infiltration basins of different age

niając się do powstawania żelazistych spoiw kolmatacyjnych — zob. ryc. 7–8.

Znaczną rolę w przebiegu procesów fizykochemicznych, zachodzących w strefie aeracji, odgrywają związki humusowe oraz minerały ilaste ze względu na ich duże zdolności sorpcyjne. Zarówno humus, jak i minerały ilaste tworzą w wodzie ujemnie naładowane koloidy, które łączą się z kationami żelaza tworząc trwałe kompleksy sorpcyjne, zahamowując tym samym ich dalszą migrację (Błaszyk & Górski, 1978; Ratajczak & Witczak, 1983).

**C. Kolmatacja, a pierwotne cechy teksturalno-strukturalne osadów.** W warunkach naturalnych, zbiorniki wodonośne rzadko są jednorodne pod względem właściwości filtracyjnych. Zmiany przepuszczalności ośrodków piaszczystych wynikają przede wszystkim ze zmian cech teksturalnych, takich jak: wielkość i kształt ziarna, stopień obtoczenia, stopień upakowania, porowatość, itp. Istotną cechą przepuszczalności jest też jej zmienność, w zależności od kierunku filtracji (anizotropia). Niemal każda warstwa cechuje się anizotropią przepływu, która wynika bezpośrednio z procesów sedymentacji (Mast & Potter, 1962; Pryor, 1973; Wieczysty, 1982). Interpretacja środowiska sedymentacji oraz opis cech teksturalnych i strukturalnych osadów okazują się być bardzo pomocne przy interpretacji efektów kolmatacji. Pozwalają one porównać uprzywilejowane ścieżki przepływu wody, czy miejsca spowalniania przepływu ze strefami występowania osadów kolmatacyjnych.

Rozwój procesów wtórnych w osadach rzecznych o określonych cechach strukturalnych i teksturalnych, zaznacza się następująco:

□ uprzywilejowanymi miejscami gromadzenia się osadów kolmatacyjnych są poziome powierzchnie sedymentacyjne wywołujące gradient przepływu pionowego, takie jak: granice pomiędzy warstwami o różnej litologii, o różnym uziarnieniu; szczególnie dobrze zaznaczają się przejścia

piasek/mułek, kiedy to kolmatacja rozwija się powyżej warstwy mułowej, stanowiącej barierę filtracyjną — ryc. 5;

□ zestawy przekątnie warstwowane, cechujące się znaczną anizotropią przepływu są wzbogacone w związki żelaza wzdłuż granic pomiędzy zestawami, a w obrębie samych zestawów, wytrącenia przebiegają wzdłuż lamin przekątnych — ryc. 6;

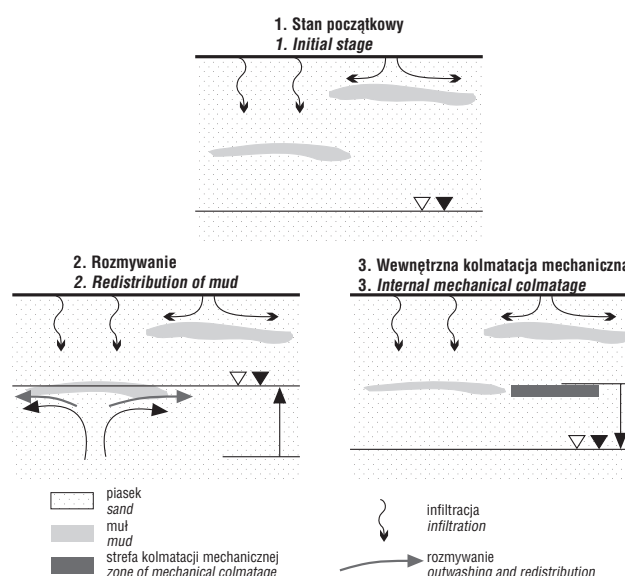
□ wyraźny wpływ na pojawienie się wytrąceń żelazistych ma substancja organiczna powszechnie występująca w omawianych osadach, która ulegając rozkładowi, przyczynia się do powstawania dużych ilości wodorotlenku żelaza — ryc. 7, 8.

