

Rozpoznanie zanieczyszczeń w wodach podziemnych w rejonie byłej Fabryki Farb i Lakierów „Polifarb” w Gdańsku

Anna Szelewicka¹, Tomasz Kowalewski¹, Mirosław Lidzbarski¹, Zbigniew Kordalski¹

Identification of groundwater pollution in the area of the former “Polifarb” paint and varnish factory in Gdańsk. *Prz. Geol.*, 64: 399–407.

Abstract. The research was carried out in order to identify and assess groundwater contamination in the area of the former factory of paints and varnishes “Polifarb” in Gdańsk. A network of temporary boreholes allowed specifying the size of the active sources of contamination and estimating the volume of contaminated rocks and the amount of polluted water. Two zones of polluted water have been identified, with different specific substances. In the first zone, located in the area of the former “Polifarb” factory and close behind it, the water contained polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), volatile aromatic hydrocarbons (BTX), phenols, petrol and mineral oils. In the second zone, chloroorganic compounds (VOC) were detected. Diagnostic modelling and prognostic simulations allowed a preliminary evaluation of the rate of pollutants migration towards the wells of the “Czarny Dwór” groundwater intake.

Keywords: groundwater pollution, organic contaminants

W rejonie byłej Fabryki Farb i Lakierów „Polifarb” w Gdańsku skażenie wód podziemnych substancjami ropopochodnymi (Szymański i in., 2006) stwierdzono po raz pierwszy w 2006 r. W efekcie badań hydrogeologicznych (2012 r.), których celem była pełna diagnoza stanu chemicznego tych wód na terenie Gdańska (monitoring diagnostyczny), potwierdzono obecność związków organicznych na powierzchni zwierciadła wód podziemnych oraz w głębszych partiach warstwy wodonośnej – piezometr P-35A i P-35B (Kordalski i in., 2012).

Do czasu podjęcia szczegółowych badań, zasięg i tempo przemieszczania się zanieczyszczeń był niezany. Nie było można wykluczyć, że wody z tej strefy stanowią zagrożenie dla ujęcia komunalnego „Czarny Dwór”, znajdującego się w pobliżu obszaru badawczego. Pod uwagę wzięto także możliwość dopływu wód zanieczyszczonych z sąsiednich terenów.

Degradację wód podziemnych powiązano przede wszystkim z historią byłej Fabryki Farb i Lakierów „Polifarb”. W zakładzie, który rozpoczął działalność w 1923 r., wytwarzano półfabrykaty, emalie, lakiery oraz farby: ogólnego zastosowania, dla przemysłu graficznego oraz okrętowego, przeciwkorozyjne i rdzochronne. Część substancji stosowanych w procesie technologicznym magazynowano w zbiornikach podziemnych. Do produkcji farb stosowano substancje barwiące, terpentyny, żywice i rozpuszczalniki. W tamtym okresie jako rozpuszczalników używano przede wszystkim ksyłenu i toluenu. Wyniki prac badawczych prowadzonych przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy w latach 2013–2014 wykazały wysoką zawartość tych substancji w wodach podziemnych.

W połowie lat 90. XX w. zakład zakończył swoją działalność produkcyjną. W 2005 r. przyjęto nowy plan zagospodarowania przestrzennego tej części Gdańska. Po rekultywacji została ona przeznaczona pod zabudowę mieszkaniową i handlową.

Przed przystąpieniem do prac terenowych zebrano i rozpatrywano pod kątem sozologicznym dane archiwal-

ne, dotyczące zakładów zlokalizowanych na obszarze badań. Szczegółowo analizowano materiały związane przede wszystkim z działalnością produkcyjną byłej Fabryki Farb i Lakierów „Polifarb”. Opracowano także mapę dynamiki wód podziemnych.

W celu dokładnego rozpoznania stanu chemicznego środowiska gruntowo-wodnego zostało zaprojektowanych 15 tymczasowych otworów badawczych (od OA-1 do OA-15) o sumarycznej głębokości 384 m. W trakcie prac wiertniczych opróbowano warstwę wodonośną w całym profilu pionowym, indeksując próbki numerami od 1 do 3, np.: OA-1/1 – strop warstwy, OA-1/2 – środkowa część, OA-1/3 – spąg warstwy wodonośnej. Łącznie pobrano 34 próbki wody. Ponadto wykonano opróbowanie istniejących studni i piezometrów (Lidzbarski i in., 2014). Najważniejsze wyniki tych prac oraz zastosowane metody badawcze prezentuje niniejsza publikacja.

