

Chemizm wód podziemnych w rejonie ujęcia „Lipce” i „Grodza Kamienna” w Gdańsku

Beata Pasierowska¹, Ewa Tarnawska¹, Mirosław Lidzbarski¹, Zbigniew Kordalski¹

The chemistry of groundwater in the area of the “Lipce” and “Grodza Kamienna” intakes in Gdańsk. *Prz. Geol.*, 64: 418–426.

Abstract. The article presents the results of groundwater chemistry studies in the area around the “Lipce” and “Grodza Kamienna” intakes in Gdańsk. In the northern part of the “Lipce” intake the groundwater quality has been low for the last few years; therefore it was necessary to pump water from two wells directly into drainage ditches. Currently, the benzene concentration in the groundwater exceeds the maximum permissible limit for drinking water ($>1\mu\text{g}/\text{dm}^3$). Groundwater quality is also lowered by the presence of phenol, PAH and vinyl chloride (PVC). The studies showed variability of the benzene and phenol concentrations in the upper and bottom parts of the Holocene-Pleistocene aquifer. Chemical analysis of soil taken from drainage ditches revealed contamination caused by illegal sewage discharge emitted from a nearby factory, producing tar in the past.

Keywords: groundwater chemistry, benzene, vinyl chloride, polders

Charakterystyczną cechą budowy geologicznej Żuław Gdańskich (południowo-wschodnie dzielnice Gdańska) są mady, zalegające w stropie poziomu wodonośnego. Znajdują się w nich liczne, nierównomiernie rozmieszczone przewarstwienia zawadnionych piasków drobno-ziarnistych, często silnie zamulonych, z domieszką substancji organicznej (Frankowski & Zachowicz, 2007). Pod serią mad zalegają zawodnione, holocenijskie piaski o różnej granulacji, lokalnie ze żwirami i otoczakami (Pikies, 2013). Pod nimi występują wodonośne osady piaszczyste plejstocenu. Tworzą one wspólny holocenijsko-plejstocenijski poziom wodonośny (Uściniowicz, 1997). Miąższość zawodnionych osadów czwartorzędowych wynosi 40–70 m. Lokalnie na głębokości 35–45 m występują gliny zwałowe, które dzielą holocenijsko-plejstocenijski poziom wodonośny na dwie części górną (Q1_{pl}) i dolną (Q2_{pl}). Zwierciadło wody jest pod niewielkim napięciem i stabilizuje się na rzędnej 0–1 m n.p.m., zaś w rejonie leja depresyjnego ujęcia „Lipce” poniżej poziomu morza.

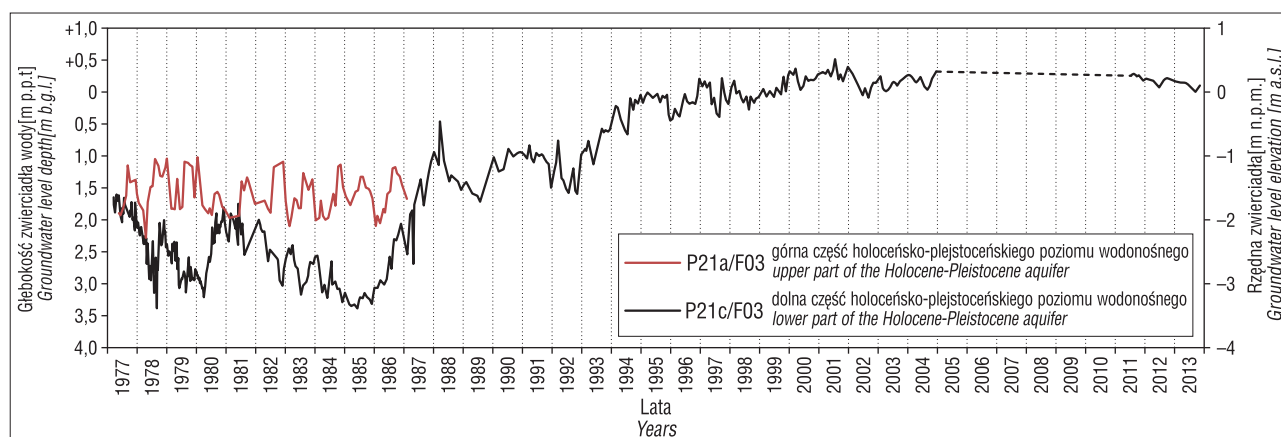
Opisany układ hydrodynamiczny, z uwagi na pionowy gradient ciśnienia, chroni główny użytkowy poziom wodonośny przed migracją zanieczyszczeń z powierzchni terenu. W drugiej połowie ub. wieku naturalne warunki hydrody-

