BIULETYN PAŃSTWOWEGO INSTYTUTU GEOLOGICZNEGO 445: 633–642, 2011 R.

WYSTĘPOWANIE TRICHLOROETENU I TETRACHLOROETENU W WODACH PODZIEMNYCH W REJONIE TARNOWSKICH GÓR

OCCURRENCE OF TRICHLOROETHENE AND TETRACHLOROETHENE IN GROUNDWATER IN TARNOWSKIE GÓRY AREA

SŁAWOMIR SITEK[1], ANDRZEJ KOWALCZYK[1]

Abstrakt. W badaniach prowadzonych od 1994 r. w rejonie Tarnowskich Gór rejestruje się w wodach węglanowego kompleksu wodonośnego triasu obecność trichloroetenu (TCE) i tetrachloroetenu (PCE). Źródłem tych związków są zakłady przemysłowe, funkcjonujące w przeszłości lub nadal czynne na terenie miasta Tarnowskie Góry. Potwierdza to przestrzenny rozkład zawartości tych związków w wodach węglanowego kompleksu wodonośnego triasu, który wskazuje, że maksymalne wartości sumy TCE i PCE, na poziomie ponad kilkudziesięciu $\mu g/dm^3$, występują na terenie miasta i w bezpośrednim jego otoczeniu. Zawartości tych związków maleją wraz z odległością od miasta, w kierunku zachodnim, południowo-zachodnim i północno-zachodnim. W okresie prowadzenia badań stwierdzono przemieszczanie się frontu tych związków. Obecnie istotne zawartości, na poziomie 3–10 $\mu g/dm^3$ stwierdza się w odległości kilkunastu kilometrów na zachód od miasta. Potwierdzeniem migracji tych związków jest wzrost ich zawartości w wodach ze studni, w których na początku okresu badań ich obecności nie stwierdzano.

W pracy przedstawiono podsumowanie wyników dotychczasowych badań prowadzonych w latach 1994–2010, oraz sformułowano wnioski z nich wynikające. Wskazano na uwarunkowania geologiczno-strukturalne, hydrodynamiczne oraz hydrogeochemiczne rozprzestrzeniania się TCE i PCE w wodach GZWP Gliwice, na trendy zmian stężeń tych związków oraz na możliwość prognozowania tych zmian w przyszłości.

Słowa kluczowe: trichloroeten (TCE), tetrachloroeten (PCE), migracja, samooczyszczanie, GZW P Gliwice, Tarnowskie Góry.

Abstract. Trichloroethene (TCE) and tetrachloroethene (PCE) contamination have been monitored in water of Triassic carbonate aquifer in Tarnowskie Góry area since 1994. The source of the contamination is industry, located in the Tarnowskie Góry, what has been confirmed by spatial distribution of TCE and PCE concentration in the aquifer and maximum concentration observed in the city and immediate vicinity. The concentrations of TCE and PCE decrease with increase distance from Tarnowskie Góry in the west, south-west and north-west direction. The results demonstrate that contamination plume is spreading out up to 15 km in the west direction from the source of the contamination. Confirmation of migration of these constituents is continuous increase of TCE and PCE concentrations in the water from wells uncontaminated at the beginning of the research studies.

The paper summarizes results of the investigation for years 1994 to 2010. It was indicated that important role in spreading the TCE and PCE in the groundwater play geological structure, hydrodynamic and hydrogeochemical properties of the Triassic carbonate aquifer. Reliable prediction of temporal and spatial TCE and PCE concentration changes require to take into consideration all mentioned above factors.

Key words: trichloroethene, tetrachloroethene, chlorinated solvents, groundwater contamination, Tarnowskie Góry.

[1] Uniwersytet Śląski, Zakład Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; e-mail: slawomir.s.sitek@us.edu.pl

WSTĘP

Tetrachloroeten (PCE) i trichloroeten (TCE) należą do licznej grupy węglowodorów chlorowanych. Są to tzw. ciecze ciężkie (DNAPLs) ze względu na ich gęstość większą od wody. Obecność tych związków w wodach podziemnych stanowi poważny problem, ponieważ ze względu na swoje specyficzne właściwości fizykochemiczne stanowią one uciążliwe zanieczyszczenie, które dyskwalifikuje przydatność wód do spożycia. Są to takie właściwości jak: trwałość w normalnych warunkach w środowisku wód podziemnych, mała sorbowalność przez większość powszechnie występujących osadów budujących poziomy wodonośne (Wiedemeier, 1999; Lawrence i in., 2006), a poza tym dopuszczalne wartości tych związków w wodach pitnych są niskie. Migracja DNAPLs w skałach litych, spękanych i skrasowiałych ze względu na specyficzne właściwości może być zarówno bardzo szybka i na znaczne odległości, jak i ograniczona w przestrzeni. Jest to uwarunkowane zmiennością litologiczną środowiska, a także przez spękania i pustki krasowe, ich orientację i wzajemne połączenia oraz rozwarcie szczelin i wielkość pustek krasowych. DNAPLs mogą gromadzić się w zagłębieniach utworzonych na powierzchni spągowej poziomów wodonośnych, zbudowanej ze skał słaboprzepuszczalnych, i przemieszczać się zgodnie z nachyleniem powierzchni utworzonej przez te skały. Rozpuszczając się bardzo wolno w wodzie, tworzą one plamę produktu rozpuszczonego, która przemieszcza się zgodnie z kierunkiem przepływu wód podziemnych.

Główny zbiornik wód podziemnych triasu, GZWP Gliwice jest bardzo zasobny w wodę bardzo dobrej jakości. Stanowi źródło zaopatrzenia w wodę pitną miast północnej części Górnego Śląska, m.in.: Tarnowskich Gór, Zabrza, Gliwic. Badania składu chemicznego wód tego zbiornika podjęte w 1994 r. wykazały obecność w nich węglowodorów chlorowanych, trichloroetenu (TCE) i tetrachloroetenu (PCE) (Kowalczyk i in., 2001). Początkowo obecność tych związków w wodach stwierdzano w studniach i otworach obserwacyjnych zlokalizowanych na terenie miasta Tarnowskie Góry. Od tamtego czasu obserwuje się rozprzestrzenianie się tych związków w triasowym zbiorniku GZWP Gliwice. Wysokie stężenia tych związków w wodach ujmowanych na zaopatrzenie ludności, przekraczające 10 $\mu g/dm^3$, były przyczyną zamknięcia kilku ujęć na terenie miasta Tarnowskie Góry. Źródłem TCE i PCE, które były stosowane jako rozpuszczalniki chemiczne w procesach technologicznych, są zakłady przemysłowe zlokalizowane na terenie miasta (Kowalczyk i in., 2001). Obecnie niektóre z nich zlikwidowano, a inne mają zmienioną technologię produkcji.