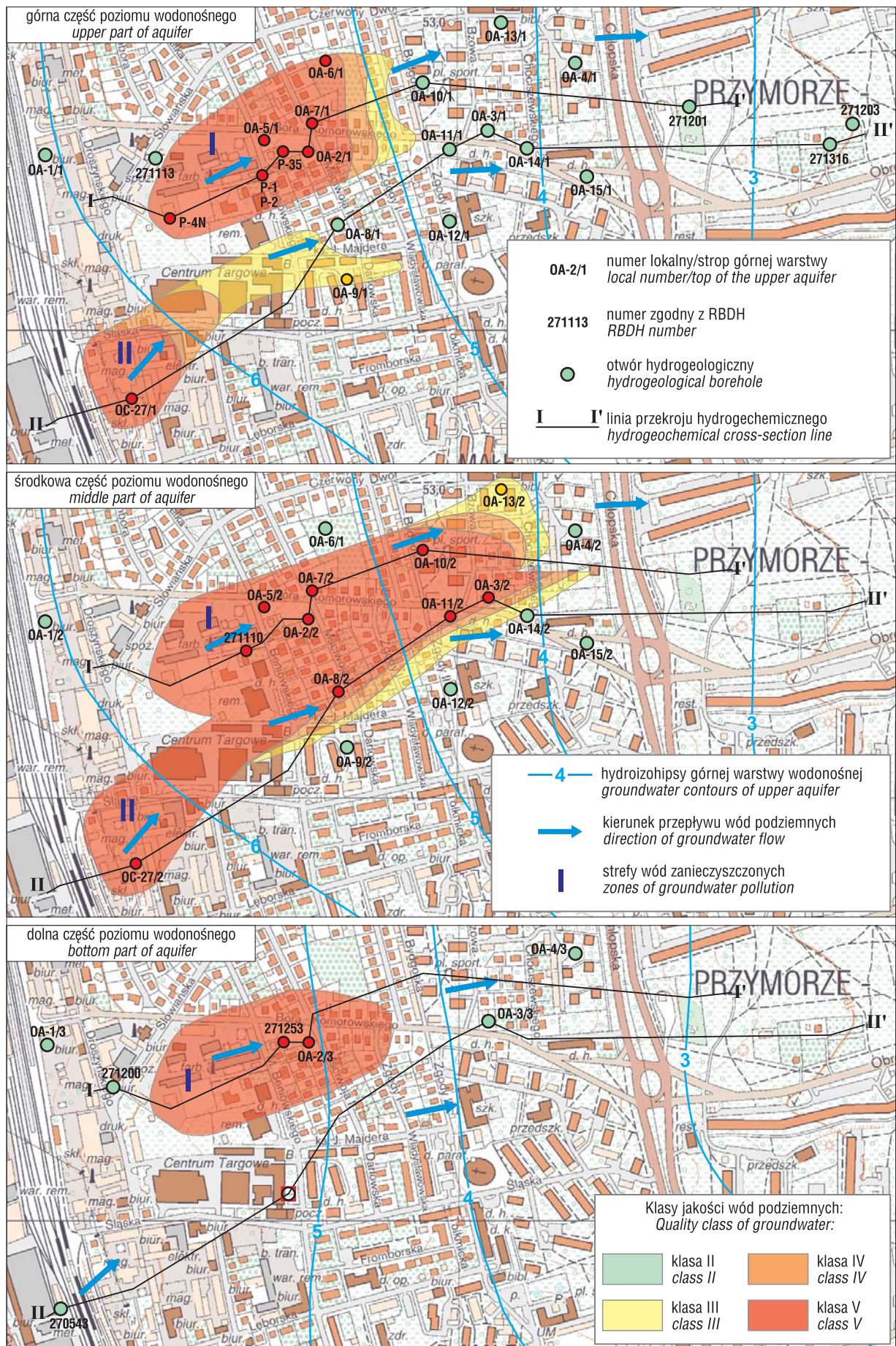
CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Obszar prac badawczych o powierzchni ok. 0,65 km² znajdował się na terenie Tarasu Nadmorskiego, został wyznaczony w dzielnicy Gdańsk-Przymorze Małe, między al. Grunwaldzką a ul. Chłopską (ryc. 1).

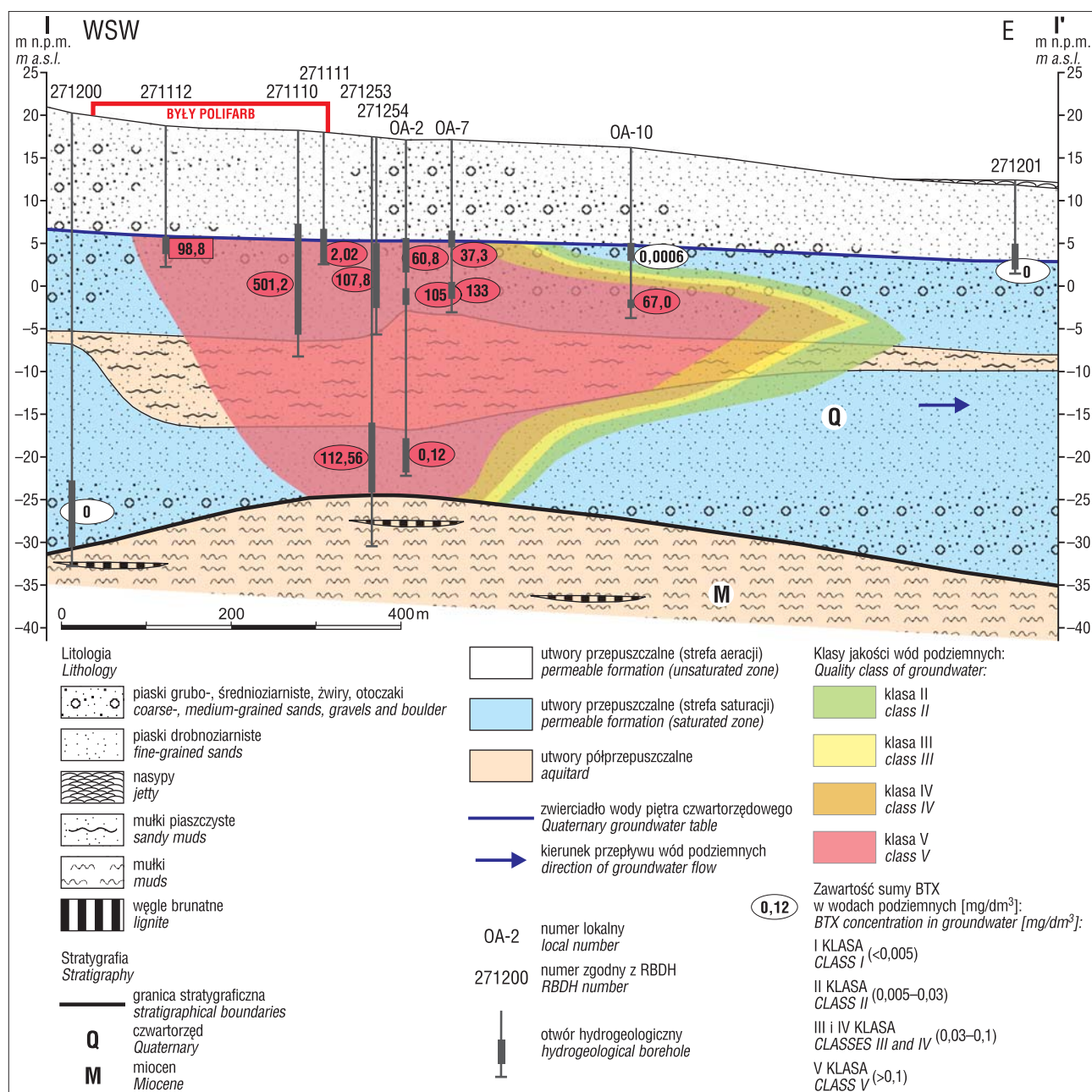
Z uwagi na zagospodarowanie przestrzenne rejon badań można podzielić na dwie zasadniczo różniące się części. Na wschodzie przeważa zabudowa domów jednorodzinnych i bloków mieszkalnych, otoczonych obszarami zieleni i placami zabaw. W zachodniej części są zlokalizowane zakłady przemysłowe, m.in.: Zakład Przemysłu Cukierniczego „Bałtyk” Sp. z o.o., dawna siedziba Międzynarodowych Targów Gdańskich S.A. (MTG), Zakłady Chemiczne „Fregata” S.A., Zakład „Federal-Mogul Bimet” S.A.