### Czynniki decydujące o podatności czwartorzędowych aluwów rzecznych na kolmatację — przykład ujęcia „Dębina”

W związku z funkcjonowaniem infiltracyjnego ujęcia wody „Dębina”, badany zespół aluwów rzeki Warty uległ zarówno kolmatacji mechanicznej, chemicznej jak i biochemicznej. Jak najbardziej daje się tu zastosować model zjawisk przyczyniających się do rozwoju kolmatacji w strefie aeracji opisany powyżej.

W podłożu stawów infiltracyjnych na Dębinie zaznacza się strefowość rozwoju przeobrażeń. Najpłycej, w stropowych odcinkach profili, zmiany polegają na dobudowaniu do osadów drobnych cząstek mineralnych i organicznych występujących w wodach powierzchniowych i opadających z zawiesiny (kolmatacja mechaniczna, biologiczna). Powstawaniu błony mechaniczno-biologicznej na granicy woda-osad towarzyszy wiele procesów chemicznych i biochemicznych, o których będzie mowa w dalszej części tekstu.

Głębiej, w strefie aeracji, przeobrażenia polegają przede wszystkim na wzbogaceniu osadów w trudno roz-



Ryc. 4. Mechanizm rozmywania mułków w strefie wahań zwierciadła wód podziemnych i wewnętrzna kolmatacja mechaniczna

Fig. 4. Mechanism of redistribution of muddy deposits in water table fluctuation zone and the internal mechanical colmatage

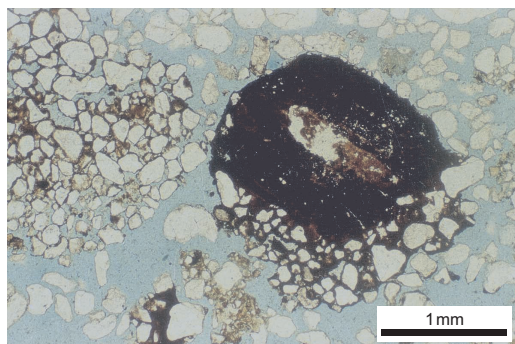




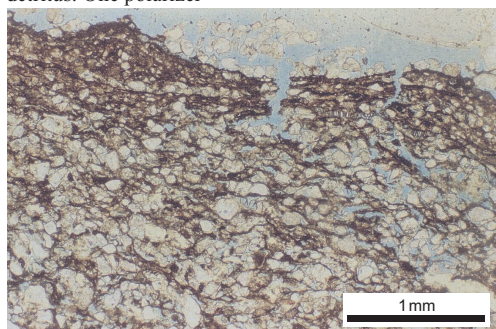
**Ryc. 5.** Szare muły powodziowe zalegające w spągu osadów piaszczystych o laminacji riplemarków wstępujących; granica litofacji jest poziomem silnie zażelazonym — strzałka  
**Fig. 5.** Grey flood muds underlying sands with climbing-ripple lamination; the boundary marked by reddish-brownish iron compounds — arrowed



**Ryc. 6.** Piaszczyste osady odsypu meandrowego tworzące wielozestawowy warstwowane przekątnie w dużej skali; wytrącenia żelaziste naśladują przebieg lamin przekątnych  
**Fig. 6.** Point bar deposits forming large-scale cross-bedded cosets; iron compounds follow the pattern of cross laminae



**Ryc. 7.** Cementacja związkami żelaza wokół szczątków organicznych. Fotografia mikroskopowa wykonana przy jednym polaryzatorze  
**Fig. 7.** Microphotograph of iron compound cementation around organic detritus. One polarizer



←

**Ryc. 8.** Mata glonowa impregnowana związkami żelaza. Fotografia mikroskopowa wykonana przy jednym polaryzatorze  
**Fig. 8.** Microphotograph of algal mat impregnated with iron compounds. One polarizer

→

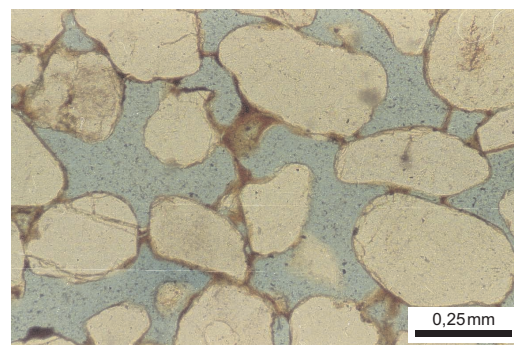
**Ryc. 9.** Mata biologiczno-mechaniczna na dnie stawu infiltracyjnego  
**Fig. 9.** Biological-mechanical mat on the bottom of infiltration pond