Niniejsza praca stanowi syntezę i podsumowanie dotychczasowych wyników badań, dotyczących obecności TCE i PCE w wodach podziemnych triasowego kompleksu wodonośnego. Badania obejmują okres od 1994 do 2010 r. Mimo że nie były to badania skoordynowane i nie były prowadzone w sposób planowy i systematycznie, to zdaniem autorów jest szereg istotnych powodów i przesłanek, które wydają się uzasadniać niniejszą publikację. Są to m.in.:

– w odniesieniu do terytorium Polski brak jest publikowanych wyników badań dotyczących obecności zanieczyszczeń wód podziemnych przez węglowodory chlorowane, w tym TCE i PCE,

– rejon Tarnowskich Gór jest najprawdopodobniej jedynym rozpoznanym w takim stopniu i kontrolowanym od kilkunastu lat, pod względem obecności TCE i PCE w wodach podziemnych, rejonem w Polsce,

– skala obiektu objętego zanieczyszczeniem TCE i PCE ze względu na znaczną miąższość utworów wodonośnych triasu, od ok. 50 do ponad 150 m, oraz powierzchnię, na której rozpoznano zanieczyszczenie (ponad 70 km^2).

– specyficzny charakter hydrauliczny krasowo-szczelinowo-porowy i geochemiczny ośrodka wodonośnego, determinujący drogi krążenia wód i migracji zanieczyszczeń, jakim jest węglanowy kompleks wodonośny triasu.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie i dyskusja zachowania się TCE i PCE w triasowym, krasowo-szczelinowo-porowym GZWP Gliwice, a także ocena dotychczasowego stanu rozpoznania oraz wnioski dla prawidłowego rozpoznawania zachowania się TCE i PCE w tego typu zbiornikach wód podziemnych. Ponadto tezą pracy było założenie, że związki PCE i TCE są bardzo trwałe w środowisku wód zbiornika GZWP Gliwice, ponieważ proces samooczyszczania się z tych związków jest w tym przypadku mało skuteczny. Przyjęto ponadto, że główne czynniki, które determinują rozprzestrzenienie i dynamikę zmian zawartości PCE i TCE są związane z warunkami geologiczno-strukturalnymi ośrodka wodonośnego i z układem krążenia wód podziemnych. Procesy hydrogeochemiczne i biogeochemiczne mają tu mniejsze znaczenie. Ponadto przykład ten pokazuje, jak trudne jest prognozowanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w tego typu w ośrodkach wodonośnych, takich jak węglanowy kompleks wodonośny triasu.

Praca opiera się na wynikach badań fizykochemicznych wód podziemnych wykonywanych w ponad 50 otworach studziennych i obserwacyjnych, ujmujących wody węglanowego kompleksu wodonośnego triasu, w latach 1994–2010. Większość wyników pochodzi z badań prowadzonych w Zakładzie Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej UŚ, aczęść wyników uzyskano z opracowań archiwalnych. Badaniami objęto wschodnią i centralną część GZWP Gliwice wraz z jego północno-wschodnim obrzeżeniem, w rejonie miasta Tarnowskie Góry (fig.1).

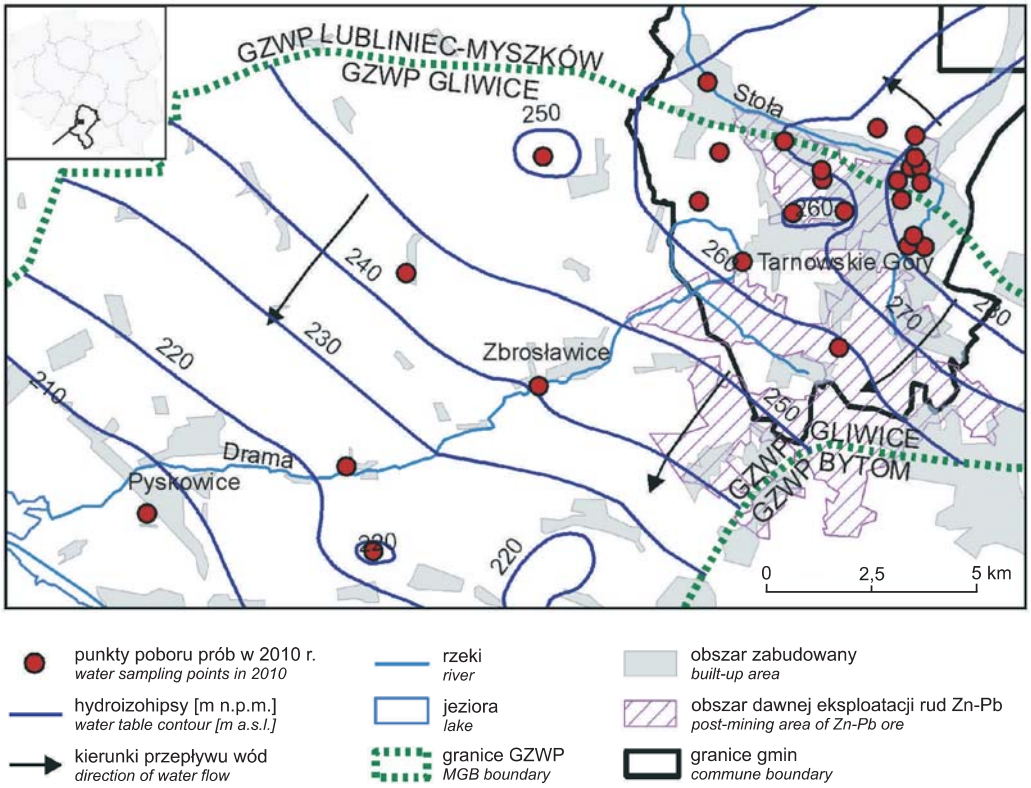

Fig. 1. Lokalizacja obszaru badań

Location of the study area

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

W obszarze badań wody podziemne występują w utworach czwartorzędu i triasu. Poziom czwartorzędowy jest zbudowany z piasków oraz lokalnie żwirów, o miąższości od kilku do kilkudziesięciu metrów. Jest to poziom nieciągły, miejscami rozdzielony warstwami glin na dwie lub trzy warstwy wodonośne. Zwierciadło wody jest swobodne lub słabo napięte pod przykryciem glin zwałowych, położone na głębokości od 1 do 9–10 metrów. Obecnie wody czwartorzędowego poziomu wodonośnego nie są eksploatowane, ze względu na złą ich jakość i nieprzydatność do spożycia (Rózkowski, 1990; Kowalczyk i in., 2002).