Pod względem hydrogeologicznym, najistotniejszy jest tu plejstoceno-holocenoński poziom wodonośny miejscami rozdzielony kompleksem osadów słabo przepuszczalnych. W górnej części profilu tego poziomu przeważają piaski drobno- i średnioziarniste, lokalnie różnoziarniste ze

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Geologii Morza, ul. Kościarska 5, 80-328 Gdańsk; anna.szelewicka@pgi.gov.pl, tomasz.kowalewski@pgi.gov.pl, miroslaw.lidzbarski@pgi.gov.pl, zbigniew.kordalski@pgi.gov.pl.



Ryc. 2. Jakość wód podziemnych na obszarze badawczym
Fig. 2. Groundwater quality in the study area



Ryc. 3. Przekrój hydrochemiczny w rejonie pierwszej strefy wód zanieczyszczonych
Fig. 3. Hydrochemical cross-section of the first zone of groundwater pollution

W 2006 r. w wodzie z piezometru P-4N stwierdzono wysokie sumy BTX (98,83 mg/dm³). W wodzie podziemnej zanotowano również wysokie zawartości WWA. W trakcie badań w 2013 r. w wodach z otworów OA-5/1 i P-35b ponad 200 razy przekraczały one wartości dla V klasy jakości wód, natomiast w piezometrze P-2 były dwa razy niższe.

Przekroczone były również zawartości fenoli (indeks fenolowy), sumy benzyn i olejów mineralnych. Najwyższe koncentracje benzyn stwierdzono w piezometrze P-35b (267 mg/dm³) i otworze OA-5/1 (181 mg/dm³), a nieco niższe w otworze OA-2/1 i OA-7/1 (i 40,7 mg/dm³). Zawartości olejów mineralnych w wodzie były niższe i zmieniały się od 1,2 mg/dm³ (P-35b) poprzez 0,34 mg/dm³ (OA-5/1) oraz 0,17 mg/dm³ (d. „Polifarb” P-2) do 0,014 mg/dm³ (OA-10/1) i 0,011 mg/dm³ (OA-2/1). Norma, która określa V klasę jakości wód dla indeksu fenolowego, została przekroczona również w piezometrze P-35b (0,48 mg/dm³) oraz w

otworach: OA-7/1 (0,32 mg/dm³), OA-5/1 (0,062 mg/dm³), OA-2/1 (0,047 mg/dm³), co klasyfikuje je w V klasie jakości.

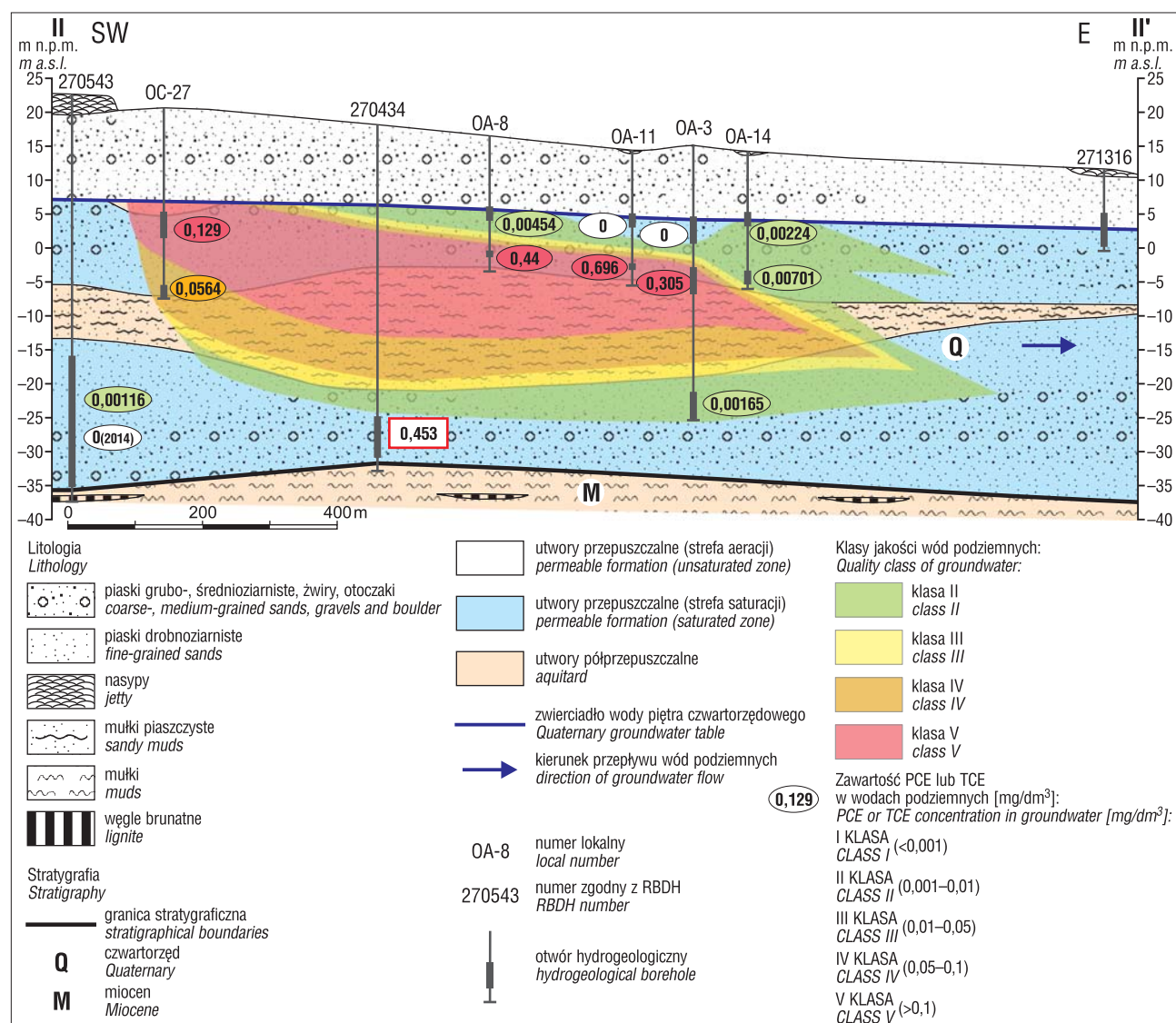
Duże koncentracje substancji specyficznych: BTX, WWA, benzyn oraz fenoli stwierdzono w głębszej części warstwy wodonośnej, tuż nad przekładką słabo przepuszczalnych utworów mulkowych (15–20 m p.p.t). Najwyższe stężenie BTX odnotowano w piezometrze P-1, gdzie wynosiło ono 500 mg/dm³, co stanowiło 5000-krotne przekroczenie normy określonej dla V klasy jakości wód. Podobnie przekroczona była wartość progowa WWA dla V klasy jakości. W tymczasowych otworach badawczych OA-2/2 i OA-7/2 stwierdzono również wielokrotne przekroczenia V klasy jakości wód: dla sumy BTX ponad 1000, a 200 razy w przypadku WWA.

