

ROZPOZNANIE ZASIĘGU ZANIECZYSZCZEŃ WÓD PODZIEMNYCH ZWIĄZKAMI CHLOROWCOPOCHODNYMI NA PRZYKŁADZIE UJĘĆ W BORNEM SULINOWIE I NOWEJ DĘBIE

THE STUDY OF GROUNDWATER CONTAMINATION BY ORGANIC CHLORINE COMPOUNDS ON THE EXAMPLE OF INTAKES IN BORNE SULINOWO AND NOWA DĘBA

RAFAŁ JANICA¹, JACEK OTWINOWSKI¹, AGNIESZKA BRZEZIŃSKA¹

Abstrakt. Badania zawartości tri- (TCE) i tetrachloroetenu (PCE) w wodach podziemnych, ujmowanych na potrzeby zaopatrzenia ludności, na szeroką skalę rozpoczęły się w Polsce w 2008 r. i doprowadziły do ujawnienia zanieczyszczeń na wielu ujęciach w Bornem Sulinowie i Nowej Dębie. W artykule omówiono badania modelowe wykonane metodą rozwiązania zadania odwrotnego i autodopasowania parametrów na potrzeby określenia lokalnych kierunków przepływu, w warunkach niedostatecznego rozpoznania hydrogeologicznego, na przykładzie ujęcia w Bornem Sulinowie. Udało się tam z wystarczającą wiarygodnością odtworzyć warunki hydrogeologiczne i powiązać istniejące potencjalne ogniska zanieczyszczeń ze studniami, w których stwierdzono zanieczyszczenie. Zaprezentowano również metodę opróbowania wód podziemnych z wykorzystaniem techniki stożków gubionych zastosowaną w trakcie prac zrealizowanych w rejonie ujęcia w Nowej Dębie. Zastosowanie tej metody może znacznie obniżyć koszty i przyspieszyć prace, szczególnie w warunkach braku izolacji i jednorodnego wykształcenia warstwy wodonośnej. Autorzy mają nadzieję, że artykuł stanie się przyczynkiem do dyskusji na temat metodyki rozwiązywania problemów zanieczyszczeń tri- i tetrachloroetenem w warunkach polskich.

Słowa kluczowe: związki chlorowcopochodne, trichloroeten, tetrachloroeten, zanieczyszczenie wód podziemnych, ujęcia wód podziemnych.

Abstract. Large-scale studies on the content of tri- (TCE) and tetrachloroethene (PCE) in groundwater that is used as drinking water supplies, have been conducted in Poland since 2008. As a result, TCE and PCE have been detected in numerous locations including water intakes in Borne Sulinowo and Nowa Dęba. This paper describes model tests on the example of the water intake in Borne Sulinowo, with use of an inverse task and parameters auto-adjustment methods in order to estimate local groundwater flow directions under the conditions of insufficient hydrogeological reconnaissance. The methods enabled reliable reconstruction of hydrogeological conditions as well as defining relations between potential contamination sources and contaminated water intakes. Additionally, the lost cone drilling method used for groundwater sampling is presented on the example of field work conducted in the area of Nowa Dęba water intake. The above-mentioned method significantly reduces costs and time related to field work, particularly in the areas where the aquifer is unconfined and has a homogeneous structure. The authors hope that this paper will trigger off the discussion on the methods of dealing with tri- and tetrachloroethene contamination in Poland.

Key words: chlorinated organic compounds, trichloroethene, tetrachloroethene, groundwater pollution, groundwater intakes.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa;
e-mail: rafal.janica@pgi.gov.pl, jacek.otwinowski@pgi.gov.pl, agnieszka.brzezinska@pgi.gov.pl

WSTĘP

Źródłem pochodzenia chlorowanych węglowodorów alifatycznych (trichloroeten – TCE i tetrachloroeten – PCE) w wodach podziemnych jest działalność człowieka. Obecnie użytkowanie TCE i PCE podlega regulacjom prawnym, które skutecznie zapobiegają niewłaściwemu zagospodarowaniu odpadów powstałych w wyniku zużycia rozpuszczalników, w których skład wchodzi. Niestety, przez całe dziesięciolecie ich zagospodarowanie odbywało się w sposób niekontrolowany i często ze szkodą dla środowiska naturalnego.