**Ryc. 10.** Szczeliny z wysychania na dnie stawu pokrytego matą zbudowaną z materiału, głównie mineralnego  
**Fig. 10.** Mud-cracks in the bottom of infiltration pond; the bottom is covered by mat consisting mostly of mineral material



**Ryc. 11.** Wewnętrzna kolmatacja mechaniczna w strefie wahań zwierciadła wód podziemnych  
**Fig. 11.** The internal mechanical colmatage in the water table fluctuation zone



**Ryc. 12.** Wewnętrzna kolmatacja mechaniczna w strefie wahań zwierciadła wód podziemnych  
**Fig. 12.** The internal mechanical colmatage in the water table fluctuation zone



puszczalne wodorotlenki żelaza formujące cementy między ziarnami, kongregacje żelaziste, scementowane ciągłe horyzonty, w powstawaniu których niebagatelną rolę odgrywa działalność mikroorganizmów (kolmatacja chemiczna i biochemiczna).

Jeszcze głębiej, w strefie zwierciadła wód podziemnych, zmiany wynikają z przemieszczania drobnego materiału ilastego, pochodzącego z rozmywania przewarstwień mułkowych podczas stanów wysokiego położenia zwierciadła i ponownego osadzenia podczas stanów niskiego położenia zwierciadła wody (wewnętrzna kolmatacja mechaniczna) — zob. ryc. 4.

Stwierdzono, że najważniejszymi czynnikami decydującymi o rozwoju kolmatacji w analizowanych osadach są: czas, jaki upłynął od początku eksploatacji złoża wodonośnego, wykształcenie facjalne osadów, głębokość występowania, a także wahania zwierciadła wód podziemnych.

**Czas.** Kolmatacja ma wyraźnie charakter progresywny, co wyraża się związkiem pomiędzy stopniem przeobrażeń osadów i okresem ich eksploatacji. Najstarsze stawy pochodzące z 1926 r. cechujące się pierwotnie największą sprawnością hydrauliczną wykazują duży stopień przeobrażeń, podczas gdy najmłodsze z 1961 r., pierwotnie o niskiej sprawności wykazują zmiany jedynie w stropach profili. Widać wyraźny kontrast jeżeli porównać ich osady pod względem zawartości związków żelaza (ryc. 3).

Można tu rozważać po jakim czasie eksploatacji złoża należy uznać za stabilne pod względem cech fizykochemicznych. Zakładając, że ma ono jakiś potencjalny ładunek materiału podatnego na przeobrażenia w strefie aeracji, który z czasem ulega wyczerpaniu można się spodziewać, że po jego upływie progresywna kolmatacja ustaje i układ staje się stabilny. O ile założenie takie wydaje się być słuszne dla złóż w dużym stopniu izotropowych, tak raczej niemożliwe do przyjęcia, przy tak dużym zróżnicowaniu osadów. Utrudnienie w ocenie stabilności złoża stanowi również trudne do przewidzenia oddziaływanie wahań zwierciadła wody na kolmatację oraz mikroorganizmów licznie zasiedlających strefę aeracji. Niestała jest też jakość wód powierzchniowych wprowadzanych w obieg podziemny. Można jednak pokusić się o stwierdzenie, że stawy funkcjonujące od prawie 80 lat, są w tym stadium przemian, że progresywna kolmatacja tam już nie zachodzi, a przeobrażone osady doskonale pełnią rolę filtra powolnego, mającego dzięki wtórnie wytrąconym związkom dodatkowe własności sorpcyjne.

**Wykształcenie facjalne osadów.** Ze względu na duże zróżnicowanie facjalne osadów (Skolasińska, 2000) mamy tu do czynienia z całą gamą dróg infiltracji. Powoduje to występowanie stref aktywnie biorących w niej udział i jednocześnie silnie przeobrażonych i stref raczej pasywnych, przeobrażeniom nie podlegających.