namiczne były zaburzone na skutek wysokiej eksploatacji wód podziemnych na ujęciach „Lipce” i „Grodza Kamienna” (ryc. 1). W efekcie zwierciadło wody w otoczeniu ujęcia „Lipce” obniżyło się do rzędnej –3 m n.p.m., co sprzyjało migracji potencjalnych zanieczyszczeń z powierzchni terenu i rowów melioracyjnych (Odoj & Narwojsz, 2000). Ten stan wymusił również zasolenie poziomu wodonośnego dopływem wód z Martwej Wisły.

OBSZAR BADAWCZY

Obszar badań o powierzchni 8,5 km² jest położony na Żuławach Gdańskich i znajduje się w granicach dzielnicy Gdańska Orunia – św. Wojciech–Lipce. Prace badawcze prowadzono między ujęciem „Grodza Kamienna” a północną częścią ujęcia „Lipce” (ryc. 2).

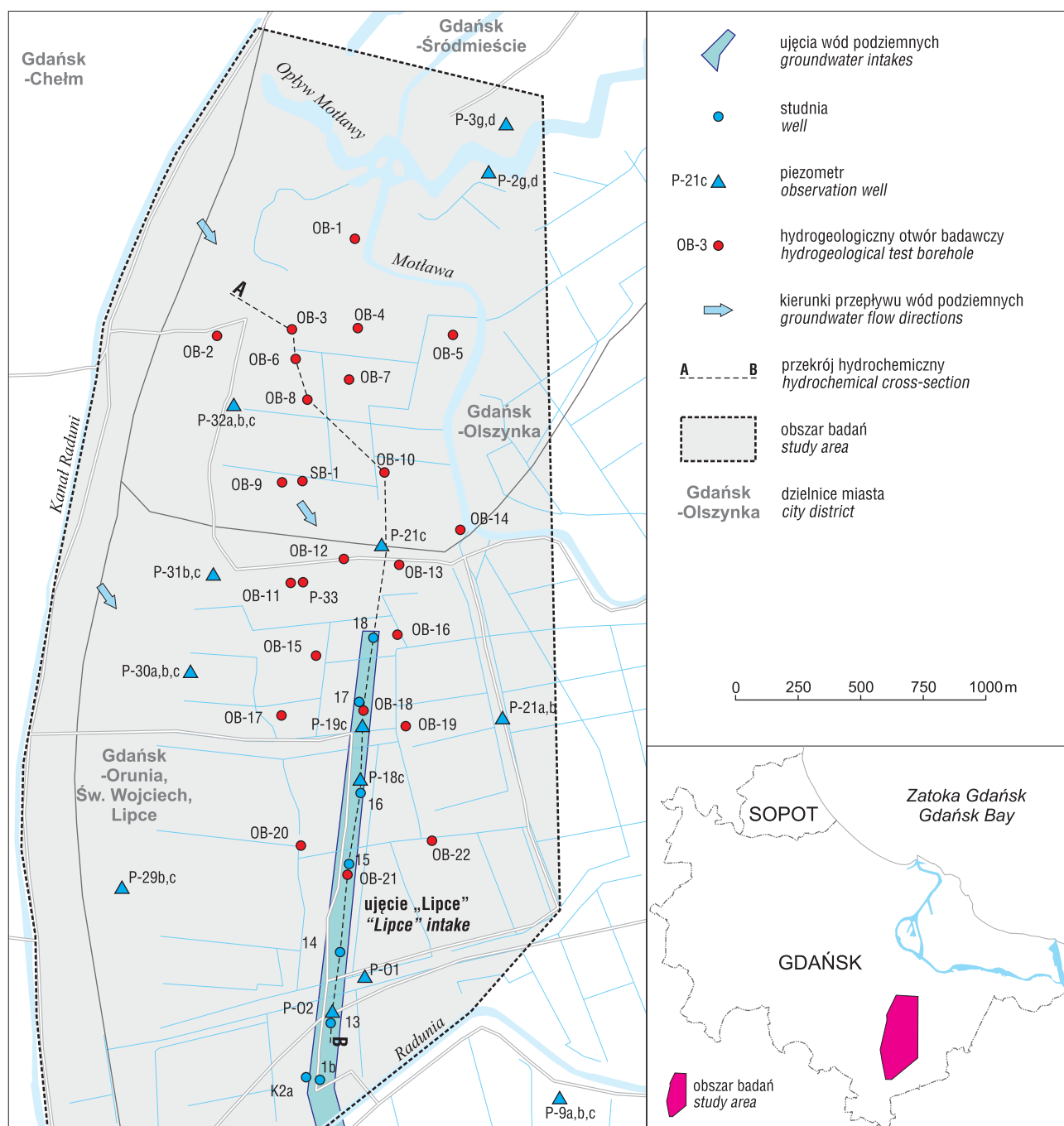
Powierzchnia terenu znajduje się na rzędnej ok. 0 m n.p.m., a na polderach obniża się do –1 m n.p.m. Jest ona odwadniana przez Radunię i Motławę oraz liczne rowy melioracyjne. Tereny nizinne są chronione przed wezbrańiami sztormowymi w Zatoce Gdańskiej wrotami sztormowymi „Śluza Kamienna”.



