

Tomasz SUPONIK
Politechnika Śląska, Gliwice

WPŁYW WSPÓŁCZYNNIKA FILTRACJI MATERIAŁU AKTYWNEGO NA SKUTECZNOŚĆ TECHNOLOGII PRB

Streszczenie. W technologii PRB zanieczyszczenia usuwane są bezpośrednio w warstwie wodonośnej przez przepływ skażonego strumienia wód podziemnych przez wypełnioną odpowiednim materiałem (aktywnym) barierę aktywną. W artykule, na podstawie modelowania hydrogeologicznego prowadzonego za pomocą programu VISUAL MODFLOW, przedstawiono i udowodniono następującą zasadę: aby zwiększyć skuteczność działania typu Funnel-and-Gate Open technologii PRB przez zwiększenie szerokości strefy oczyszczania, stosunek współczynnika filtracji materiału aktywnego do współczynnika filtracji warstwy wodonośnej (k_{ma}/k_{ww}) powinien przyjąć wartość 6.

W pracy wzięto jednak pod uwagę możliwość napływu drobnych cząstek do bariery aktywnej, wytrącania się osadów w materiale aktywnym oraz nadmiernego przyrostu biomasy, które to czynniki mogą zmniejszyć zdolność filtracyjną materiału aktywnego. W konsekwencji założono więc, w zgodzie z pracami [1, 2], iż stosunek k_{ma}/k_{ww} powinien wynosić 10. Rozwiązanie to daje pewność, że zmniejszenie się wartości współczynnika filtracji materiału aktywnego na skutek przemian geochemicznych i biochemicznych oraz napływu cząstek, nie wpłynie na szerokość strefy oczyszczania. Przedstawione rozwiązanie może więc zapewnić skuteczne i długotrwałe oczyszczanie wód podziemnych w typie Funnel-and-Gate technologii PRB.

INFLUENCE OF REACTIVE MATERIAL HYDRAULIC CONDUCTIVITY ON EFFICACY OF PRB TECHNOLOGY

Summary. PRB technology is a technique of groundwater remediation where contaminants are removed from an aquifer by the flow through a permeable reactive barrier (PRB) filled with a special material called a "reactive material". In this paper, on the basis of hydrogeologic modelling run with the use of VISUAL MODFLOW program, the following rule was presented and proved: in order to increase PRB efficacy (in Funnel-and-Gate Open System) by increasing the hydraulic capture zone width, the ratio of the reactive material hydraulic conductivity to the aquifer hydraulic conductivity (k_{ma}/k_{ww}) should take the value of six.

Due to inflows of particles into reactive material, precipitate formation and biomass creation in it, the author took into consideration the possibilities of reduction the hydraulic conductivity of reactive material. Therefore, it was assumed, according to papers [1, 2], that

the ratio of k_{ma}/k_{ww} should amount to 10. This value gives certainty that reduction in reactive material hydraulic conductivity due to geochemical and biochemical processes, and inflows of particles into reactive material, will not impact on the hydraulic capture zone width. The above mentioned solution can ensure effective and long-lasting treatment process in reactive barrier of Funnel-and-Gate Open System.

1. Wprowadzenie

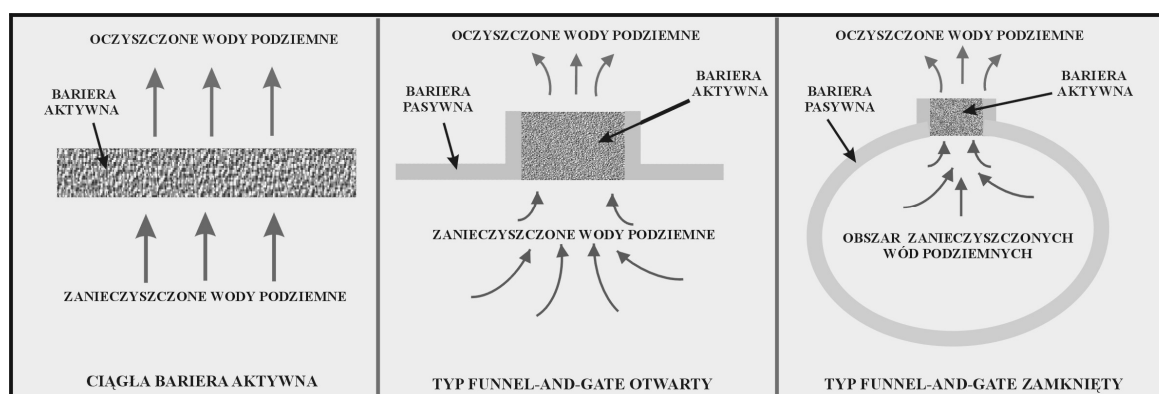
Technologia PRB służy do remediacji wód podziemnych. Proces likwidacji zanieczyszczeń za pomocą tej technologii polega na zatrzymaniu lub zmianie składu chemicznego szkodliwych związków. W technologii PRB zanieczyszczenia usuwane są bezpośrednio w warstwie wodonośnej przez przepływ skażonego strumienia wód podziemnych przez wypełnioną odpowiednim materiałem (aktywnym) przepuszczalną barierę, w której zachodzą procesy fizykochemiczne, chemiczne i/lub biologiczne [2, 3, 4, 6, 9, 10]. Procesy te powinny przebiegać w warunkach pozwalających na długotrwałą i efektywną pracę materiału aktywnego. Czynniki decydującymi o wyborze efektywnego materiału aktywnego, dla określonych warunków, są [2, 11]:

- aktywność – materiał aktywny powinien być w stanie usunąć zanieczyszczenia w określonym czasie,
- zdolność filtracyjna – selekcja wielkości ziaren materiału aktywnego powinna być rozpatrywana jako kompromis pomiędzy jego aktywnością i przepuszczalnością hydrauliczną,
- stabilność – materiał aktywny powinien zachować swoją aktywność oraz przepuszczalność hydrauliczną przez wymagany czas,
- wpływ na środowisko – produkty uboczne, tworzone podczas procesów oczyszczania, nie powinny być szkodliwe dla środowiska przyrodniczego,
- dostępność i cena – materiał aktywny powinien być łatwo dostępny, w dużej ilości i w umiarkowanej cenie.

Z powyższego wynika, iż materiał aktywny powinien zachować założoną przepuszczalność hydrauliczną przez określony długi czas – najczęściej przez cały okres pracy bariery. Ocena możliwości utraty założonej przepuszczalności hydraulicznej stanowi o stabilności materiału aktywnego i wskazuje, w jakim stopniu odpowiada on warunkom danego środowiska. Najczęstszą przyczyną utraty stabilności materiału aktywnego jest napływ drobnych cząstek, wytrącanie się różnych związków chemicznych oraz nadmierny

przyrost biomasy [8]. Czas, po którym materiał aktywny traci swoją stabilność, nazywany jest efektywnym czasem pracy materiału aktywnego. Jednym ze sposobów jego wydłużenia jest zastosowanie materiału aktywnego o współczynniku filtracji odpowiednio wyższym od współczynnika filtracji warstwy wodonośnej.

Znane są dwa typy technologii PRB: ciągła bariera aktywna (*ang. Continuous Reactive Barrier*) oraz typ Funnel-and-Gate (*ang. Funnel-and-Gate System*), do którego zalicza się podtypy otwarty (*ang. Funnel-and-Gate Open System*) i zamknięty (*ang. Funnel-and-Gate Closed System*) (rys. 1) [4, 5].



Rys. 1. Podstawowe typy technologii PRB [5]

Fig. 1. Main types of PRB [5]

Prostszym i częściej stosowanym typem technologii jest ciągła bariera aktywna, której zasada polega na całkowitym wypełnieniu materiałem aktywnym rowu usytuowanego na drodze przepływu zanieczyszczeń. W wielu przypadkach, szczególnie w warunkach heterogenicznych, typ Funnel-and-Gate może być jednak bardziej pożądanym i skuteczniejszym sposobem oczyszczania wód podziemnych. Usytuowanie bariery aktywnej w miejscu podwyższonej przepuszczalności warstwy wodonośnej i stworzenie preferencyjnej drogi migracji zanieczyszczeń zwiększą bowiem efekt oczyszczania oraz umożliwią zastosowanie mniejszej ilości materiału aktywnego i prowadzenie dokładniejszego monitoringu procesów oczyszczania. Układ tego rodzaju składa się z dwóch elementów o przeciwstawnych hydraulicznych właściwościach. Większa część konstrukcji składa się z nieprzepuszczalnej bariery pasywnej, która razem ze słabo przepuszczalną warstwą, zalegającą pod skażonym obszarem, doprowadza zanieczyszczenia do bariery aktywnej, w której przebiegają procesy oczyszczania [7]. Wadą tego typu technologii PRB jest groźba szybszego obniżania się przepuszczalności bariery aktywnej, która może spowodować drastyczny spadek skuteczności pracy technologii.

Jednym z podstawowych parametrów technologii PRB, decydującym o geometrii bariery, jest *szerokość strefy oczyszczania*. Odnosi się ona do szerokości obszaru wód podziemnych, które przepłyną przez barierę aktywną. Może być ona zwiększana przez wzrost wydajności wód podziemnych, przepływających przez barierę. W tym miejscu należy więc zauważyć, iż obniżenie przepuszczalności materiału aktywnego w wyniku napływu drobnych cząstek, wytrącania się osadów i nadmiernego przyrostu biomasy, może spowodować obniżenie wydajności wód podziemnych, przepływających przez barierę i „zwężenie” szerokości strefy oczyszczania, a w konsekwencji zmianę kierunku przepływu zanieczyszczonych wód i ich przepływ obok bariery aktywnej.