W otworach OA-5/2 i OA-10/2 stężenia BTX i WWA były niższe niż w wodach z wymienionych otworów, ale i tak wielokrotnie przekraczały dopuszczalne progi dla

Tab. 1. Stężenia lotnych związków chloroorganicznych (BTX) w drugiej strefie wód zanieczyszczonych
Table 1. BTX concentration in the second zone of groundwater pollution

Chloroetyny <i>Chloroethenes</i> [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$]	Punkty opróbowania wód podziemnych <i>Groundwater sampling points</i>										
	Bimet st. 2a	OC-27/1	OC-27/2	OA-14/1	OA-8/1	OA-8/2	OA-14/2	OA-3/2	OA-11/2	OA-3/3	MTG st. 1
chlerek winylu <i>vinyl chloride</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6,94
1,2-dichloroetan <i>1,2-dichloroethane</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	1,08	–	–
1,1-dichloroeten <i>1,1-dichloroethene</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,84
cis 1,2-dichloroeten <i>cis 1,2-dichloroethene</i>	–	8,19	7,93	0	0	7,48	0	7,01	31,40	–	453,00
Trichloroeten <i>Trichloroethene</i>	–	57,70	56,40	2,24	4,54	440,0	7,01	305,0	696,00	1,65	–
Tetrachloroeten <i>Tetrachloroethene</i>	1,16	129,00	49,20	1,48	2,25	157,0	1,30	8,19	14,50	–	–

Kolejność otworów badawczych ułożona w funkcji czasu przepływu wód podziemnych
Order of test boreholes is composed as a function of time



Ryc. 4. Przekrój hydrochemiczny w rejonie drugiej strefy wód zanieczyszczonych
Fig. 4. Hydrochemical cross-section in the second zone of groundwater pollution

V klasy jakości. Najwyższe stężenia benzyn były w piezometrze P-1 na terenie dawnego zakładu „Polifarb” ($3160 \text{ mg}/\text{dm}^3$) oraz w otworach OA-7/2 ($160 \text{ mg}/\text{dm}^3$), OA-2/2 ($135 \text{ mg}/\text{dm}^3$) i OA-5/2 ($113 \text{ mg}/\text{dm}^3$). Normy dla

V klasy jakości, jakie obowiązują dla substancji ropopochodnych, były przekroczone 20–600 razy. Zawartości olejów mineralnych w wodzie były niższe i zmieniały się od $5,3 \text{ mg}/\text{dm}^3$ (P-1 – d. „Polifarb”) poprzez $0,26 \text{ mg}/\text{dm}^3$

(OA-5/2) i $0,068 \text{ mg/dm}^3$ (OA-7/2) do $0,058 \text{ mg/dm}^3$ (OA-2/2). Norma, która określa V klasę jakości wód dla indeksu fenolowego, a wynosząca $0,05 \text{ mg/dm}^3$, została najbardziej przekroczona w otworach OA-7/2 ($0,65 \text{ mg/dm}^3$), OA-10/2 ($0,28 \text{ mg/dm}^3$) i OA-5/2 ($0,11 \text{ mg/dm}^3$).

Dolna część warstwy wodonośnej została przebadana w tymczasowych otworach badawczych: OA-1/3, OA-2/3, OA-3/3, znajdujących się w pobliżu byłej Fabryki Farb i Lakierów „Polifarb” (ryc. 2). Wodę do analizy pobrano również z czynnej studni na terenie Zakładów Przemysłu Cukierniczego „Bałtyk” i czasowo włączonej studni położonej na terenie byłych Międzynarodowych Targów Gdańskich (MTG). Wysokie koncentracje BTX ($112,56 \text{ mg/dm}^3$) i WWA ($0,099 \text{ mg/dm}^3$) stwierdzono w 2013 r. w piezometrze P-35a. W następnym roku odnotowano jeszcze wyższe stężenia tych substancji: BTX na poziomie $896,4 \text{ mg/dm}^3$, WWA – $0,113 \text{ mg/dm}^3$, benzyn – $11\,100 \text{ mg/dm}^3$, olejów mineralnych – 12 mg/dm^3 oraz indeksu fenolowego w wysokości $0,39 \text{ mg/dm}^3$. Natomiast w otworze tymczasowym OA-2/3, zlokalizowanym w pobliżu głównego kierunku przepływu wód podziemnych, stężenia ww. zanieczyszczeń były niższe: BTX na poziomie $0,119 \text{ mg/dm}^3$, natomiast WWA – $0,017 \text{ mg/dm}^3$. W wodach z pozostałych otworów nie stwierdzono specyficznych substancji ropopochodnych.