Piętro wodonośne triasu ma ciągłe rozprzestrzenienie na terenie badań. Wyróżnia się w nim trzy poziomy wodonośne: wapienia muszlowego, (retu) najwyższego pstrego piaskowca i warstw świerklanieckich. Dwa pierwsze są eksploatowane ujęciami wód podziemnych. Poziom wapienia muszlowego i retu zbudowany jest ze spękanych i skrasowiałych wapieni i dolomitów rozdzielonych warstwami gogolińskimi, które są zbudowane z margli bądź cienkoławicowych wapieni poprzekładanych warstewkami utworów marglisto-ilastych (Bardziński, Lewandowski, 2000). W skali regionalnej poziom wodonośny wapienia muszlowego i retu opisywany jest łącznie jako kompleks wodonośny serii węglanowej triasu (Kowalczyk i in., 2002). Miąższość tego kompleksu jest zmienna od kilku metrów, w rejonie wychodni skał na wschód od granicy miasta, do około 180 m, w części północno-zachodniej obszaru badań.

Obszar badań jest położony w obrębie dwóch głównych zbiorników wód podziemnych: GZWP Gliwice i GZWP Lubliniec–Myszków. Granicę pomiędzy tymi zbiornikami stanowi dział wód podziemnych, który obecnie przebiega przez teren miasta Tarnowskie Góry (fig. 1).

Zwierciadło wody ma charakter swobodny w obszarze wychodni skał węglanowych oraz tam, gdzie poziom wodonośny jest zdrenowany ujęciami studziennymi i przez sztolnie górnicze (fig.1). Lokalnie wody występują pod przykryciem utworów izolujących plejstocenu lub górnych ogniw triasu środkowego.

Układ krążenia wód podziemnych w węglanowym kompleksie wodonośnym triasu jest rozdzielony na dwa podsystemy związane z dwoma wymienionymi GZWP, które są oddzielone od siebie działem wód podziemnych. W zasięgu GZWP Gliwice układ ten ma charakter strumienia nachylo-

nego ze wschodu na zachód i południowy zachód. Jego powierzchnia jest lokalnie zdeformowana przez większe uskoki i obniżenia zwierciadła wody w rejonach ujęć oraz sztolni górniczych. W zasięgu GZWP Lubliniec–Myszków strumień wód podziemnych kieruje się na północny zachód, a jego powierzchnia jest deformowana również przez pobór wody ujęciami oraz przez doliny rzek Stoły i Małej Panwi i przez dyslokacje (Kowalczyk, 2003). Węglanowy kompleks wodonośny triasu jest zasilany z infiltracji opadów atmosferycznych, na wychodniach bezpośrednio, a w obszarach zakrytych – pośrednio, na drodze przesączania się wód z przypowierzchniowych poziomów wodonośnych (Kowalczyk i in., 2002). Infiltracja wód i zanieczyszczeń z powierzchni jest ułatwiona ze względu na wychodnie utworów węglanowych triasu na znacznym obszarze, a także z powodu na udrożnienie górotworu przez eksploatację górniczą rud polimetalicznych, prowadzoną w przeszłości w obszarze wychodni z powierzchni terenu (Sitek i in., 2009).

STAN I METODYKA BADAŃ ZANIECZYSZCZEŃ WÓD PODZIEMNYCH TRICHLOROETENEM I TETRACHLOROETENEM

Badania pod kątem występowania trichloroetenu i tetrachloroetenu w wodach podziemnych serii węglanowej triasu w rejonie Tarnowskich Gór są prowadzone od 1994 r. Wykonywane one były przez rożne zespoły i laboratoria, sporadycznie i w różnych punktach, w szczególności w początkowym okresie (Kowalczyk i in., 2001; Włostowski i in., 2005). W ostatnich latach są one prowadzone systematycznie, przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach (od 2005 r.) oraz przez Zakład Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Uniwersytetu Śląskiego (od 2006 r.), na zamówienie Górnośląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów SA w Katowicach. Różnią się one liczbą punktów poboru próbek do badań i ich lokalizacją, a także częstotliwością opróbowania. WIOŚ prowadzi badania w 12 punktach, dwa razy w roku. ZHiGI prowadzi badania w 7 punktach, cztery razy do roku. Ponadto oznaczenia TCE i PCE z różną częstotliwością wykonują także sami właściciele studni oraz w ramach monitoringu przeglądowego dla czynnych ujęć Państwowa Inspekcja Sanitarna w Bytomiu. Należy jednak zaznaczyć, że PIS przeprowadza badania w przypadku ujęć wielootworowych tylko dla wody zbiorczej. Należy podkreślić, że wszystkie badania są prowadzone w wybranych dostępnych do opróbowania punktach. Są to studnie czynne i rzadziej nieczynne, a także otwory obserwacyjne, a w przypadku badań prowadzonych przez ZHiGI, także sztolnie i cieki powierzchniowe – Stoła i Drama.