Ryc. 1. Stany wód podziemnych w otworach obserwacyjnych ujęcia „Lipce”

Fig. 1. Groundwater level fluctuations in observation wells of the “Lipce” intake

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Geologii Morza, ul. Kościarska 5, 80-328 Gdańsk; beata.pasierowska@pgi.gov.pl, ewa.tarnawska@pgi.gov.pl, mirosław.lidzbarski@pgi.gov.pl, zbigniew.kordalski@pgi.gov.pl.



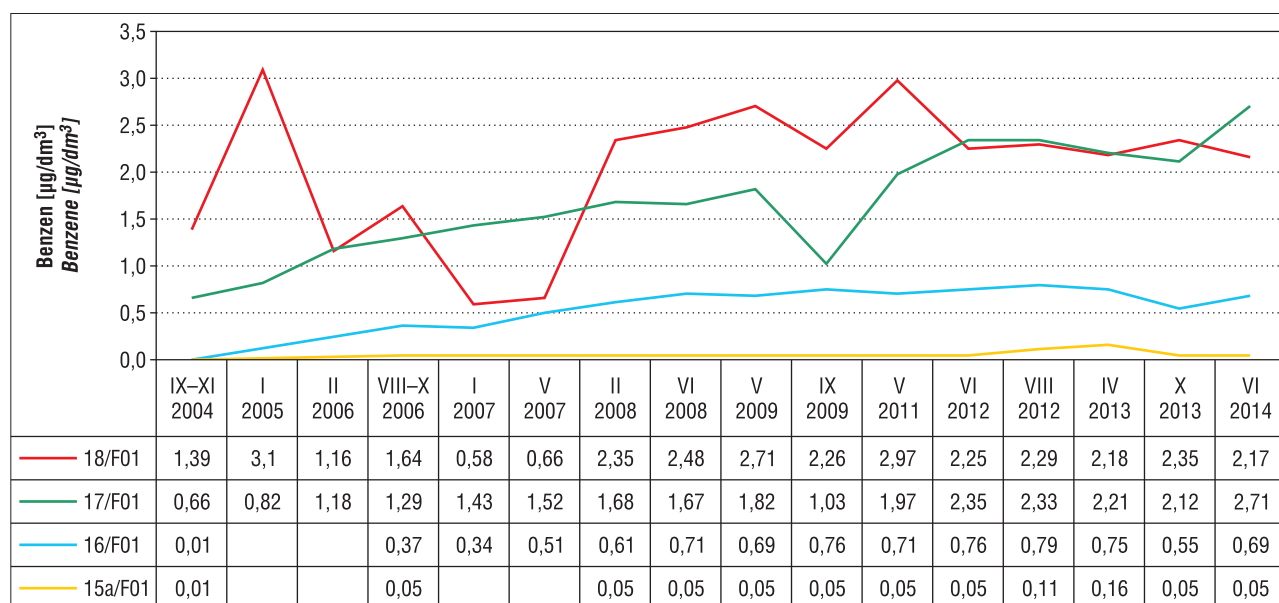
Ryc. 2. Lokalizacja obszaru badań
Fig. 2. Location of the study area