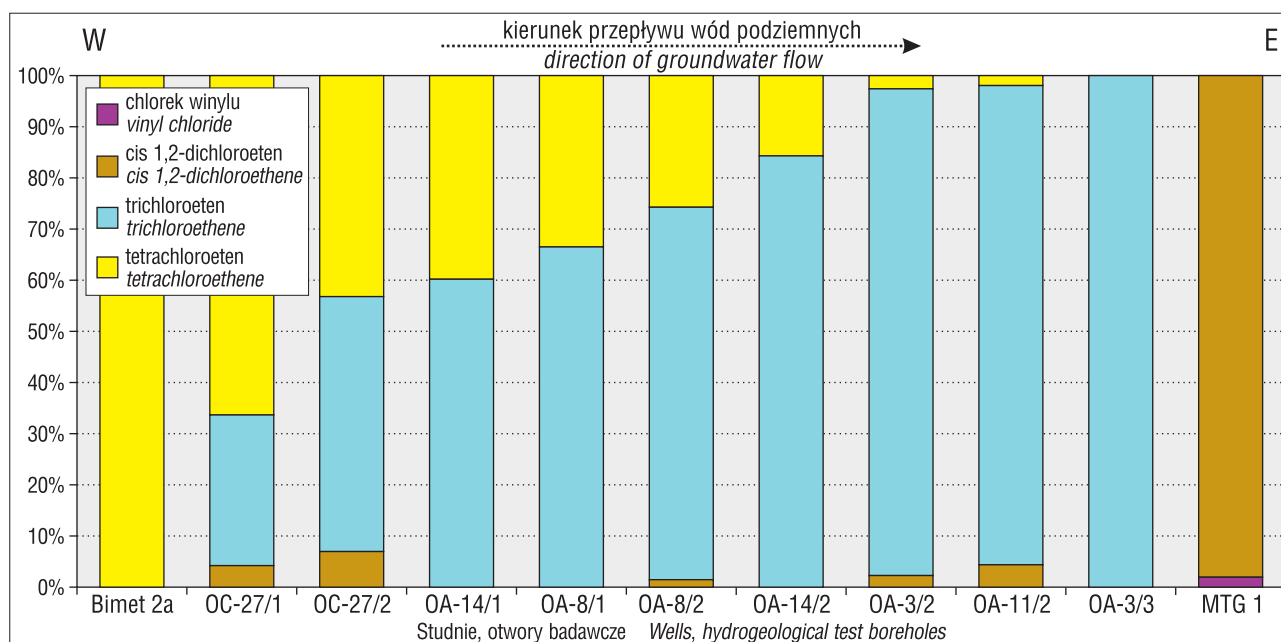
Miarą występujących zanieczyszczeń jest obecność substancji ropopochodnych (wolnego produktu) na powierzchni zwierciadła wód podziemnych. W piezometrze P-35B, który ujmuje stropową część poziomu wodonośnego, warstwa produktów ropopochodnych w 2012 r. wynosiła 32 cm, natomiast w piezometrze ujmującym głębszą część poziomu (P-35A) – 15 cm. W kolejnych latach w płytszym piezometrze miąższość uległa obniżeniu i osiągnęła wartość do 6 cm (tab. 1).

Drugą strefą wód zanieczyszczonych wyznaczoną w południowej części obszaru badawczego objęła swym zasięgiem tymczasowe otwory badawcze: OC-27, OA-8, OA-11 i OA-3. Głównym czynnikiem zanieczyszczającym

wody w tej strefie były związki chloroorganiczne (VOC), a zwłaszcza trichloroeten i tetrachloroeten, oraz w przypadku otworu OA-8/2 również chrom.

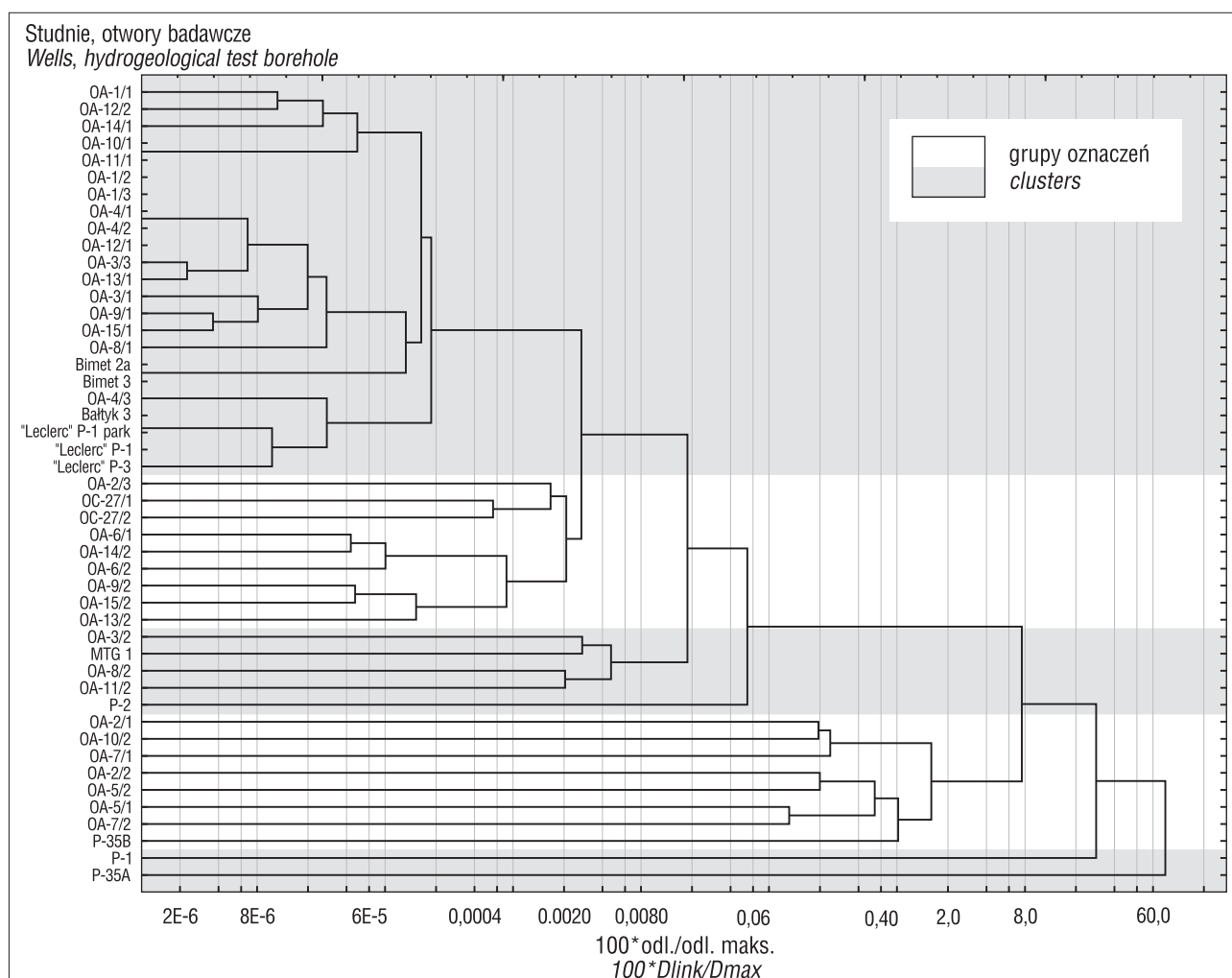
Badania wykonane w 2013 r. pozwoliły wstępnie wyznaczyć obszar skażenia, który obejmował rejon otworów badawczych: OA-8, OA-11 i OA-3. Wyniki badań nie dały jednak odpowiedzi skąd pochodzą zanieczyszczenia.