Ostatnie opróbowanie wód podziemnych pod kątem występowania TCE i PCE w kompleksie węglanowym triasu wykonano jesienią 2010 roku. Badania przeprowadzono w 27 punktach pomiarowych przez ZHiGI UŚ (fig. 1). Pobór prób i oznaczenia parametrów nietrwałych wód wykonano w terenie zgodnie z zasadami monitoringu wód podziemnych. Pobrano próby z 16 studni i 11 piezometrów. Badania laboratoryjne w celu oznaczenia zawartości TCE i PCE zostały wykonane w akredytowanym laboratorium Ośrodka Badań i Kontroli Środowiska w Katowicach. Pomiary wykonano zgodnie z metodą oznaczania łatwo lotnych chlorowcowych pochodnych węglowodorów przy wykorzystaniu chromatografii gazowej (norma PN-EN ISO 10301:2002). Granice oznaczalności dla trichloroetenu wynoszą od 1,0 do 250,0 μg/dm^3, a dla tetrachloroetenu 1,0–70,0 μg/dm^3.

ROZPRZESTRZENIENIE ZWIĄZKÓW TCE I PCE W WĘGLANOWYM KOMPLEKSIE WODONOŚNYM TRIASU

Aktualny stan rozprzestrzenienia TCE i PCE w wodach podziemnych węglanowego kompleksu wodonośnego triasu dokumentują badania wykonane przez ZHiGI w 2010 r. Ich wyniki zestawiono w tabeli 1 oraz przedstawiono na mapach (fig.2). Z 27 prób wody pobranych do badań wartości sumy TCE i PCE powyżej granicy 1 μg/dm^3 stwierdzono w 15 próbach, w 7 próbach granicę tę przekroczyły tylko wartości TCE, a w 1 próbie wody tylko PCE. Pozostałe 12 prób wody wykazało zawartość TCE i PCE poniżej dolnej granicy oznaczalności czyli 1 μg/dm^3 (fig. 2).

Dopuszczalna zawartość sumy TCE i PCE – 10 μg/dm^3 (wg obowiązującego Rozporządzenia Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi – Dz.U. 2007 nr 61 poz. 417) została przekroczona w 8 z 27 opróbowanych punktów. 5 punktów, w których granica ta została przekroczona są usytuowane na terenie miasta Tarnowskie Góry, a pozostałe 3 są poza jego granicami (fig. 3C).

Maksymalną zawartość TCE, 175 μg/dm^3 stwierdzono w wodzie ze studni nr 2 Tagoru. Wartości powyżej 10 μg/dm^3 stwierdzono w 7 punktach, w tym 5 z nich jest zlokalizowanych na terenie miasta, a dwa są oddalone, o kilka kilometrów od zachodnich jego granic (fig. 2A). W 12 punktach wyniki są poniżej granicy oznaczalności 1 μg/dm^3, z tego aż 10 punktów jest zlokalizowanych na terenie miasta. Wraz z odległością punktu opróbowania od miasta w kierunku zachodnim, północno-zachodnim i południowo-zachodnim zawartości TCE i PCE maleją do poziomu 1,0–4,9 μg/dm^3.

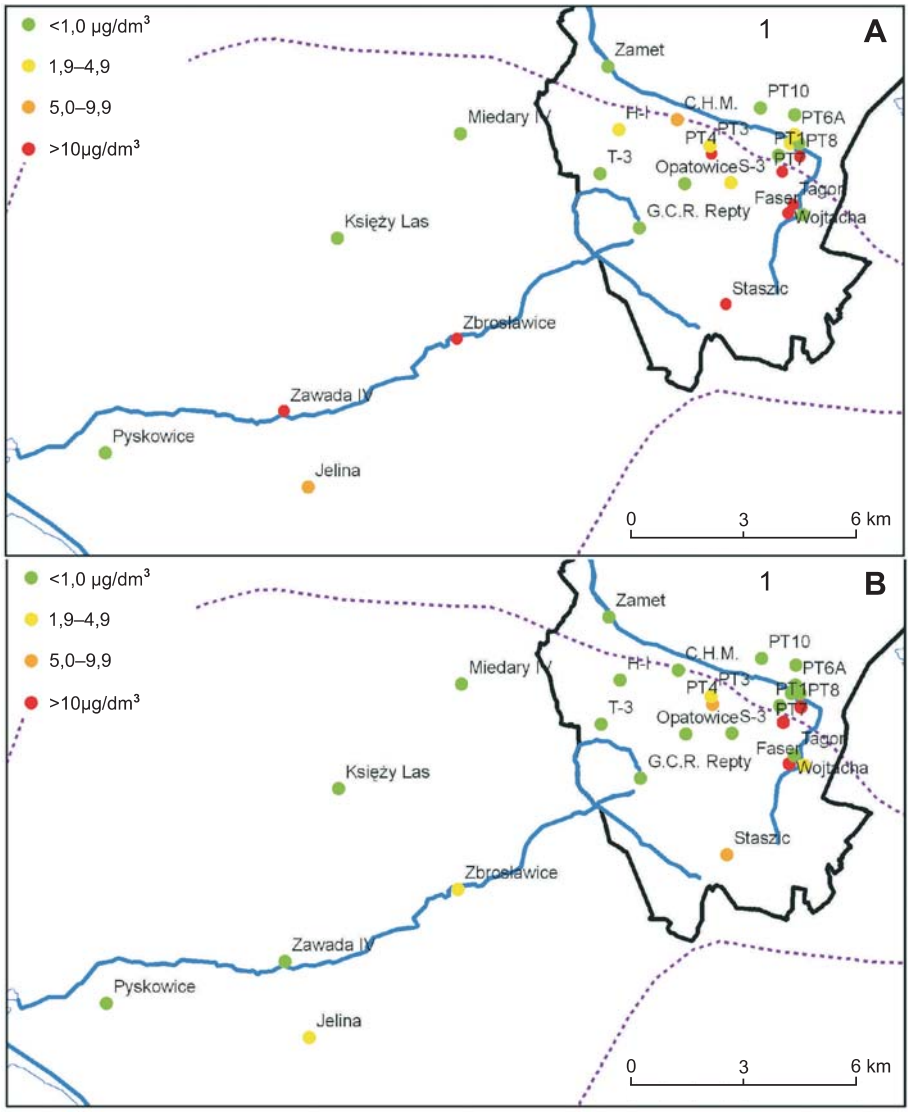

Fig. 2. Stężenie trichloroetenu (A) i tetrachloroetenu (B) w wodach podziemnych serii węglanowej (jesień, 2010)

1 – strefa źródłowa zanieczyszczeń trichloroetenem.