Na obszarze badań występują zarówno tereny uprzemysłowione, z zabudową mieszkaniową, jak i rolnicze. Najintensywniej jest zagospodarowany teren znajdujący się na północ od ujęcia „Lipce”, gdzie są zlokalizowane zakłady przemysłowe i magazynowe, oraz rejon wzdłuż Traktu św. Wojciecha z licznymi obiektami usługowym (np. stacje benzynowe, warsztaty samochodowe). Zabudowa wielorodzinną skupia się wokół wspomnianego traktu, natomiast jednorodzinna znajduje się w zachodniej części obszaru badań. W bezpośrednim otoczeniu ujęcia „Lipce” występują użytki rolne, zaś na północ od niego znaczną część terenu zajmują ogródki działkowe i nieużytki. Tereny zielone znajdują się jedynie wzdłuż Optywu Motławy, w rejonie byłego ujęcia „Grodzka Kamienna”. Istotnymi elementami zagospodarowa-

nia terenu są szlaki komunikacyjne. W południowej części obszaru badań przebiega Obwodnica Południowa Gdańska.

PROBLEM BADAWCZY

Badania stanu chemicznego wód podziemnych, prowadzone w latach 2005–2013 w rejonie ujęcia „Lipce”, wykazały obecność zanieczyszczeń w dwóch studniach zlokalizowanych w północnej części ujęcia (ryc. 3). Wyraźnie zaznaczały się podwyższone stężenia benzenu, lokalnie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) i pestycydów, co dyskwalifikowało wody podziemne do celów pitnych. Nieznane było pochodzenie tych skażeń ani ich zasięg oraz koncentracja przestrzenna (Kordalski i in., 2012).



Ryc. 3. Stężenie benzenu w wodach ze studzien: nr 18, 17, 16, 15a ujęcia „Lipce”

Fig. 3. Benzene concentration in groundwater from boreholes 18, 17, 16, 15a in “Lipce” intake

W celu dokładnego rozpoznania charakteru, ustalenia kierunków dopływu i genezy zanieczyszczeń zaplanowano wykonanie 22 tymczasowych otworów badawczych, o sumarycznej głębokości 360 m. W trakcie wierceń opróbowano poziom holocenijsko-plejstocenijski w całym profilu pionowym. W nawiązaniu do parametrów hydrogeologicznych, wykształcenia warstwy wodonośnej oraz specyfiki spodziewanych zanieczyszczeń, wyznaczono trzy strefy głębokości poboru wód: 12–15, 15–25, 25–45 m. Pobrano 63 próbki wody, z czego 37 z tymczasowych otworów badawczych, a pozostałe z istniejących studni i piezometrów oraz wód powierzchniowych. Badaniu poddano także osady dennie, pochodzące z rowów melioracyjnych.

Celem publikacji jest prezentacja najważniejszych wyników prac badawczych. Przedstawiono charakter i zasięg zanieczyszczeń, występujących w północnej części ujęcia „Lipce” oraz przeanalizowano zagrożenia związane z dalszą eksploatacją wód podziemnych

CHARAKTERYSTYKA UJĘCIA „LIPCE” I „GRODZA KAMIENNA”

Ujęcie „Lipce” włączono do eksploatacji w 1969 r. Pracuje tam 19 studni ujmujących poziom czwartorzędowy oraz jedna studnia zafiltrowana w warstwach kredy, rozlokowanych na odcinku ok. 5,4 km, równoległe do krawędzi wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego. Średnia głębokość studni czwartorzędowej wynosi 48 m, przy średniej wydajności eksploatacyjnej ok. 200 m³/h. Zasoby eksploatacyjne z utworów czwartorzędowych wynoszą: $Q_{h\text{sr}}/\text{rok} = 1200 \text{ m}^3/\text{h}$, a $Q_{h\text{max}} = 1700 \text{ m}^3/\text{h}$. Od 1997 r. ujęcie „Lipce” ma wyznaczoną strefę ochronną (Odoj & Narwojsz, 2000).