Celem pracy było przedstawienie i udowodnienie słuszności następującej zasady: w celu podniesienia skuteczności pracy typu otwartego Funnel-and-Gate technologii PRB przez zwiększenie szerokości strefy oczyszczania, współczynnik filtracji materiału aktywnego powinien być wyższy od współczynnika filtracji analizowanej warstwy wodonośnej. Wartość liczbowa zalecanego ilorazu współczynnika filtracji materiału aktywnego do współczynnika filtracji warstwy wodonośnej zostanie zaproponowana w pracy na podstawie modelowania hydrogeologicznego.

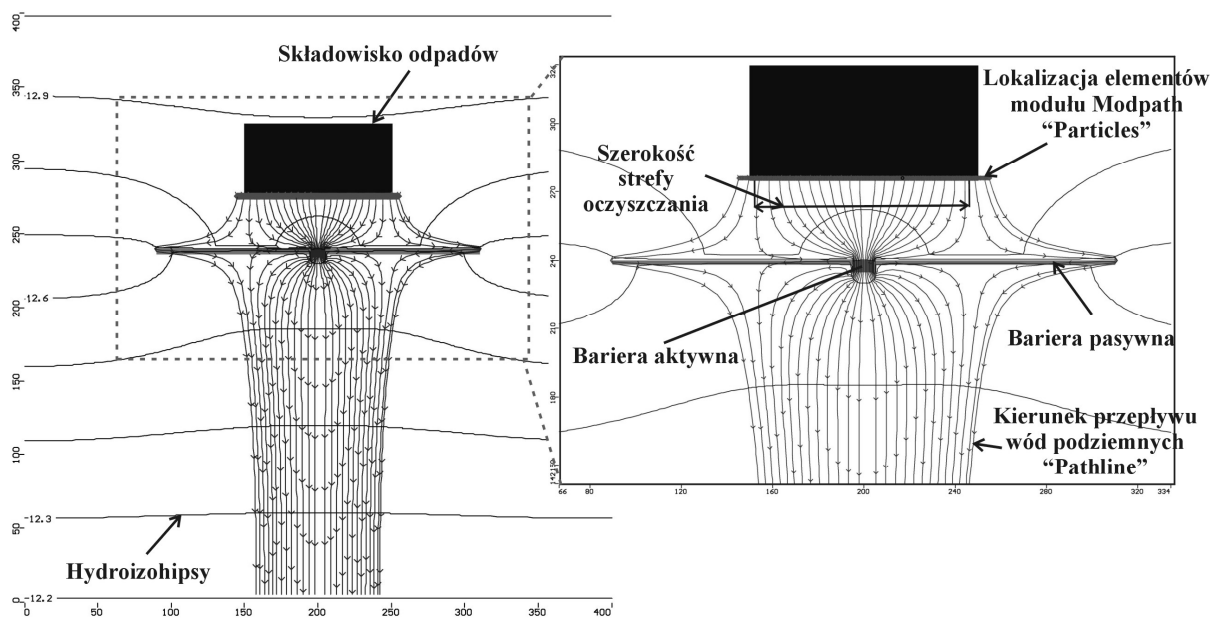
2. Metodyka badań

Znanych jest wiele programów komputerowych służących do modelowania przepływu wód podziemnych i zanieczyszczeń w nich rozpuszczonych. Można wśród nich wymienić: FEFLOW, FLONET/TRANS, FLOWPATH II, FRAC3DVS, FRACTRAN, PRINCE, RBCA TIER 2 ANALYZER, VISUAL MODFLOW. Do celów niniejszej pracy wybrany został program Visual MODFLOW wraz z modułami Zone Budget oraz Modpath, ponieważ pozwala on na:

- modelowanie przepływu wód podziemnych,
- modelowanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń,
- obliczenie objętości wody, która przepływa przez określony obszar (moduł Zone Budget),
- określenie kierunku przepływu wód podziemnych (moduł Modpath),
- zastosowanie w modelu bariery pasywnej (ekranu przeciwfiltracyjnego), której grubość i współczynnik filtracji można zdefiniować.