Badania zawartości TCE i PCE w wodach podziemnych, ujmowanych na potrzeby zaopatrzenia ludności, na szeroką skalę rozpoczęły się w Polsce w 2008 r., po wejściu w życie zmian w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia (DzU Nr 61, poz. 417).

Powszechne oznaczenia TCE i PCE w wodach podziemnych wykazały, że w wielu ujęciach ich stężenia przekraczają wartości dopuszczalne (Σ TCE i PCE = 10 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$). W kilkunastu przypadkach w skali całego kraju zarówno podwyższone stężenia TCE i PCE, jak i liczba studzien, w których je stwierdzono spowodowały zagrożenie dla funkcjonowania ujęć.

Przykładem takiej sytuacji są ujęcia w Bornem Sulinowie oraz Nowej Dębie, gdzie zanieczyszczenie wód podziemnych związkami chlorowcopochodnymi stwierdzono w wyniku rutynowych badań jakości wody surowej i podawanej do sieci wodociągowej. W obydwu przypadkach silne

zanieczyszczenie wód podziemnych stwierdzono w kilku studniach oraz piezometrach.

W latach 2010–2012, na skutek zgłoszenia przez Prezesa Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej trudnej i niejednoznacznej sytuacji, stwarzającej zagrożenie dla ujęć wód podziemnych w Bornem Sulinowie oraz w Nowej Dębie, zespół Państwowej Służby Hydrogeologicznej (PSH) ds. badań zasięgów zanieczyszczeń zaistniałych w wyniku zdarzeń incydentalnych, awarii lub katastrof podjął się przeprowadzenia prac w celu rozpoznania zasięgu zanieczyszczenia związkami chlorowcopochodnymi, wskazania potencjalnych ognisk zanieczyszczeń oraz określenia ich oddziaływania na istniejące ujęcia.

Prace badawczo-rozpoznawcze w obydwu lokalizacjach prowadzono w rejonie terenów użytkowanych niegdyś przez wojsko. Ujęcia wód podziemnych i pierwsze sieci wodociągowe, w obydwu miastach, wykonano w latach 30. XX w. na potrzeby rozwijających się ośrodków wojskowo-zbrojeniowych. Rozbudowywane i modernizowane, od tego czasu zaopatrują w wodę okolicznych mieszkańców.

Na przykładzie ujęcia w Bornem Sulinowie przedstawiono teoretyczne rozwiązanie zadania geologicznego. Natomiast na przykładzie ujęcia w Nowej Dębie opisano rzadko stosowany sposób prowadzenia prac terenowych, wykonywanych w celu poboru próbek wody podziemnej.

BADANIA MODELOWE NA UJĘCIU W BORNEM SULINOWIE

Ujęcie w Bornem Sulinowie znajduje się w strefie wododziału pomiędzy jeziorami Pile i Długie (Rubin K., Rubin H., 2004). Na terenie badań, od powierzchni występują piaski i żwiry tzw. sandru Piławy oraz piaski fluwioglacjalne dolin wód roztopowych, przykrywające pagóry moren dennych (Lewandowski J. i in., 2000).

Ujęcie, składające się z 12 studzien rozmieszczonych barielowo stanowi tu jedyne źródło zaopatrzenia w wodę. Z tego względu nie ma ujęć wód podziemnych oraz studzien gospodarskich, w których istniałaby możliwość wykonania pomiarów położenia zwierciadła wody, w konsekwencji brak też danych hydrogeologicznych z próbnych pompowań oraz informacji o stanie chemicznym wód podziemnych. Rozpoznanie hydrogeologiczne (dokumentacja odtworzeniowa) wykonane dla samego ujęcia było bardzo ograniczone, ze względu na charakter jego pracy w systemie lewarowym, uniemożliwiającym selektywne pompowania i opróbowania poszczególnych studzien. W okresie prowadzenia prac były dostępne jedynie trzy piezometry położone poza terenem ujęcia, służące do monitoringu osłonowego zreaktywowanego wysypiska odpadów, znajdującego się w odległości ok. 1300 m.