Concentration of trichloroethene (**A**) and tetrachloroethene (**B**) in Triassic carbonate aquifer (autumn 2010)

1 – source zone of trichloroethene contamination

Maksymalna zawartość PCE występuje w wodzie z piezometru PT8, gdzie przekracza górną granicę oznaczalności 70 µg/dm^3. Wartości powyżej 1 µg/dm^3 stwierdzono w 9 punktach, z tego 7 jest zlokalizowanych na terenie miasta, a tylko 2 są poza jego granicami. W 3 punktach wartości PCE przekraczają 10 µg/dm^3. Znajdują się one na terenie miasta. W 14 badanych punktach zlokalizowanych na terenie Tarnowskich Gór wyniki oznaczenia PCE są poniżej granicy oznaczalności (fig. 2B).

Z analizy uzyskanych wyników oznaczeń TCE i PCE wynika, że najwyższe wartości występują w wodach na terenie miasta, w jego wschodniej części. Potwierdza to wcześniejsze ustalenia, że towarzyszą one lokalizacji zakładów przemysłowych, które w przeszłości stosowały lub mogły stosować te związki, jako rozpuszczalniki chemiczne w procesach technologicznych (Kowalczyk i in., 2001). Stwierdzono także fakt, że wyższe wartości tych związków układają się od strefy wartości maksymalnych i maleją w kierunku południowo-zachodnim (fig. 3). W wodach ze studni w Zbrosławicach i w Zawadzie, zawartości TCE okresowo przekraczają 10 µg/dm^3.

Rozkład tych stężeń pokrywa się z regionalnym kierunkiem przepływu wód w węglanowym kompleksie wodonośnym triasu w GZWP Gliwice, a także z większym gradientem hydraulicznym, w tym właśnie kierunku. Widoczny jest także drugi kierunek rozprzestrzeniania się TCE i PCE, zachodni i lekko północno-zachodni (fig. 3). Ten kierunek

Tabela 1

Zawartość chloroetenów w opróbowanych punktach w rejonie Tarnowskich Gór (jesień 2010)

Concentrations of chloroethenes in sampling points in Tarnowskie Góry area (autumn 2010)

Punkt opróbowania	TCE	PCE	TCE+PCE	Potencjał Redox [Eh] pomierzony w terenie
	[μg/dm^3]			[mV]
Zbrosławice	10,1	1,2	11,3	189
PT-11	<1,0	<1,0	–	–156
Księży Las	<1,0	<1,0	–	189
C.H.M.	8,1	<1,0	8,1	151
PT2A	2,7	<1,0	2,7	–35
T-3	<1,0	<1,0	–	183
PT-7	<1,0	<1,0	–	130
Pyskowice	<1,0	<1,0	–	12
2230 PT-10	<1,0	<1,0	–	–96
ZawadaIV	11,0	<1,0	11,0	217
Opatowice	<1,0	<1,0	–	212
G.C.R. Repty	<1,0	<1,0	–	153
MiedaryIV	<1,0	<1,0	–	89
Faser	<1,0	1,1	1,1	210
Wojtacha	165,0	13,0	178,0	333
Tagor	175,0	<1,0	175,0	229
Zamet	<1,0	<1,0	–	53
S-3	2,7	<1,0	2,7	276
Chemet	19,0	58,0	77,0	272
PT6A	3,9	<1,0	3,9	198
PT4	29,0	5,2	34,2	231
Jelina	9,9	1,2	11,1	214
Staszic	43,0	6,6	49,6	215
PT-1	<1,0	<1,0	–	18
PT-3	3,5	1,8	5,3	80
PT8	18,0	>70,0	88,0	249
H'-I	1,2	<1,0	1,2	4
Dopuszczalna zawartość dla wód pitnych			10,0	–

przemieszczania się zanieczyszczeń nawiązuje do kierunku przepływu i spadku hydraulicznego wywołanych eksploatacją wód ujęciami Miedary i być może ujęcia Boruszowice. To ostatnie jest zlokalizowane ok. 5 km na północ od ujęcia Miedary, w dolinie Stoły, poza obszarem przedstawionym na mapie (fig. 1), w obszarze GZWP Lubliniec–Myszków, a więc poza działem wód podziemnych rozdzielających ten zbiornik od GZWP Gliwice. Są to duże ujęcia pobierające odpowiednio ponad 7000 i 9000 m^3 wody na dobę. Na uwagę zasługuje fakt, że rozprzestrzenienie TCE i PCE w kierunku zachodnim ma znacznie mniejszy zasięg niż w kierunku południowo-zachodnim (fig. 3). Jednakże gradient hydrauliczny, mimo depresji, wywołany eksploatacją ujęcia jest tu mniejszy i ma lokalny zasięg.

Istotnym wskaźnikiem potwierdzającym intensywność przemieszczania się zanieczyszczeń TCE i PCE w kierunku południowo-zachodnim jest obserwowany od kilku lat wzrost zawartości tych związków w wodach ze studni w Zbrosławicach i w Zawadzie (fig. 4). Ostatnie pomiary na tych ujęciach wykazały obecność TCE i PCE w wodach na poziomie przekraczającym dopuszczalną zawartość tych związków dla wód pitnych wynoszącą 10 μg/dm^3.

Równocześnie zwraca uwagę brak wyraźnego trendu zmian w wodach z ujęcia Staszic w dość długim okresie obserwacji (fig. 5). Być może występujące od 2007 r. nieco niższe wartości sygnalizują początek trendu spadku zawartości TCE i PCE w wodach tego ujęcia.