Model teoretyczny, zastosowany w pracy, służył do oceny zależności pomiędzy współczynnikiem filtracji materiału aktywnego a współczynnikiem filtracji warstwy wodonośnej dla typu otwartego Funnel-and-Gate. Model miał kształt kwadratu o wymiarach 400 m na 400 m (rys. 2). Budowa geologiczna warstw składała się kolejno – od powierzchni terenu – z piasków oraz z glin izolujących nadległą warstwę wodonośną. Grubość warstwy wodonośnej wynosiła 12 m. Zarówno bariera aktywna, jak i bariera pasywna były zagłębione w leżącą poniżej warstwę glin. Źródłem zanieczyszczenia było składowisko odpadów o kształcie prostokąta (100/50 m). W modelu zastosowano warunki brzegowe III rodzaju, które umieszczono na granicy obszaru modelowego wzdłuż pierwszego (górnego) i ostatniego (dolnego) szeregu. W ten sposób wody podziemne przepływały przez obszar składowiska odpadów i kierowały się do miejsca usytuowania bariery (rys. 2). Na granicy obszaru modelowego, po skrajnie lewej i prawej stronie modelu, zastosowano natomiast warunki brzegowe II rodzaju (brak zasilania).

W celu określenia mierzonych w pracy wielkości (szerokości strefy oczyszczania oraz prędkości przepływu wód (prędkości filtracji)) podczas modelowania zastosowano moduły Modpath (wykreślne przedstawienie kierunku przepływu wód) oraz Zone Budget (obliczenie objętości wody, która przepływa przez określoną powierzchnię).



Rys. 2. Pole filtracji wód podziemnych z zastosowanym składowiskiem odpadów i typem otwartym Funnel-and-Gate technologii PRB

Fig. 2. The hydrodynamic field with the use of the Funnel-and-Gate Open System and the dumping site

Analizowany model hydrogeologiczny był wykonany dla następujących warunków:

- zastosowano typ otwarty Funnel-and-Gate technologii PRB – system był zorientowany prostopadle do przepływu wód podziemnych;
- całkowita szerokość bariery aktywnej i bariery pasywnej wynosiła 220 m;
- grubość bariery aktywnej wynosiła 5 m;
- współczynnik filtracji bariery pasywnej wynosił $1E-12$ m/s;
- grubość bariery pasywnej wynosiła 0,07 m;
- współczynnik filtracji warstwy wodonośnej wahał się dla różnych wariantów symulacji od $1E-6$ m/s do $5E-4$ m/s. W celu ułatwienia analizy założono również, że warstwa wodonośna jest izotropowa;
- gradient hydrauliczny warstwy wodonośnej wahał się dla różnych wariantów symulacji od $0,1‰$ do $5‰$;
- szerokość bariery aktywnej wahała się dla różnych wariantów symulacji od 5 m do 30 m;
- współczynnik filtracji materiału aktywnego (bariery aktywnej) wahał się dla różnych wariantów symulacji od $1E-6$ m/s do $5E-3$ m/s;
- odległość pomiędzy barierą a źródłem zanieczyszczenia (składowiskiem odpadów) wahała się dla różnych wariantów symulacji od 30 m do 120 m.

Stosując tak przygotowany model, uzyskano możliwość jednoczesnego wprowadzania kilku podstawowych parametrów do przeprowadzenia określonej symulacji.

3. Wyniki i dyskusja

W celu przedstawienia zależności między współczynnikiem filtracji materiału aktywnego k_{ma} a współczynnikiem filtracji warstwy wodonośnej k_{ww} dla typu otwartego Funnel-and-Gate technologii PRB, zaprezentowano ich wpływ na prędkość filtracji wód podziemnych wewnątrz bariery aktywnej (w materiale aktywnym) oraz na szerokość strefy oczyszczania. Na rysunkach 3, 4, 5 przedstawiono odpowiednio:

- zależność między prędkością filtracji wewnątrz bariery aktywnej (v) a współczynnikiem filtracji warstwy wodonośnej (k_{ww}) – rysunek 3,
- zależność między prędkością filtracji wewnątrz bariery aktywnej (v) a współczynnikiem filtracji materiału aktywnego (k_{ma}) – rysunek 4,

- zależność między szerokością strefy oczyszczania (z) a współczynnikiem filtracji warstwy wodonośnej (k_{ww}) oraz współczynnikiem filtracji materiału aktywnego (k_{ma}) – rysunek 5.

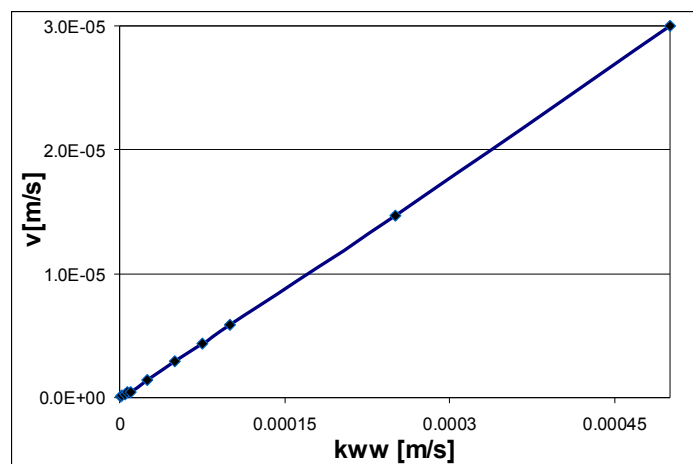
Zaprezentowane na rysunkach charakterystyki są wynikami wybranego wariantu symulacji. Dokonano tego zabiegu ponieważ trudną rzeczą byłoby przedstawienie wszystkich wyników symulacji w pracy, a ponadto, wyniki pozostałych symulacji były podobne do przedstawionych, tj. krzywe (zależności) były te same, a uzyskane wartości różniły się dla poszczególnych symulacji.