Właściwie wszystkie wyróżnione facje wykazują podatność na przeobrażenia wywołane kilkudziesięcioletnią eksploatacją. Podatne na przeobrażenia są zarówno drobno- i bardzo drobnoziarniste osady pozakorytowe z dużą zawartością szczątków organicznych (facje OPK) jak i grubo- i średnioziarniste osady korytowe (facje OK). Pierwsze, o relatywnie niskich parametrach filtracyjnych stanowią poziomy związane ze stagnacją wód i sprzyjają

rozwojowi kolmatacji w ich obrębie oraz w bezpośrednim sąsiedztwie. Drugie natomiast, o relatywnie wysokich parametrach filtracyjnych, podatne są ze względu na dużą ilość wody, jaka przez nie przepływa, choć w nich kolmatacja zaznacza się zwykle z różną intensywnością i jest bardziej nierównomiernie rozprzestrzeniona.

Najbardziej podatne na kolmatację chemiczną, czy biochemiczną są pozakorytowe osady proksymalne (facja OPK-1), ze względu na stosunkowo słabe warunki infiltracji oraz dużą zawartość szczątków organicznych. Są one silnie zażelazone bez względu na to na jakiej głębokości występują a procesy przeobrażeń są niewątpliwie wspomaganie działalnością mikroorganizmów.

Ważną rolę jeżeli chodzi o warunki infiltracji odgrywają ciągłe poziomy mułków (facja OPK-2), które stanowią bariery dla infiltrujących wód. W ich stropach obserwuje się poziomy silnej kolmatacji chemicznej, wskutek spowolnienia infiltracji. Natomiast osady podścielające, wyłączone z infiltracji ze względu na dobrą izolację od góry, wtórnym przeobrażeniom nie podlegają.

Bardzo dobrze przepuszczalne piaski i żwiry korytowe (facje OK-1, 2, 3), bez wkładek osadów drobnoziarnistych, niemal zawsze dotknięte są kolmatacją chemiczną, ze względu na bardzo dobre warunki filtracji, a tym samym dużą ilość „przefiltrowanej” wody. W ich obrębie często obserwuje się mozaikowe rozprzestrzenienie związków żelaza. Osady korytowe zawierające szczątki organiczne są zawsze silnie zażelazone bez względu na głębokość występowania.

**Głębokość zalegania.** Głębokość występowania osadów jest ważna w przypadku kolmatacji mechanicznej, mniej istotna natomiast w przypadku kolmatacji chemicznej. Przepowierzchniowa strefa znajdująca się na styku faz: osad-woda, jest bardzo ważna jeżeli chodzi o reakcje chemiczne, ze względu na istniejące tu duże gradienty w gęstości, składzie chemicznym i aktywności substancji chemicznych. Ponadto, występowanie na powierzchni granicznej organizmów żywych ułatwia utlenianie naturalnego węgla organicznego, co powoduje powstawanie gradientów pH, potencjału redoks i składu jonowego. Pierwiastki biorące udział w reakcjach na granicy faz woda-osad, to: C, O, N, Mn, Fe, S. One to bezpośrednio lub pośrednio przyczyniają się do powstawania osadów kolmatujących, których głównymi składnikami są: związki organiczne, węglany, uwodnione tlenki żelaza, a także osadzone z zawiesiny substancje ilaste (Krzyżaniak, 1991). Kolmatacja mechaniczna, która najsilniej zaznacza się w tej strefie osiąga maks. do 20 cm, poniżej den stawów. Nie wielki zasięg głębokościowy zawdzięczać należy rozwojowi błony mechaniczno-biologicznej, jaka tworzy się na dnie stawów i efektywnie zatrzymuje drobne cząstki mineralne i organiczne znajdujące się w zawieszynie. Odgrywa ona również bardzo ważną rolę w usuwaniu metali ciężkich z wody. Błona ta ma charakter czasami bardziej organiczny (ryc. 9), a czasami bardziej mineralny (ryc. 10).

Kolmatacja chemiczna zaznacza się z różną intensywnością do głęb. 1,5 m (do której sięgały szybki badawcze), ale można sądzić, że obejmuje całą strefę aeracji, a zasięg jej rozwoju uzależniony jest w małym stopniu od głęboko-

ści od powierzchni a w większym od położenia zwierciadła wód gruntowych.