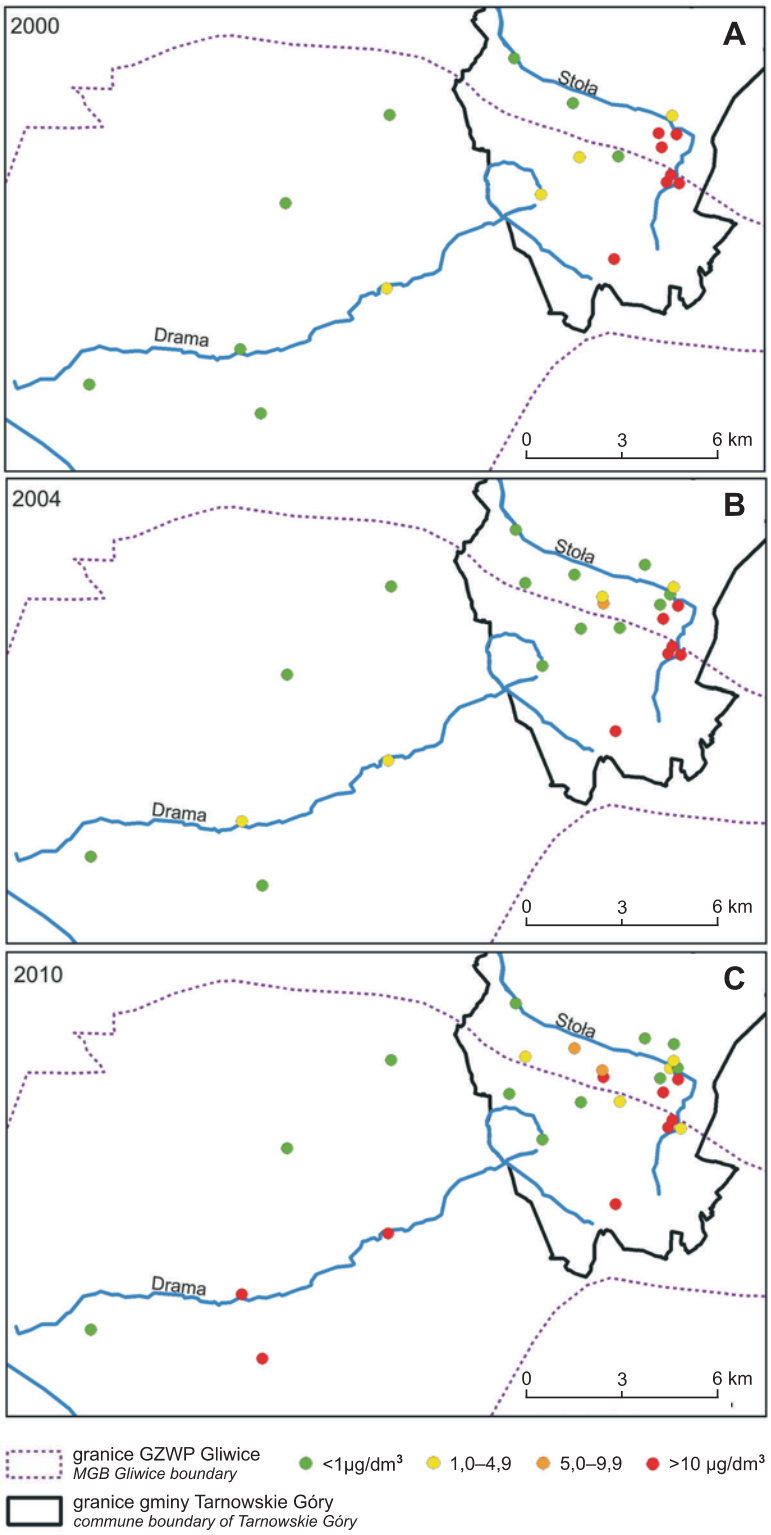

Fig. 3. Stężenie sumy TCE i PCE w latach 2000 (A), 2004 (B) i 2010 (C).

Concentration of sum TCE and PCE in 2000 (A), 2004 (B) i 2010 (C).

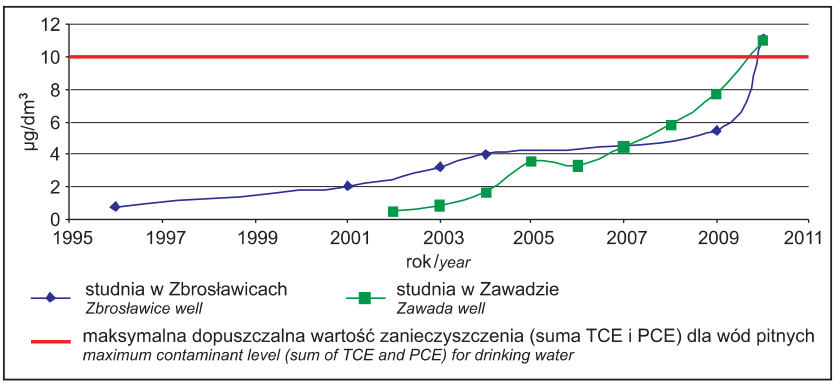

Fig. 4. Stężenie sumy trichloroetenu i tetrachloroetenu w wodzie ze studni w Zbrosławicach i Zawadzie

Concentration of sum trichloroethene and tetrachloroethene in the groundwater from Zbrosławice and Zawada

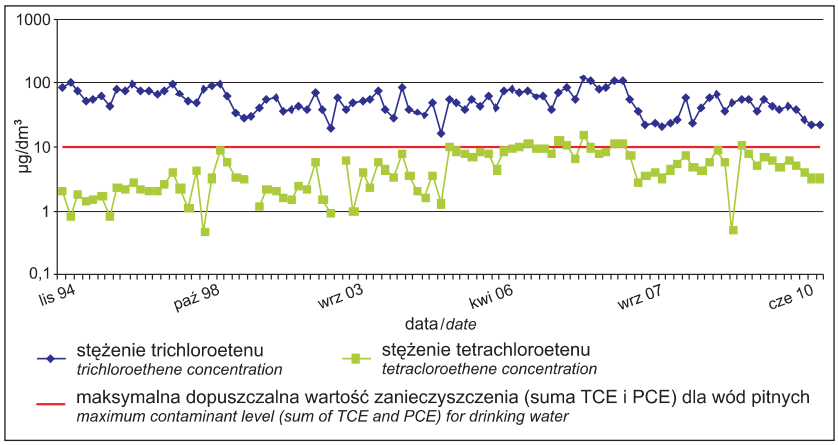

Fig. 5. Stężenie trichloroetenu i tetrachloroetenu w wodzie z ujęcia Staszic

Concentration of trichloroethene and tetrachloroethene in the Staszic intake

DYSKUSJA WYNIKÓW

Na wstępie do dyskusji należy uczynić zastrzeżenie, że badania zawartości TCE i PCE są prowadzone w punktach, które są dostępne do opróbowania, a ponadto, że są to punkty istniejące, nie wykonywane z myślą o prowadzeniu tego typu badań. Nieodpowiednia jest długość filtra, często obejmuje zbyt długi interwał i jest on niewłaściwie zlokalizowany w profilu kompleksu wodonośnego – nie obejmuje jego dolnej części. Brak jest możliwości strefowego opróbowania wody w profilu kompleksu wodonośnego triasu.