Dopiero szczegółowa analiza warunków hydrodynamicznych oraz wyniki badań modelowych wykonanych w 2014 r. pozwoliły ustalić kierunek, z którego mogły dopływać wody o wysokich stężeniach związków chloroorganicznych. Potwierdzono to po odwierceniu dodatkowego otworu badawczego OC-27 na terenie, gdzie w przeszłości znajdowały się zakłady przemysłu metalowego oraz magazyny i place składowe. Analiza chemiczna wody pobranej z otworu OC-27/1 w 2014 r. oraz ze studni 2a na terenie zakładów „Federal-Mogul Bimet” wykonana w 2013 r. potwierdziła skażenie wód podziemnych oraz przewidywany kierunek migracji zanieczyszczeń. W stropie warstwy wodonośnej w otworze OC-27/1 potwierdzono substancje z grupy VOC, których suma związków sięgała $0,195 \text{ mg/dm}^3$, przy czym ponad dwukrotnie więcej było tetrachloroetenu ($0,129 \text{ mg/dm}^3$) niż trichloroetenu ($0,0577 \text{ mg/dm}^3$). Stężenia tetrachloroetenu przekraczały wartość graniczną wyznaczoną dla V klasy jakości wód ($0,1 \text{ mg/dm}^3$), a jednocześnie została stwierdzona zawartość chromu ($0,091 \text{ mg/dm}^3$), co pozwala zaliczyć te wody do IV klasy jakości (ryc. 2). Na pozostałym obszarze badań nie zidentyfikowano wymienionych substancji. Najwyższe stężenia związków chloroorganicznych, przekraczające normy dla V klasy jakości wód, odnotowano w środkowej części warstwy wodonośnej. W próbce wody z otworu OA-8/2 stężenie trichloroetenu wynosiło $0,44 \text{ mg/dm}^3$, a tetrachloroetenu – $0,157 \text{ mg/dm}^3$. W otworze OA-11/2 stężenie trichloroetenu sięgało $0,696 \text{ mg/dm}^3$, a $0,305 \text{ mg/dm}^3$ w otworze OA-3/2. Stwierdzono również wysokie stężenie chromu, które w próbce z otworu OC-27/2 wyniosło $0,558 \text{ mg/dm}^3$, a dla



Ryc. 5. Zmiana składu związków chloroorganicznych na skutek biodegradacji w rozmieszczeniu regionalnym

Fig. 5. Change in the composition of chloroorganic compounds due to biodegradation in a regional distribution



Ryc. 6. Dendrogram składu chemicznego wód podziemnych wydzielony analizą skupień Warda
Fig. 6. Dendrogram of groundwater's chemical composition based on Ward's cluster analysis

otworu OA-8/2 – 0,381 mg/dm³, co oznacza V klasę jakości wód.

Analiza uzyskanych wyników wykazała, że rozkład stężenia związków chloroorganicznych zmienił się zgodnie z kierunkiem przepływu wód podziemnych, osiągając najwyższe wartości w środkowej części strumienia. Ponadto zachodziły zmiany stężenia trichloroetenu w profilu pionowym. Z biegiem przepływu wód migrowały one w głąb poziomu wodonośnego. Potwierdziły to wyniki z otworu badawczego OA-11/2, gdzie koncentracje trichloroetenu były najwyższe i prawie 70 razy przekraczały dopuszczalne normy dla wód pitnych (ryc. 4).