Pomimo deficytu danych, podjęto się realizacji tego zadania z zastosowaniem modelu hydrodynamicznego. Wcześniejsze prace realizowane w tym rejonie przez inne zespoły badawcze oparte na modelach o znacznym zasięgu (obejmujące ujęcia o rozpoznanych parametrach hydrogeologicznych) nie dały wyników zadowalających w skali lokalnej, dlatego autorzy zdecydowali się na wykonanie modelu o ograniczonym zasięgu (4 x 4 km) metodą zadania odwrotnego (Dąbrowski i in., 2010).

W trakcie prac terenowych, prowadzonych w celu rozpoznania położenia zwierciadła wód podziemnych, wykonano ogółem 23 ręczne sondowania (114,3 mb). W 17 z nich osiągnięto zwierciadło wód podziemnych i zabudowano tymczasowe filtry ϕ 50 mm. Położenie zwierciadła wód w sondowaniach ręcznych, w piezometrach w rejonie ujęcia oraz w jeziorach Pile i Długim zaniwelowano do najbliższych punktów osnowy geodezyjnej. Uzyskane rzędne wykorzystano do założenia warunków I (*constant head*) i III (*river*) rodzaju oraz w procesie tarowania modelu (*targets*). Na podstawie dostępnych map topograficznych w skali 1:10 000 wykonano numeryczny model powierzchni terenu. Tak wykonany model powierzchni terenu oraz powierzchnia

piezometryczna wód podziemnych uzyskana na podstawie interpolacji danych liniowych (hydroizohipsy) posłużyły do typowania lokalizacji sondowań badawczych.

Na podstawie zróżnicowania morfologicznego (misy jeziorne, równiny sandrowe, rozcięcia erozyjne, pagóry morenowe) wydzielono strefy, które powinny charakteryzować się zbliżonymi parametrami hydrogeologicznymi. W procesie tarowania modelu, przy pomocy modułu PEST wchodzącego w skład programu GW Vistas, wykonano dopasowanie wartości współczynnika filtracji w tych strefach. Przedział zmienności tego parametru określono na 25–200 m/d, przez analogię z innymi obszarami sandrowymi oraz na podstawie dokumentacji ujęcia. Wartości współczynnika filtracji uzyskane w trakcie tarowania modelu zestawiono w tabeli 1.

Obok wartości współczynnika filtracji w procesie tarowania wykonano autodopasowanie wartości konduktancji warunku III rodzaju (*riverC*), które wstępnie określono na podstawie informacji o batymetrii jezior Pile i Długiego oraz niwelacji stanu ich zwierciadła wody.

Spąg warstwy wodonośnej odwzorowano płaszczyzną znajdującą się na rzędnej 115 m n.p.m. Rzędną określono na podstawie danych z profili studzien ujęcia. Pracę ujęcia symulowano blokami z warunkiem II rodzaju (*well*) na podstawie danych uzyskanych od użytkownika. Zasilanie przyjęto na podstawie wysokości opadu efektywnego, a jego intensywność zróżnicowano jedynie na podstawie zagospodarowania terenu (przy jednolitej budowie utworów powierzchniowych). Wyróżniono trzy klasy wartości zasilania: I – 0,000270; II – 0,000405; III – 0,000540 m³/d/m². Maksymalne różnice pomiędzy zwierciadłem pomierzonym a obliczonym w całej domenie modelu wynoszą –2,41 m oraz +2,03 m. Różnice pomiędzy zwierciadłem pomierzonym a obliczonym w rejonie ujęcia są niewielkie i przeważnie wynoszą ok. –0,3 m (fig. 1). Pozwala to założyć, że układ hydrodynamiczny odtworzono z wystarczającą wiarygodnością.

Tabela 1

Wartości współczynnika filtracji uzyskane w trakcie autodopasowania

Coefficients of permeability obtained during the auto-adjustment process

Nr strefy	Wartość współczynnika filtracji [m/d]
1	45,09
2	55,50
3	43,59
4	200,00*
5	51,12
6	67,23
7	39,57
8	47,71
9	50,52
10	131,97
11	44,46
12	25,00**
13	94,48

* górna granica zakresu dopasowania,

** dolna granica zakresu dopasowania

* upper line of adjustment range

** lower line of adjustment range

Na wytarowanym modelu wykonano tzw. analizę wstecz kierunków przepływu wód podziemnych od studzien nr 1, 2, 4, 5 oraz piezometru A (fig. 2), gdzie stwierdzono zanieczyszczenie TCE i PCE.