**Wahania zwierciadła wód podziemnych.** W strefie wahań zwierciadła wód podziemnych może mieć miejsce wewnętrzna kolmatacja mechaniczna (ryc. 4). Liczne przewarstwienia mułków w analizowanych osadach rzecznych mogą, w wyniku rozmywania, dostarczać materiału ilastego, który migrując w zawieszynie może zostać osadzony na ziarnach w strefie podniesionego a następnie obniżonego zwierciadła wody — (ryc. 4).

W obrębie piasków odsypów meandrowych, na głęb. ~ 1,1 m napotkano strefy wzbogacone we frakcję pyłasto-ilastą: (3–6 % frakcji < 0,063 mm (ryc. 4). Piaski tej facji cechuje przeciętna zawartość ~ 1%). Badania mikroskopowe wykazały, że substancja ta jest pochodzenia post-sedymentacyjnego. Nie pochodzi jednak z namycia od powierzchni, lecz prawdopodobnie jest zapisem wcześniejszego wysokiego położenia zwierciadła wód gruntowych, kiedy to materiał ilasty pochodzący z rozmywania przewarstwień mułkowych został osadzony na ziarnach z zawiesziny kiedy zwierciadło wody zaczęło się obniżać (charakterystyczne mikrostruktury — ryc. 12).

Rozmywanie jest jednym z przejawów deformacji filtracyjnych, które zachodzą pod wpływem ciśnienia hydrodynamicznego strumienia wód porowych (Wieczysty, 1982). Jest to zjawisko porywania cząstek gruntowych przez płynące wody, które zachodzi szczególnie często w strefie styku warstw znacznie różniących się pod względem uziarnienia (czasami nazywane jest sufozją stykową). W omawianym przypadku mułki uległy rozmyciu pod wpływem gradientu hydraulicznego wywołanego wzrostem poziomu wód gruntowych. Na ujęciu „Dębina” gradient ten w obszarze omawianych osadów wynosi do 6 m i jest związany z systemem lewarowej eksploatacji ujęcia oraz stanów rzeki Warty. Materiał z rozmycia transportowany był w zawieszynie, a następnie uległ depozycji w warunkach, gdy zwierciadło wody zaczęło opadać. Strefy wewnętrznej kolmatacji mechanicznej ograniczają infiltrację, a ponadto stanowią zaczątek dla rozwoju kolmatacji chemicznej związkami żelaza.

### Podsumowanie

Aluwia meandrującej rzeki Warty, w których funkcjonuje infiltracyjne ujęcie wody „Dębina”, cechuje naprzemiennie występowanie osadów korytowych i pozakorytowych, co ma ścisły związek z warunkami infiltracji i znajduje wyraz w przeobrażeniach osadów w strefie aeracji. Wskutek przeobrażeń wyróżniają się strefy aktywne i nieaktywne w stosunku do infiltracji wód powierzchniowych. Strefy aktywne (przeobrażone), biorą czynny udział w infiltracji, a ich parametry filtracyjne maleją w czasie. Strefy nieaktywne, występujące poniżej osadów słabo przepuszczalnych (mułków), nie podlegają wpływom wód infiltracyjnych na skutek poziomego ich rozpręgnięcia nad barierami filtracyjnymi.

Największy wpływ na obniżenie infiltracji ma substancja ilasta deponowana z zawiesziny na dnach stawów. Duży wpływ wywiera również materiał ilasty namywany w strefie wahań zwierciadła wód gruntowych, jak również wszelkie przewarstwienia mułkowe będące wynikiem pierwotnych warunków sedymentacji.

Głównym składnikiem spoiw kolmatacyjnych w strefie aeracji są związki żelaza, które wpływają na ograniczenie infiltracji, nie powodując jednak drastycznych spadków przepuszczalności w skali całego basenu infiltracyjnego. Tak więc, pomimo licznych stref wzbogaconych w związki żelaza ogólna sprawność hydrauliczna ujęcia wody jest nadal dobra.

Dziękuję Panu Prof. dr hab. Janowi Przybyłkowi za konsultacje i cenne wskazówki. Badania finansowane były z grantu KBN 6P04D01814.