W dolnej części poziomu wodonośnego nie odnotowano znaczących stężeń związków chloroorganicznych. Charakterystyczną cechą tych związków są zmiany, które zachodzą pomiędzy nimi w środowisku wód podziemnych. Tetrachloroeten ulega powolnej biodegradacji w warunkach anaerobowych, przechodząc przez trichloroeten, dichloroeten, chlorek winylu i eten do metanu. Jak wskazują badania, duże stężenia tetrachloroetenu w wodzie podziemnej można uznać za wskaźnik bliskiego położenia ogniska zanieczyszczeń, a chlorek winylu, jako wskaźnik starych zanieczyszczeń, poddanych biodegradacji (Witczak i in., 2013). Prawidłowości te zostały potwierdzone w trakcie prac badawczych (ryc. 5). Najwyższy udział tetrachloroetenu w ogólnym stężeniu związków VOC stwierdzono

w rejonie zakładu „Federal-Mogul Bimet” S.A. Zmienił się od 66% w otworze badawczym OC-27 do 100% w studni 2a na terenie tego zakładu. Może to świadczyć o bliskości położenia ogniska skażeń wód podziemnych. W pozostałych otworach badawczych udział tetrachloroetenu zmniejszał się kosztem trichloroetenu i dichloroetenu. W rejonie studni MTG-1 w wodach podziemnych nie stwierdzono występowania tri- i tetrachloroetenu. Fakt ten może dowodzić, że wody zanieczyszczone dopływają do tej studni ze znacznym opóźnieniem, a zawartość tetrachloroetenu uległa całkowitej biodegradacji.

Zróznicowanie składu chemicznego wód podziemnych na obszarze badań, zwłaszcza związków organicznych, potwierdziła analiza skupień Warda (ryc. 6). Najbardziej wyodrębniona jest grupa obejmująca otwory, z których próbki mają największe stężenia związków ropopochodnych (P-1, P-35A). Wyróżnia ją wysoka koncentracja wielu związków organicznych: WWA, BTX, fenoli, benzyn i olejów mineralnych. Drugą grupę stanowią otwory: P-35B, OA-2/1, OA-2/2, OA-5/1, OA-5/2, OA-7/1, OA-7/2, OA-10/2, które są położone zgodnie z kierunkiem odpływu wód z centrum skażenia. Wody te charakteryzuje także wysokie stężenie tych samych związków organicznych, które zostały zidentyfikowane w grupie 1. Odmianą jest grupa, która obejmuje wody o podwyższonej i wysokiej koncentracji związków chloroorganicznych, charaktery-

styczna dla drugiej strefy skażeń wód podziemnych: MTG-1 (0,463 mg/dm³), OA-8/2 (0,6 mg/dm³), OA-11/2 (0,743 mg/dm³) i OA-3/2 (0,32 mg/dm³).

Kolejna grupa skupia wody występujące na obrzeżach stwierdzonych skażeń, cechują je słabe powiązania z innymi otworami. Pozostałe nie wykazują żadnych związków z poprzednimi grupami i obejmują głównie wody o najmniejszym stopniu przeobrażeń chemicznych (ryc. 6).

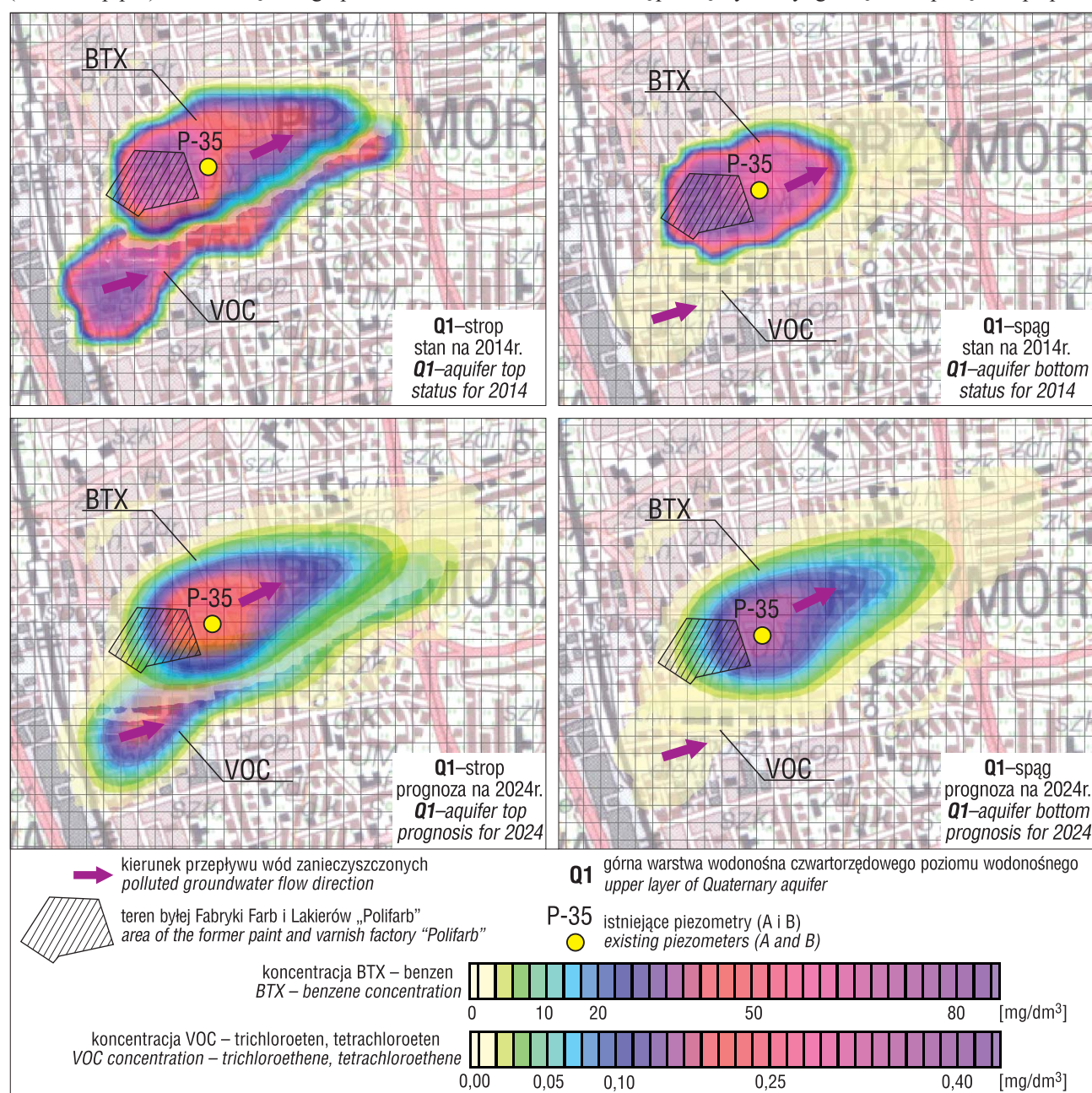
OCENA ZAGROŻEŃ I PROGNOZOWANIE ZMIAN HYDROCHEMICZNYCH – POSUMOWANIE

Na obszarze badawczym w rejonie byłej Fabryki Farb i Lakierów „Polifarb” wody podziemne zostały zanieczyszczone w całym profilu: od stropu (10–15 m p.p.t.) do spągu (40–45 m p.p.t.) czwartorzędowego poziomu wodonośnego.

go. Z uwagi na znaczną głębokość zalegania skażeń, ich negatywne oddziaływanie na powierzchnię terenu jest zapewne ograniczone. Prawdopodobnie jednak nadal oddziałują one na otaczające je środowisko i wysokość zasobów wód podziemnych.