Wyniki zaprezentowane na rysunku 3, przedstawiające zależność między prędkością filtracji w barierze aktywnej a współczynnikiem filtracji warstwy wodonośnej, uzyskano z modelu, stosując następujące dane:

- wartość współczynnika filtracji warstwy wodonośnej wynosiła dla poszczególnych symulacji odpowiednio $1E-6$ m/s, $2,5E-6$ m/s, $5E-6$ m/s, $7,5E-6$ m/s, $1E-5$ m/s, $2,5E-5$ m/s, $5E-5$ m/s, $7,5E-5$ m/s, $1E-4$ m/s, $2,5E-4$ m/s, $5E-4$ m/s,
- gradient hydrauliczny wynosił 2‰ ,
- szerokość bariery aktywnej wynosiła 10 m,
- współczynnik filtracji materiału aktywnego przyjmował tę samą wartość co współczynnik filtracji warstwy wodonośnej dla danej symulacji,
- odległość między barierą a składowiskiem odpadów wynosiła 35 m.

Prędkość filtracji wód podziemnych wewnątrz bariery aktywnej była określana na podstawie z modułów:

- Modpath – przez zmierzenie odległości, jaką odbył zdefiniowany element modułu w określonym czasie,
- Zone Budget – przez zmierzenie wydajności wody przepływającej przez barierę aktywną i obliczenie pola powierzchni bocznej bariery.



Rys. 3. Prędkość filtracji w barierze aktywnej w funkcji różnych wartości współczynnika filtracji warstwy wodonośnej

Fig. 3. The Darcian velocity within the reactive material as a function of different value of aquifer hydraulic conductivity

Zgodnie z równaniem (1) (równanie Darcy'ego), przy stałym gradiencie hydraulicznym i wzrastającej wartości współczynnika filtracji warstwy wodonośnej prędkość filtracji w warstwie wodonośnej rośnie:

$$v = -k \frac{\Delta H}{\Delta x} = -kI, \quad (1)$$

gdzie:

v – prędkość filtracji, m/s,

H – wysokość hydrauliczna, m,

k – współczynnik filtracji, m/s,

x – droga filtracji, m,

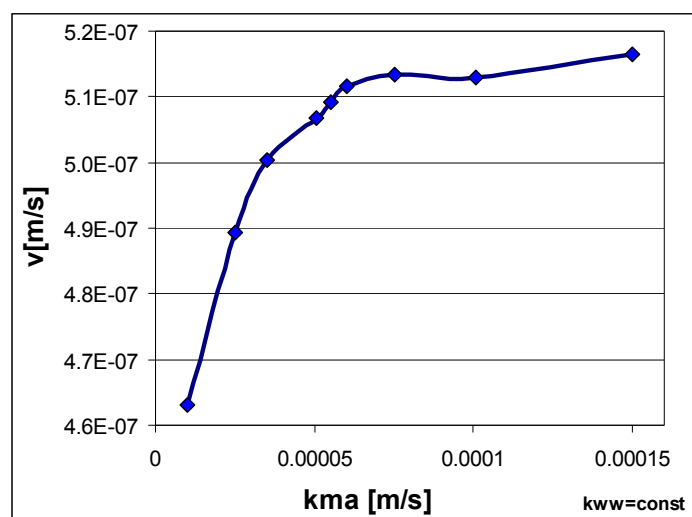
I – gradient hydrauliczny.

Wyniki przedstawione na rysunku 3 potwierdzają wyżej podaną zależność. Można więc powiedzieć, iż prędkość filtracji wód w barierze aktywnej wzrasta wraz z rosnącą wartością współczynnika filtracji warstwy wodonośnej (k_{ww}), przy stałym gradiencie hydraulicznym. Prędkość filtracji wewnątrz bariery aktywnej jest więc ściśle związana ze współczynnikiem filtracji warstwy wodonośnej i stąd również z prędkością filtracji wody w warstwie wodonośnej. W tym miejscu można również zauważyć, iż ze względu na przeprowadzenie dużej ilości wody przez niewielką powierzchnię bariery aktywnej, prędkość filtracji wody w barierze aktywnej jest wyższa od prędkości filtracji w pozostałej części modelu, tj. w warstwie wodonośnej.