### Literatura

- BLĄSZYK T. & GÓRSKI J. 1978 — Zmiany jakości wód podziemnych w warunkach intensywnej eksploatacji. Inst. Kształt. Środ., Warszawa.
- DUNN T. L. 1992 — Infiltrated Materials in Cretaceous Volcanogenic Sandstones, San Jorge Basin, Argentina. SEPM Spec. Pub. 47: 159–174.
- HOTŁOŚ H., KOTOWSKI A. & CIĘŻAK J. 1983 — Wpływ procesów kolmatacji i odkładania się osadów na wodochłonność basenów infiltracyjnych na przykładzie ujęć wodociągowych m. Wrocławia. *Ochrona Środowiska*, T.II, PZITS, 402: 56–60.
- KOWAL A.L. & ŚWIDERSKA-BRÓŹ M. 1997 — *Oczyszczanie wody*. Wyd. Nauk. PWN.
- KRZYŻANIAK I. 1991 — Wstępne badania procesów kolmatacji dna zbiorników wodnych w okolicy Poznania. Praca magisterska — niepublikowana, Archiwum Wydziału Chemii UAM, Poznań.
- MACIOSZCZYK A. 1987 — *Hydrogeochemia*. Wyd. Geol., Warszawa.
- MAŁECKI J. J. 1998 — Rola strefy aeracji w kształtowaniu składu chemicznego płytkich wód podziemnych wybranych środowisk hydrogeochemicznych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 381.
- MAST R.F. & POTTER P.E. 1962 — Sedimentary structures, sand shape fabrics, and permeability. I, II. *J. Geol.*, 71: 441–471, 548–565.
- MATLACK K.S., HOUSEKNECHT D.W. & APPLIN K.R. 1989 — Emplacement of Clay into Sand by Infiltration. *J. Sediment. Petrol.*, 59: 77–87.
- MORAES M.A.S. & DE ROS L.F. 1990 — Infiltrated Clays in Fluvial Jurassic Sandstones of Reconcavo Basin, Northeastern Brazil. *J. Sediment. Petrol.*, 60: 809–819.
- PŁOCHNIEWSKI Z. 1973 — Występowanie Fe i Mn w wodach podziemnych utworów czwartorzędowych (na przykładzie wybranych obszarów północnej i centralnej Polski). *Biul. Inst. Geol.*, 277.
- PRYOR W.A. 1973 — Permeability — porosity patterns and variations in some holocene sand bodies. *Amer. Assoc. Petroleum Geol. Bull.*, 57: 162–189.
- PRZYBYŁEK J. & WOJEWODA J. 1996 — Zmiany pierwotnych cech osadów wodonośnych w dolinie Warty oraz objawy spadku ich przepuszczalności w strefie ujęcia wody dla miasta Poznania w Dębiniu. *Mater. Międzynar. Konf. „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”*, Poznań: 129–146.
- RATAJCZAK T. & WITCZAK S. 1983 — Mineralogia i hydrogeochemia żelaza w kolmatacji filtrów studziennych ujmujących wody czwartorzędowe. *Z. Nauk AGH*, 880, ser. Geologia, z. 29, Kraków.
- SKOLASIŃSKA K. 1997 — Infiltracja mechaniczna cząstek mineralnych w osad; Ogólna charakterystyka procesu. *Prz. Geo.*, 45: 58–62.
- SKOLASIŃSKA K. 1999 — Pierwotna struktura osadów piaszczystych a wtórna cementacja związkami żelaza w warunkach infiltracji wód powierzchniowych. [W:] *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, t. 9: 329–335. Kielce–Warszawa.
- SKOLASIŃSKA K. 2000 — Przeobrażenia osadów doliny rzecznej w warunkach infiltracji wód powierzchniowych na przykładzie poznańskich ujęć wód wody. Rozprawa doktorska. Arch. UAM Poznań.
- SKOLASIŃSKA K. 2001 — Clogging of sandy deposits by iron compounds under infiltration conditions (Holocene, Warta River Valley, Poznań–water intake). *Pol. Tow. Mineral., Pr. Spec.*, z. 18.
- WALKER T.R. 1976 — Diagenetic Origin of Continental Red Beds. [In:] Falke H.(Ed.), *The Continental Permian in Central, West, and South Europe*, D.Reidel Pub.Comp.Holland: 240–282.
- WIECZYSTY A. 1982 — *Hydrogeologia inżynierska*. PWN, Warszawa.