Uzyskane wyniki potwierdzają, że źródła TCE i PCE w wodach podziemnych są zlokalizowane we wschodniej części miasta Tarnowskie Góry (fig. 3). Migracja tych związków odbywa się przede wszystkim w formie rozpuszczonej w wodzie. Stąd przenoszenie tych związków na znaczne odległości, rzędu kilkunastu kilometrów. O ich przenoszeniu decyduje przede wszystkim regionalny kierunek przepływu i gradient hydrauliczny, ale także lokalne kierunki wytworzone przez ujęcia studzienne, takie jak Miedary. Nie można jednakże wykluczyć, że związki te przemieszczają się również jako faza niemieszająca się z wodą, albo trudno mieszająca się faza ciężka, DNAPL. Przemieszcza się ona zgodnie z nachyleniem stropu warstwy izolującej od dołu węglanowego kompleksu wodonośnego triasu oraz może stagnować w zagłębieniach tej powierzchni. Na to zjawisko może prawdopodobnie

wskazywać brak trendu spadkowego stężeń TCE i PCE w wodzie z ujęcia Staszic, mimo, że taki spadek nastąpił w obszarze położonym ok. 2–3 km na północny wschód, traktowanym jako źródło tych związków. Ważnym czynnikiem mogącym sprzyjać takiemu przemieszczaniu się omawianych związków jest układ strukturalny węglanowego kompleksu wodonośnego triasu i jego izolującego podłoża. Budowa geologiczna tego obszaru ma skomplikowaną strukturę zrębowo-zapadliskową, a struktury te, jak i uskoki je oddzielające, mają przebieg równoleżnikowy, a niektóre południkowy (Kowalczyk, 2003; Sitek i in., 2009). Sugerowane obszary stanowiące źródło TCE i PCE są zlokalizowane na wyniesieniu strukturalnym. Powierzchnia spągowa kompleksu węglanowego zapada na południe i południowy zachód. Jest to zatem sytuacja, która dodatkowo sprzyja przemieszczaniu się TCE i PCE zgodnie z generalnym nachyleniem warstwy izolującej kompleks węglanowy od dołu. Samo ujęcie Staszic jest zlokalizowane w centrum subniecki tarnogórskiej, w obniżeniu powierzchni spągowej kompleksu wodonośnego i ujmuje praktycznie cały jego profil. Jest to bardzo prawdopodobna strefa stagnacji TCE i PCE (fig. 5), chociaż nie można wykluczyć, że mogą one nadal napływać z kierunku północno-wschodniego. Intensywny drenaż wód przez ujęcie Staszic oraz sztolnie górnicze, szczególnie w przeszłości, prawdopodobnie stanowił barierę, która bardzo skutecznie przeciwdziałała przemieszczaniu się tych zanieczyszczeń na południe i południowy zachód od ujęcia. Może o tym świadczyć fakt, że w ujęciu Zabrze Grzybowice, położonym ok. 9 km na południe, a więc na kierunku spływu wód podziemnych z terenu Tarnowskich Gór, do 2008 r. tych związków nie stwierdzono (Nogajczyk, 2009).

Problem, który pozostaje do dalszych badań, jest zawarty w pytaniu o to, jakie inne czynniki niż hydrodynamiczne i geologiczno-strukturalne wpływają i w jakim stopniu na migrację TCE i PCE w wodach węglanowego kompleksu wodonośnego triasu w omawianym rejonie. Chodzi tu głównie o procesy, które prowadzą do rozpadu tych związków. Będący przedmiotem badań kompleks wodonośny triasu w rejonie Tarnowskich Gór jest wodonoścem odkrytym, w którym generalnie potencjał redox jest wysoki, jak również stosunkowo wysokie są zawartości wolnego tlenu w wodzie. Jest to środowisko dobrze natlenione, aerobowe, w którym procesy rozpadu TCE i PCE przy udziale mikroorganizmów mają niewielki udział albo praktycznie żaden (Bradley, 2000; Lawrence i in., 2006). Głównym czynnikiem przyczyniającym się do spadku stężeń tych związków na drodze przepływu jest ich rozcieńczanie w wodzie. Pewnym potwierdzeniem tego jest fakt, że w badaniach pilotażowych zrealizowanych w 2006 i w 2010 roku nie stwierdzono związków takich jak DCE i VC, będących produktami rozpadu PCE TCE. Nie oznacza to jednak, że lokalnie nie mogą wystąpić warunki sprzyjające rozpadowi na drodze „redukcyjnej dehalogenacji" lub kometabolizmu (Bradley, 2000). Jest to jednakże odrębny problem wymagający specjalnie prowadzonych badań, wykraczający poza ramy niniejszej pracy.

WNIOSKI KOŃCOWE

O aktualnym rozprzestrzenieniu i zawartościach TCE i PCE w wodach podziemnych węglanowego kompleksu wodonośnego triasu w rejonie Tarnowskich Gór decydują przede wszystkim warunki hydrodynamiczne, to znaczy regionalny kierunek przepływu wód i spadek hydrauliczny zwierciadła oraz geologiczno-strukturalne, w tym takie jak nachylenie i ukształtowanie powierzchni utworów izolujących od dołu węglanowy kompleks wodonośny triasu oraz systemy uskoków i spękań.

TCE i PCE migrują w wodzie jako faza rozpuszczona, chociaż istnieje duże prawdopodobieństwo, że przemieszczają się również jako faza ciężka, niemieszająca się z wodą.

Wpływ procesów redukcji przy udziale mikroorganizmów na migrację PCE i TCE w tym środowisku jest najprawdopodobniej ograniczony, z uwagi na wysoki potencjał redox.