Na prędkość przepływu wód przez barierę aktywną wpływa również współczynnik filtracji materiału aktywnego (k_{ma}), jednakże, co widać na rysunku 4, wpływ ten nie jest tak

duży jak podczas zmian współczynnika filtracji warstwy wodonośnej (rys. 3). Ponadto, na rysunku 4 można zauważyć, iż po osiągnięciu pewnych wartości współczynnika filtracji materiału aktywnego, prędkość filtracji wody w barierze aktywnej rośnie bardzo wolno lub nie rośnie w ogóle. Ta zależność jest ściśle związana z zadaną dla określonej symulacji wartością współczynnika filtracji warstwy wodonośnej ($k_{ww}=\text{const.}$). Wyniki zaprezentowane na rysunku 4 uzyskano z modelu, stosując następujące dane:

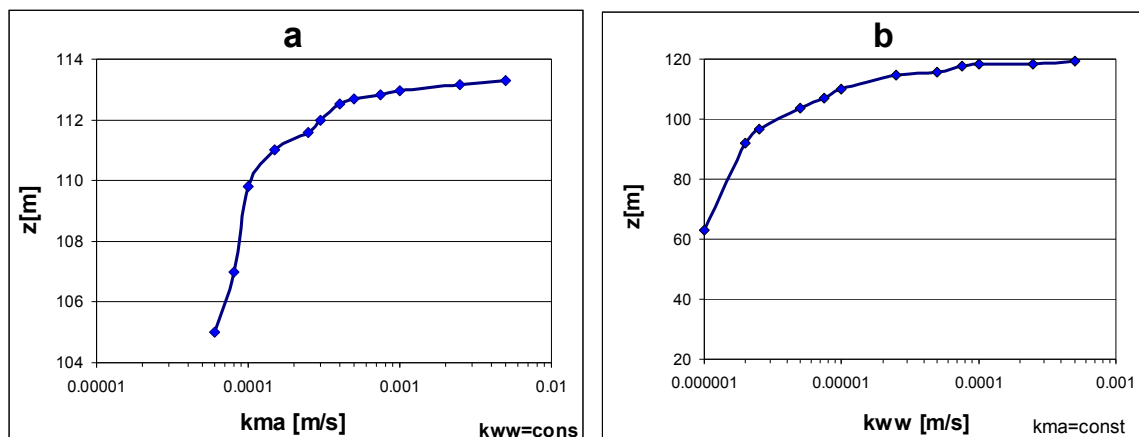
- wartość współczynnika filtracji warstwy wodonośnej wynosiła $1\text{E-}5$ m/s,
- gradient hydrauliczny wynosił 2‰ ,
- szerokość bariery aktywnej wynosiła 14 m,
- wartość współczynnika filtracji materiału aktywnego wynosiła dla poszczególnych symulacji odpowiednio: $1\text{E-}5$ m/s, $2,5\text{E-}5$ m/s, $3,5\text{E-}5$ m/s, $5\text{E-}5$ m/s, $5,5\text{E-}5$ m/s, $6\text{E-}5$ m/s, $7,5\text{E-}5$ m/s, $1\text{E-}4$ m/s, $1,5\text{E-}4$ m/s,
- odległość między barierą a składowiskiem odpadów wynosiła 35 m.



Rys. 4. Prędkość filtracji w barierze aktywnej w funkcji różnych wartości współczynnika filtracji materiału aktywnego

Fig. 4. The Darcian velocity within the reactive material as a function of different value of reactive material hydraulic conductivity

Aby w technologii PRB substancje zanieczyszczające zostały usunięte z wód podziemnych, muszą przepłynąć przez barierę aktywną. W przypadku zastosowania typu otwartego Funnel-and-Gate technologii PRB, szerokość bariery pasywnej i bariery aktywnej powinna być tak dobrana, aby cały system obejmował plamę zanieczyszczeń, tj. żeby szerokość strefy oczyszczania (z), określana jako szerokość obszaru wód podziemnych, które przepłyną przez barierę aktywną, odpowiadała szerokości plamy zanieczyszczeń. Dla tego typu technologii PRB na szerokość strefy oczyszczania wpływają również współczynniki filtracji warstwy wodonośnej oraz materiału aktywnego (rys. 5).