Przeprowadzona analiza wskazuje, że najbardziej prawdopodobnym miejscem przedostawania się zanieczyszczeń do wód podziemnych są rejonu szczytów hal (nr 1 i 2 na

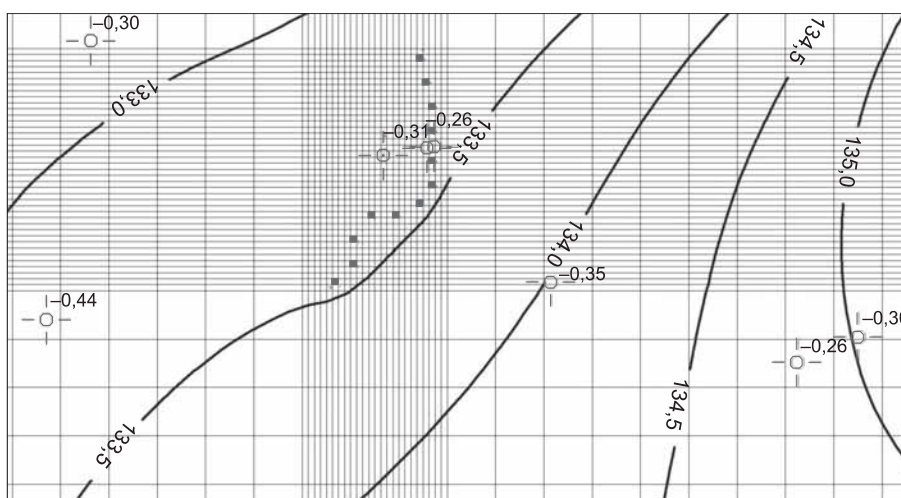


Fig. 1. Hydroizohipsy obliczone i różnice pomiędzy zwierciadłem obliczonym a pomierzonym w rejonie ujęcia

Calculated piezometric contours and differences between calculated and measured groundwater levels