Bardziej szczegółowe poznanie mechanizmów i procesów migracji decydujących o przemieszczaniu się TCE i PCE w wodach węglanowego kompleksu wodonośnego triasu wymagałoby wdrożenia specjalnych badań, a przede wszystkim wykonania specjalnych otworów umożliwiających badania strefowe w celu zlokalizowania występowania tych związków w środowisku wód podziemnych, a także zbadania charakteru redox środowiska w profilu pionowym kompleksu wodonośnego. Niezbędne byłoby także uszczegółowienie poznania struktury wodonośca. Dopiero taki kompleks badań, w połączeniu z systematycznymi badaniami fizykochemicznymi wód, umożliwiałby dokładniejsze poznanie złożonego problemu migracji TCE i PCE w krasowo-szczelinowo-porowym środowisku wód podziemnych.

Mając na względzie wysokie koszty takich badań, a także skalę obiektu, wydaje się, że realnym rozwiązaniem pozostaje monitorowanie przebiegu naturalnego samooczyszczania się środowiska wspierane badaniami modelowymi migracji.

Autorzy traktują tę pracę jako wstępną, a jej kontynuacja będzie możliwa po wykonaniu modeli geologiczno-strukturalnego i hydrodynamicznego systemu wodonośnego GZWP Gliwice, oraz modelu migracyjnego z wykorzystaniem programu FeFlow.

Podziękowania. Autorzy pracy pragną podziękować Pani mgr Sabinie Jakóbczyk i Panu mgr Jackowi Wróblowi za pomoc w pracach terenowych.

Badania prowadzono w ramach projektu badawczego Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr N N525 41-0535 pt. „Wpływ terenów miejsko-przemysłowych na zasoby i eksploatację wód podziemnych na przykładzie miasta Tarnowskie Góry i Tarnów".

LITERATURA

BARDZIŃSKI W., LEWANDOWSKI J., 2000 — Budowa geologiczna rejonu Tarnowskich Gór. W: Środowisko przyrodnicze regionu Górnośląskiego – stan poznania, zagrożenia i ochrona. *Pr. Wydz. Nauk o Ziemi*, **2**, Sosnowiec.

BRADLEY P. M., 2000 — Microbial degradation of chloroethenes in groundwater systems. *Hydrogeol. J.*, **8**: 104–111.

DZIENNIK USTAW Nr 61, poz. 417 — Rozporządzenie Ministra Zdrowia, z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

FRISS A.K., 2006 — The potential for reductive dechlorination after thermal treatment of TCE-contaminated aquifers. Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark.

KOWALCZYK A., RUBIN H., RUBIN K., TRYBULEC K., 2001 — Zanieczyszczenie wód podziemnych trichloroetenem i tetrachloroetenem. *W*: Współczesne Problemy Hydrogeologii, t. 10, 2. UWroc., Wrocław.

KOWALCZYK A., RUBIN H., RUBIN K., LEWANDOWSKI J., BARDZIŃSKI W., 2002 — Kształtowanie się warunków hydrogeologicznych szczelinowo-krasowego kompleksu wodonośnego triasu w rejonie Tarnowskich Gór. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **404**: 29–50.

KOWALCZYK A., 2003 — Formowanie się zasobów wód podziemnych w utworach węglanowych triasu śląsko–krakowskiego w warunkach antropopresji. Wyd. UŚl., Katowice.

LAWRENCE A., STUART M., CHENEY C., JONES N., MOSS R., 2006 — Investigating the scale of structural controls on chlorinated hydrocarbon distributions in the fractured-porous unsaturated zone of a sandstone aquifer in the UK. *Hydrogeol. J.*, **14**, 8: 1470–1482.

NOGAJCZYK M., 2009 — Skład chemiczny wód podziemnych węglanowego kompleksu wodonośnego triasu ujęcia Zabrze-Grzybowice. Praca magisterska, archiwum WNoZ, UŚ, Sosnowiec.

RÓŻKOWSKI A. (red.), 1990 — Szczelinowo-krasowe zbiorniki wód podziemnych Monokliny Śląsko-Krakowskiej i problemy ich ochrony. CPBP 04.10.09. z. 57 Wyd. SGGW-AR nr 57, Warszawa.

SITEK S., KOWALCZYK A., MAŁOLEPSZY Z., 2009 — Szczegółowy model struktury 3D zbiornika GZWP Gliwice nr 330 *Biul. Państw. Inst.Geol.*, **436**: 155–160.

WIEDEMEIER T.H., RIFAI H. S., NEWELL C. J., WILSON J. T., 1999 — Natural attenuation of fuels and chlorinated solvents in the subsurface. Wiley, New York.

WŁOSTOWSKI J., OFICJALSKA H., Krawczyński J., Krawczyńska B., Pietrzak M., RODZOCH A., MUTER K., 2005 — Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne dla ustanowienia obszaru ochronnego zbiornika wód podziemnych Gliwice GZWP nr 330. Arch. U. Marsz., Katowice.

SUMMARY

Trichloroethene and tetrachloroethene have been widely used in a variety of industries until scientists began to realise of the hazards of chlorinated solvents for people health and for restoration of groundwater resources.

Careless use have resulted in their spillage to land and ultimately, contamination of groundwater in the Tarnowskie Góry area. Authors analysed historic data and conducted own field measurements in 2010 with the intention of assessment occurrence of TCE and PCE contamination, their extent and main direction of migration.

General migration directions of the contamination are in conformity with the directions of groundwater flow and slope of the bottom of the aquifer. For the fate of these toxic chemicals in groundwater many factors have influence. The more important are complicated water movement in the fractured-karst-porous aquifer system, anthropogenic disturbances of flow by intensive long- lasting changing in water withdrawal and old existing galleries of the abandoned Pb-Ag and Fe ore mines.

The contamination plume is spreading out up to 15 km in the west direction from the potential sources of the contamination in the city. TCE and PCE migration occurred as the aqueous phase, however migration as DNAPL phase is also possible.

Occurrences of reduction processes carried out by microorganisms are rather limited in research area cause of high redox potential in whole Triassic carbonate aquifer.

More accurate and precise recognition of mechanisms and migration processes of TCE and PCE in fractured-karst-porous aquifer require implementation of advanced investigation and additional boreholes for depth specific sampling procedure.

This paper is the initial step for develop the knowledge of behaviour and fate of TCE and PCE in the research area. The investigation concerned occurrence and migration of TCE and PCE in Triassic carbonate aquifer will be continued after created 3D structural and flow model.