Rys. 5. Szerokość strefy oczyszczania jako funkcja: a) różnych wartości współczynnika filtracji materiału aktywnego; b) różnych wartości współczynnika filtracji warstwy wodonośnej

Fig. 5. The hydraulic capture zone width as a function of different value of: a) reactive material hydraulic conductivity, b) aquifer hydraulic conductivity

Zgodnie z rysunkiem 5, dla stałej szerokości typu otwartego Funnel-and-Gate (dla stałej szerokości bariery pasywnej i bariery aktywnej) szerokość strefy oczyszczania oraz tym samym wydatek wód przepływających przez barierę aktywną wzrasta wraz ze wzrostem współczynnika filtracji warstwy wodonośnej oraz materiału aktywnego. Zaprezentowane więc na rysunkach 3 i 4 zmiany prędkości filtracji w barierze aktywnej, spowodowane zmianami współczynników filtracji warstwy wodonośnej i materiału aktywnego, mają również wpływ na szerokość strefy oczyszczania.

Jeżeli prędkość przepływu wód podziemnych w barierze aktywnej wzrasta, wtedy również wzrasta drugi istotny parametr technologii – czas kontaktu. Czas ten określany jest jako czas kontaktu zanieczyszczeń z materiałem aktywnym, tj. czas potrzebny do przebiegu procesów oczyszczania w barierze aktywnej. Czas kontaktu można w tym przypadku jedynie wydłużyć przez zwiększenie grubości bariery aktywnej.

Wyniki zaprezentowane na rysunku 5a uzyskano z modelu, stosując następujące dane:

- wartość współczynnika filtracji warstwy wodonośnej wynosiła $6E-5$ m/s,
- gradient hydrauliczny wynosił $0,8\text{‰}$,
- szerokość bariery aktywnej wynosiła 20 m,
- wartość współczynnika filtracji materiału aktywnego wynosiła dla poszczególnych symulacji odpowiednio: $6E-5$ m/s, $8E-5$ m/s, $1E-4$ m/s, $1,5E-4$ m/s, $2,5E-4$ m/s, $3E-4$ m/s, $4E-4$ m/s, $5E-4$ m/s, $7,5E-4$ m/s, $1E-3$ m/s, $2,5E-3$ m/s, $5E-3$ m/s,
- odległość między barierą a składowiskiem odpadów wynosiła 35 m.

Wyniki zaprezentowane na rysunku 5b uzyskano z modelu, stosując następujące dane:

- wartość współczynnika filtracji warstwy wodonośnej wynosiła dla poszczególnych symulacji odpowiednio: 1E-6 m/s, 2E-6 m/s, 3E-6 m/s, 5E-6 m/s, 7.5E-6 m/s, 1E-5 m/s, 2,5E-5 m/s, 5E-5 m/s, 7,5E-5 m/s, 1E-4 m/s, 2,5E-4 m/s, 5E-4 m/s,
- gradient hydrauliczny wynosił 0,8‰,
- szerokość bariery aktywnej wynosiła 20 m,
- wartość współczynnika filtracji materiału aktywnego wynosiła 5E-3 m/s,
- odległość między barierą a składowiskiem odpadów wynosiła 35 m.

Szerokość strefy oczyszczania była określona na podstawie z modułu Modpath – przez zmierzenie szerokości wszystkich zdefiniowanych elementów modułu, które przejdą przez barierę aktywną (rys. 2).

Jak widać z wyników symulacji przedstawionych na rysunku 5, większy wpływ na szerokość strefy oczyszczania (z) ma współczynnik filtracji warstwy wodonośnej (k_{ww}) niż współczynnik filtracji materiału aktywnego (k_{ma}). W przypadku gdy wartość k_{ma} jest stała, rosnące wartości k_{ww} powodują szybki i ciągły wzrost szerokości strefy oczyszczania (rys. 5b), podczas gdy wzrost wartości k_{ma} , przy stałej wartości k_{ww} , powoduje ograniczony wzrost tej szerokości (rys. 5a). Na podstawie tego rysunku (oraz wyników pozostałych symulacji) można było również stwierdzić, iż gdy wartość k_{ma} była sześciokrotnie wyższa od k_{ww} , zmiany szerokości strefy oczyszczania były niewielkie, często niezauważalne. Stąd stwierdza się, iż chcąc zwiększyć szerokość strefy oczyszczania przez zwiększenie współczynnika filtracji materiału aktywnego, jego wartość powinna być tylko sześć razy wyższa od współczynnika filtracji warstwy wodonośnej, który to współczynnik jest wartością stałą dla określonego obszaru.

Niestety, ze względu na możliwość napływu drobnych cząstek do bariery aktywnej, wytrącania się w materiale aktywnym różnych związków chemicznych [8] oraz nadmiernego przyrostu biomasy, istnieje zagrożenie obniżenia przepuszczalności hydraulicznej materiału aktywnego, tj. utraty jego stabilności. Możliwym sposobem przeciwdziałania temu efektowi jest zastosowanie materiału aktywnego o współczynniku filtracji odpowiednio wyższym od współczynnika filtracji warstwy wodonośnej.