Pierwsza strefa wód zanieczyszczonych obejmuje powierzchnię ok. 120 tys. m². Objętość środowiska skalnego, w których występują skażenia, szacuje się na ok. 3 mln m³, a objętość wód skażonych przekracza 700 tys. m³. Druga strefa wód zanieczyszczonych jest powierzchniowo dwa razy większa i obejmuje ok. 226 tys. m². Natomiast objętość skał zanieczyszczonych wynosi 2,2 mln m³, a objętość wód podziemnych wynosi ok. 500 tys. m³.

Zgodnie z kierunkiem przepływu wód podziemnych w rejonie Gdańska zanieczyszczenia będą się przemieszczały w kierunku wschodnim. W trakcie badań front skażeń znajdował się pomiędzy ul. Bydgoską a Chłopską. Tempo prze-



Ryc. 7. Prognozowane zmiany stężeń i przemieszczania się zanieczyszczeń (skażeń) w czwartorzędowym poziomie wodonośnym
Fig. 7. Forecasted changes of the concentration and migration of pollutants (skażeń) in the Quaternary aquifer, based on model tests

mieszczania zależy od charakteru substancji obecnych w wodzie podziemnej, rodzaju ośrodka skalnego oraz dynamiki wód podziemnych. Stwierdzone zanieczyszczenia stanowią mieszaninę substancji, które różnią się parametrami istotnymi dla obliczania rzeczywistego tempa migracji, takimi jak: stopniem rozpuszczalności w wodzie, izotermą sorpcji, czasem rozpadu i biodegradacji. Z tego powodu substancje dobrze rozpuszczające się w wodzie, nazywane konserwatywnymi, z wolnym tempem biodegradacji, mogą migrować kilkakrotnie szybciej od pozostałych. Prędkość przemieszczania się zanieczyszczeń w obszarze badawczym szacuje się na 10–70 m w ciągu roku. Z uwagi na specyfikę substancji obecnych w wodzie podziemnej, szybciej mogą migrować związki chloroorganiczne i benzen, niż WWA, fenole, benzyny i oleje mineralne.

Z przeprowadzonych badań modelowych procesów hydrogeologicznych i różnych symulacji prognostycznych wynika, że wody podziemne w latach następnych będą migrowały w kierunku wschodnim (ryc. 7). Po dziesięciu latach strefa wód zanieczyszczonych może się przemieścić w rejon ul. Chłopskiej. Centralne miejsca skażeń, które zidentyfikowano w rejonie byłych zakładów „Polifarb” oraz ul. Śląskiej, oddalą się w kierunku wschodnim prawdopodobnie o 100–300 metrów. Zmieni się także geometria strefy wód zanieczyszczonych. Wskutek dyspersji w warstwie wodonośnej, pierwotny strumień przepływających wód rozszerzy się do 500–600 m. W ślad za rozszerzaniem się strefy wód zanieczyszczonych, stężenia poszczególnych substancji ulegną zmniejszeniu od 50 do 10%. Przewiduje się, że będą one jednak w dalszym ciągu przekraczały

dopuszczalne normy dla wód pitnych. Porównując obie strefy skażeń, należy przypuszczać, że zanieczyszczenia z rejonu byłych zakładów „Polifarb” będą znacznie dłużej utrzymywały wysoką koncentrację substancji degradującej wody podziemne niż wody w drugiej strefie.

Informacje o parametrach warstwy wodonośnej oraz dynamice skażeń będą znacznie dokładniejsze z chwilą uruchomienia monitoringu wód zanieczyszczonych. Pozwoli to na zweryfikowanie wyników badań modelowych i sformułowanie dokładniejszych prognoz zmian hydrochemicznych.

LITERATURA

- KORDALSKI Z., BOROWICZ M., KARWIK. A., KOWALEWSKI T., LIDZBARSKI M., PASIEROWSKA B., SOKOŁOWSKI K., SZELEWICKA A., TARNAWSKA E. & WALCZAK M. 2012 – Ocena stanu dynamiki i jakości wód podziemnych na terenie Gdańska i Sopotu. Nar. Arch. Geol., PIG-PIB Gdańsk.
- LIDZBARSKI M., KARWIK. A., KORDALSKI Z., PASIEROWSKA B., SOKOŁOWSKI K., SZELEWICKA A. & TARNAWSKA E. 2014 – Szczegółowa ocena zasięgu i rodzaju zanieczyszczeń na wybranych obszarach zurbanizowanych i poprzemysłowych na terenie Gdańska. Nar. Arch. Geol., PIG-PIB Gdańsk.
- SZYMAŃSKI K., WERNO M., DEMBSKI B., KWATERKIEWICZ A. & BIAŁEK A. 2006 – Dokumentacja określająca warunki hydrogeologiczne i stan zanieczyszczeń wód podziemnych i gruntów w rejonie byłej fabryki farb i lakierów POLIFARB-OLIWA w Gdańsku przy ul. Bora-Komorowskiego. Przedsiębiorstwo Badawcze Geostab w Gdańsku.
- WITCZAK S., KANIA J. & KMIECIK E. 2013 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych. Dz.U. z 2008 r. Nr 143 poz. 896.



Rejon ujęcia wód podziemnych „Zaspa”. Fot. z arch. GIWK Sp. z o.o.