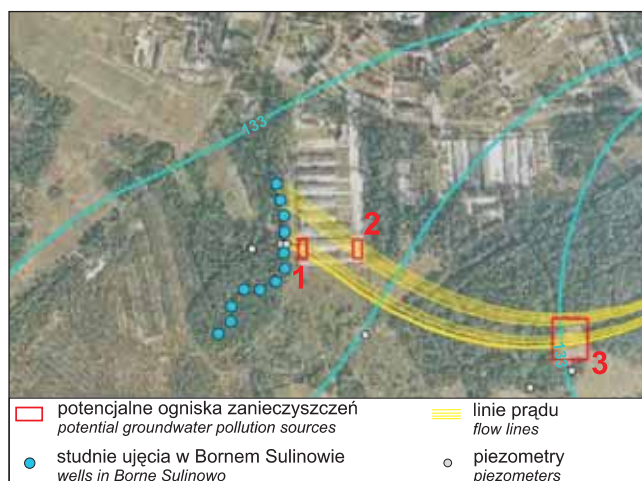


Fig. 2. Linie prądu na tle potencjalnych ognisk zanieczyszczenia

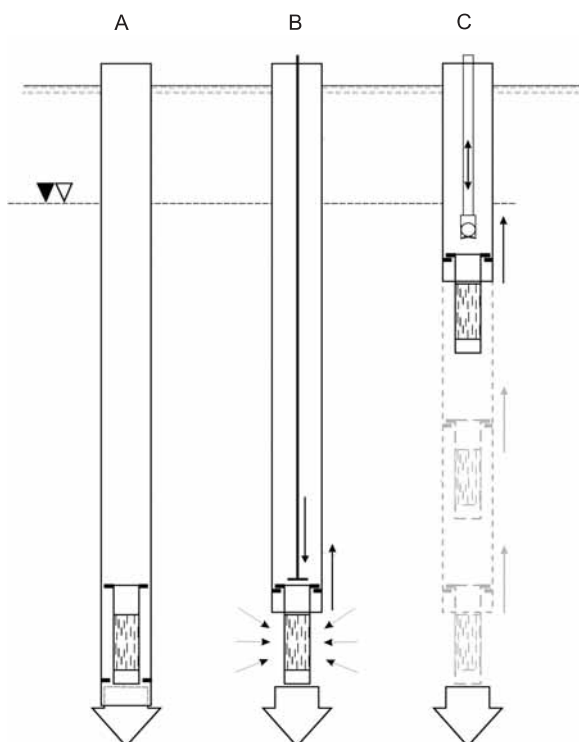
Groundwater flow lines and potential groundwater pollution sources

METODA OPRÓBOWANIA WÓD PODZIEMNYCH ZREALIZOWANA NA UJĘCIU W NOWEJ DĘBIE

Opróbowanie wód podziemnych realizowane w Bornem Suliniowie wykonano przy użyciu tradycyjnych technik wiertniczych. Polegały one na wykonywaniu odwiertów świdrem ślimakowym $\varnothing 90$ mm i wkręcaniu kolumny filtracyjnej $\varnothing 32$ mm zakończonej zawiertką. Zebrane doświadczenia skłoniły autorów do zastosowania innej techniki opróbowania warstwy wodonosnej. Opróbowanie na ujęciu

figurze 2), znajdujących się na południowym krańcu zakładu drzewnego, przylegającego do ujęcia. Nie można też wykluczyć oddziaływania zrekultywowanego wysypiska odpadów (nr 3 na figurze 2), zlokalizowanego na wschód od ujęcia.

Zastosowany model hydrodynamiczny wytarowany metodą autodopasowania, przy wszystkich uproszczeniach i niedoskonałościach jest narzędziem o wiele skuteczniejszym niż metody analityczne. Pozwala on na analizę kierunków przepływu wód podziemnych w rejonie eksploatowanego ujęcia wielootworowego i powiązanie zanieczyszczenia stwierdzonego w poszczególnych studniach z potencjalnymi ogniskami zanieczyszczeń. Przy znacznym deficycie w rozpoznaniu hydrogeologicznym rejonu badań, modelowe rozwiązanie zadania odwrotnego może być jedyną drogą do osiągnięcia wiarygodnych wyników.



w Nowej Dębie wykonano z zastosowaniem mało powszechnej metody stożków gubionych, przy zastosowaniu wciskarki hydraulicznej. Zaletą tej metody jest jej niewielka inwazyjność oraz możliwość przeprowadzenia opróbowania w dokładnie zaprojektowanym, ograniczonym przelocie warstwy wodonosnej. Ponadto metoda ta jest zdecydowanie tańsza. Opróbowanie na ujęciu w Nowej Dębie przeprowadzono w celu uzyskania informacji o zanieczyszczeniu TCE i PCE stopowego przelotu warstwy wodonosnej. Zanieczyszczenie spągowej części warstwy wodonosnej, wykształconej głównie w postaci żwirów, pospółek i piasków gruboziarnistych (Szajn J., 1987; Włostowski J., 2000) ujmowanych studniami ujęcia jest dobrze rozpoznane dzięki piezometrom stanowiącym sieć monitoringową ujęcia. Pobór próbek wykonywano za pomocą wciskanej w grunt kolumny rur $\varnothing 38$ mm zakończonej stalowym stożkiem traconym. Litologię przebijanych utworów określano na podstawie wskazań manometru urządzenia hydraulicznego. Po osiągnięciu maksymalnej głębokości wciskania kolumnę rur

←

Fig. 3. Opróbowanie warstwy wodonosnej z wykorzystaniem metody stożków gubionych

A – wciśnięcie lub wibrowanie kolumny stalowej ze stożkiem traconym i filtrem szczelinowym PCV; B – uwolnienie stożka z jednoczesnym wysunięciem filtra; C – opróbowanie wybranych interwałów po podciągnięciu kolumny z filtrem za pomocą przewodu $\varnothing 10$ mm z zaworem zwrotnym, kulowym

Sampling of the aquifer by means of the lost cone drilling method

A – pressing column expendable steel cone filter and slotted PVC; B – the release of a cone with simultaneous sliding out the filter; C – sampling of selected intervals after pulling column filter through pipes $\varnothing 10$ mm with valve

podciągano kilkadziesiąt centymetrów do góry w celu uwolnienia stożka traconego, przy jednoczesnym uwolnieniu filtra szczelinowego PCV \varnothing 15 mm.