Podsumowując, ze względu na możliwość zmian współczynnika filtracji materiału aktywnego, w wyniku przemian geochemicznych, biochemicznych oraz napływu drobnych cząstek, do uzyskanej z modelowania hydrogeologicznego wielkości ilorazu k_{ma}/k_{ww} , wynoszącego 6, należy wprowadzić odpowiedni współczynnik bezpieczeństwa, zwiększający wartość współczynnika filtracji materiału aktywnego. Kilku projektantów technologii PRB

zastosowało wartość $k_{ma}/k_{ww} = 10$ [1, 2]. Rozwiązanie to daje pewność, że szerokość strefy oczyszczania nie ulegnie zmianie, gdy wartość współczynnika filtracji materiału aktywnego ulegnie zmniejszeniu. W tym miejscu należy jednak dodać, iż stosowanie wyższego niż wskazano współczynnika filtracji materiału aktywnego może wpłynąć negatywnie na obniżenie jego aktywności.

4. Wnioski

Jednym z głównych parametrów technologii PRB jest szerokość strefy oczyszczania. Może być ona regulowana przez zmianę stosunku współczynnika filtracji materiału aktywnego do współczynnika filtracji warstwy wodonośnej k_{ma}/k_{ww} . Szerokość strefy oczyszczania rośnie lub maleje, gdy stosunek k_{ma}/k_{ww} odpowiednio rośnie lub maleje. Zważywszy na fakt, iż współczynnik filtracji warstwy wodonośnej jest wartością stałą dla określonego, rzeczywistego obszaru, szerokość strefy oczyszczania można zwiększać, jedynie zmieniając współczynnik filtracji materiału aktywnego. Według zaprezentowanych w pracy symulacji, stosunek k_{ma}/k_{ww} dla typu otwartego Funnel-and-Gate technologii PRB powinien wynosić 6, ponieważ szerokość strefy oczyszczania powyżej tej wartości wzrasta bardzo wolno lub nie wzrasta w ogóle.

Z uwagi na możliwość zmian współczynnika filtracji materiału aktywnego, w wyniku przemian geochemicznych i biochemicznych oraz napływu drobnych cząstek, do uzyskanej z modelowania hydrogeologicznego wartości $k_{ma}/k_{ww}=6$ konieczne jest wprowadzenie odpowiedniego współczynnika bezpieczeństwa. Zgodnie z kilkoma projektantami [1, 2], stosunek k_{ma}/k_{ww} powinien przyjąć wartość 10. Wielkość ta ma zapewnić długotrwałą i skuteczną pracę technologii PRB.

BIBLIOGRAFIA

1. Beitinger E., Tarnowski F., Gehrke M., Burneier H.: Permeable treatment walls for in-situ groundwater remediation – how to avoid precipitation and bio-clogging. Contaminated Soil '98, Vol. 1, Edinburgh 1998.
2. Gavaskar A., Gupta N., Sass B., Janosy R.J.: Design guidance for application of permeable reactive barriers for groundwater remediation. Battelle Columbus Operations Ohio, Florida 2000.

3. Gavaskar A., Sass B., Gupta N., Drescher E., Yoon W.S., Sminchak J., Hicks J., Condit W.: Evaluating the longevity and hydraulic performance of Permeable Reactive Barriers at Department of Defence Sites. Battelle Columbus Operations Ohio, Florida 2003.
4. Interstate Technology & Regulatory Council. Permeable Reactive Barriers: Lessons learned/new directions, <http://www.itrcweb.org>.
5. Lutyński A., Suponik T.: Zastosowanie barier z węgla aktywnego do ochrony wód podziemnych przed odciekami ze składowisk odpadów przemysłowych. „Ochrona Środowiska”, nr 4, 2004, s. 37-40.
6. Meggyes T., Simon F.G., Debreczeni E.: New developments in reactive barrier technology. The exploitation of natural resources and the consequences. Green 3. International Symposium on Geotechnics Related to the European Environment, Berlin 2000.
7. Suponik T.: Komputerowe projektowanie remediacji wód podziemnych, [w:] Kowalik S. (red.): Komputerowe projektowanie inżynierskie w zastosowaniach górniczych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008, s. 82-98.
8. Suponik T.: Zastosowanie żelaza metalicznego w technologii PRB, [w:] Malina G. (red.): Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych. Wydawnictwo Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych, Poznań 2009.
9. Suponik T., Lutyński M.: Possibility of Using Permeable Reactive Barrier in Two Selected Dumping Sites. „Archives Of Environmental Protection”, Vol. 35, No. 3, 2009, p. 109-122.
10. Suponik T.: Wykorzystanie odpadów z obróbki powierzchni żelaza w oczyszczaniu wód gruntowych. Kwartalnik „Górnictwo i Geologia”, t. 3, z. 3, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008, s. 61-70.
11. <http://dydaktyka.polsl.pl/rg5/Remediacja.pdf>

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej Rózkowski