Po odsłonięciu filtra następował dopływ wody do kolumny rur. Próbkę wody pobierano przy pomocy zestawu składającego się z rurki PE \varnothing 10 mm zakończonej zaworem zwrotnym. Opróbowanie prowadzono strefowo podciągając kolumnę do góry (fig. 3). Próbkę wody pobierano do butelek z ciemnego szkła o pojemności 125 ml. Przez cały czas przechowywania na terenie badań oraz transportu próbki były schłodzone, a czas ich dostarczenia do laboratorium nie przekroczył 48 h.

Z 10 sondowań badawczych pobrano 33 próbki wód podziemnych w interwale głębokości od 3,2 do 13,5 m. W 27 próbkach stwierdzono występowanie TCE, który jest tu głównym czynnikiem zanieczyszczającym. Jego zawartości wahały się od 0,3 (próg oznaczalności) do 851,0 $\mu\text{g/l}$. Występowanie PCE stwierdzono w 19 próbkach, jego zawartość wynosiła od 0,3 do 160,0 $\mu\text{g/l}$.

Z analizy zmienności stężeń związków chlorowcopochodnych w układzie pionowym wynika, że zarówno zawartość TCE, jak i PCE na analizowanym obszarze ogólnie wzrasta wraz z głębokością pobrania próbki.

PODSUMOWANIE

Prawidłowe wykonanie badań wymaga przeprowadzenia prac studialnych w celu określenia lokalnych kierunków i oszacowania prędkości przepływu wód podziemnych. Na podstawie przeprowadzonej analizy należy dobrać odpowiednią metodę działań. Najskuteczniejszym narzędziem, które pozwala na zrealizowanie tego zadania wydaje się być modelowanie hydrodynamiczne. W przypadku niedostatecznego rozpoznania hydrogeologicznego warto rozważyć

skonstruowanie modelu opartego na rozwiązaniu zadania odwrotnego. Wykonanie prac terenowych, polegających na opróbowaniu wód podziemnych w strefie spodziewanego zanieczyszczenia, można efektywnie wykonać przy użyciu mało powszechnej techniki wciskania lub wwibrowywania małośrednicowej kolumny rur, która po niewielkich modyfikacjach może w znacznym stopniu zastąpić drogie i czasochłonne prace wiertnicze.

LITERATURA

- DĄBROWSKI S., KAPUŚCIŃSKI J., NOWICKI K., PRZYBYŁEK J., SZCZEPAŃSKI A., 2010 — Metodyka modelowania matematycznego w badaniach i obliczeniach hydrogeologicznych. Poradnik. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
- LEWANDOWSKI J., HELIASZ Z., KLIMEK K., 2000 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1: 50 000, arkusz Sulinowo (198). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- RUBIN K., RUBIN H., 2004 — Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, arkusz Sulinowo (198). WNoZ UŚL., Sosnowiec.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r., w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (DzU Nr 61, poz. 417).
- SZAJN J., 1987 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, arkusz Baranów Sandomierski (921). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WŁOSTOWSKI J., 2000 — Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, arkusz Baranów Sandomierski (921). Państw. Inst. Geol., Warszawa.

SUMMARY

Proper research requires a study of local flow directions and groundwater flow speed estimation. Appropriate methodology should be chosen on the basis of conducted analysis. Hydrodynamic modelling seems to be the most effective tool to study local flow directions and to estimate groundwater flow speed. In the case of poor hydrogeological reconnaissance, it is recommended to construct a model based on

the inverse task solution. Field work, including groundwater sampling in the area of potential pollution, can be conducted with use of a technique of pressing or hammering a small diameter pipe column. This technique, after minor adaptation, can replace quite expensive and time-consuming drillings.