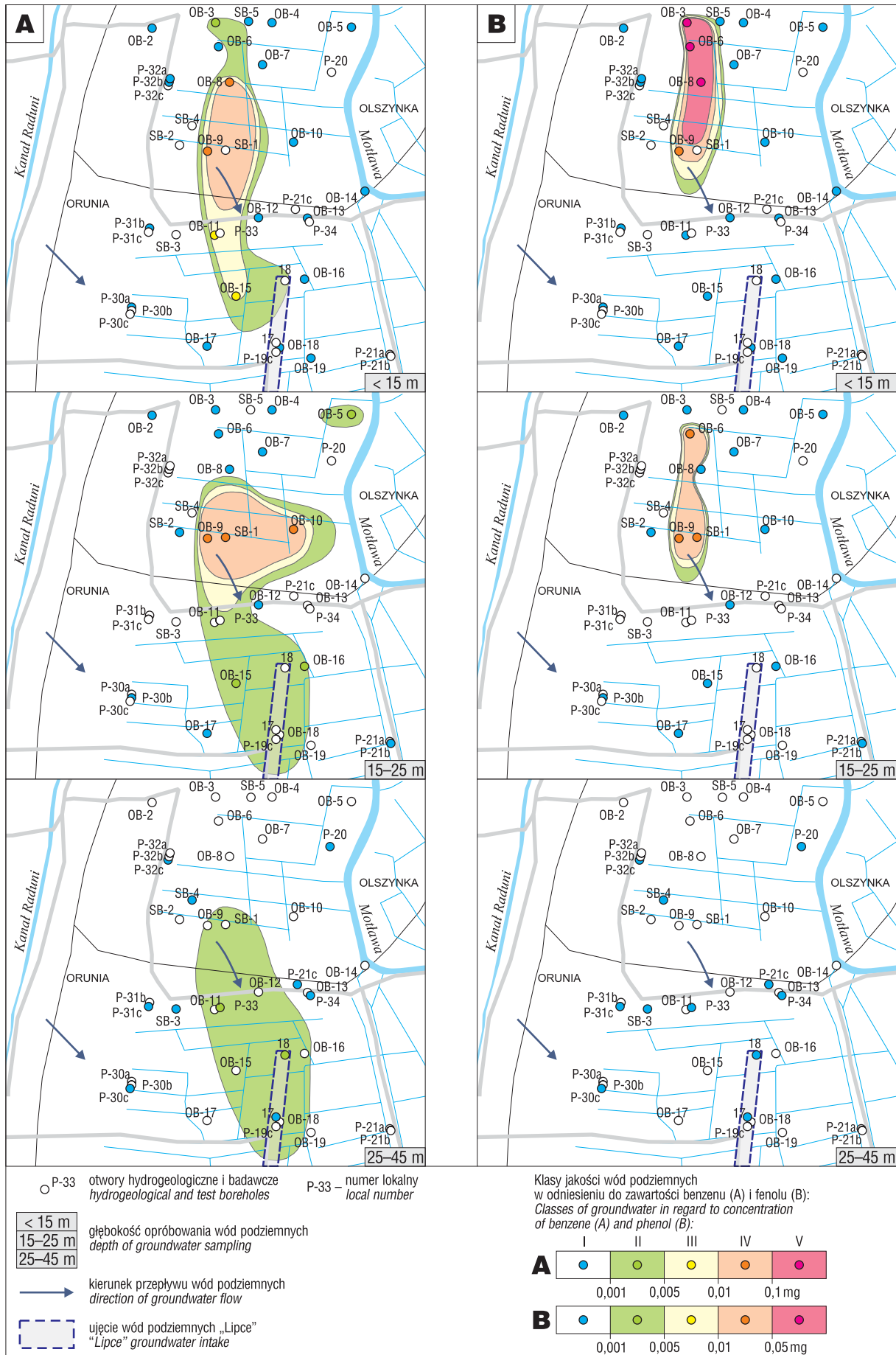
Ujęciem „Grodza Kamienna”, podczas niemal 100-letniej pracy, eksploatowano czwartorzędowy, a później także kredowy poziom wodonośny. Przyczyną ograniczenia, a następnie wyłączenia z eksploatacji (w 1990 r.) wód czwartorzędowych było ich zasolenie. Nastąpiło ono na skutek nadmiernego obniżenia zwierciadła wód podziemnych i ingresji słonych wód do warstwy wodonośnej. Zaniechanie eksploatacji zapoczątkowało proces wysładzania się

wód. Obecnie zawartość jonu chlorków w wodach piętra czwartorzędowego wynosi ok. 40–60 mg/dm³.

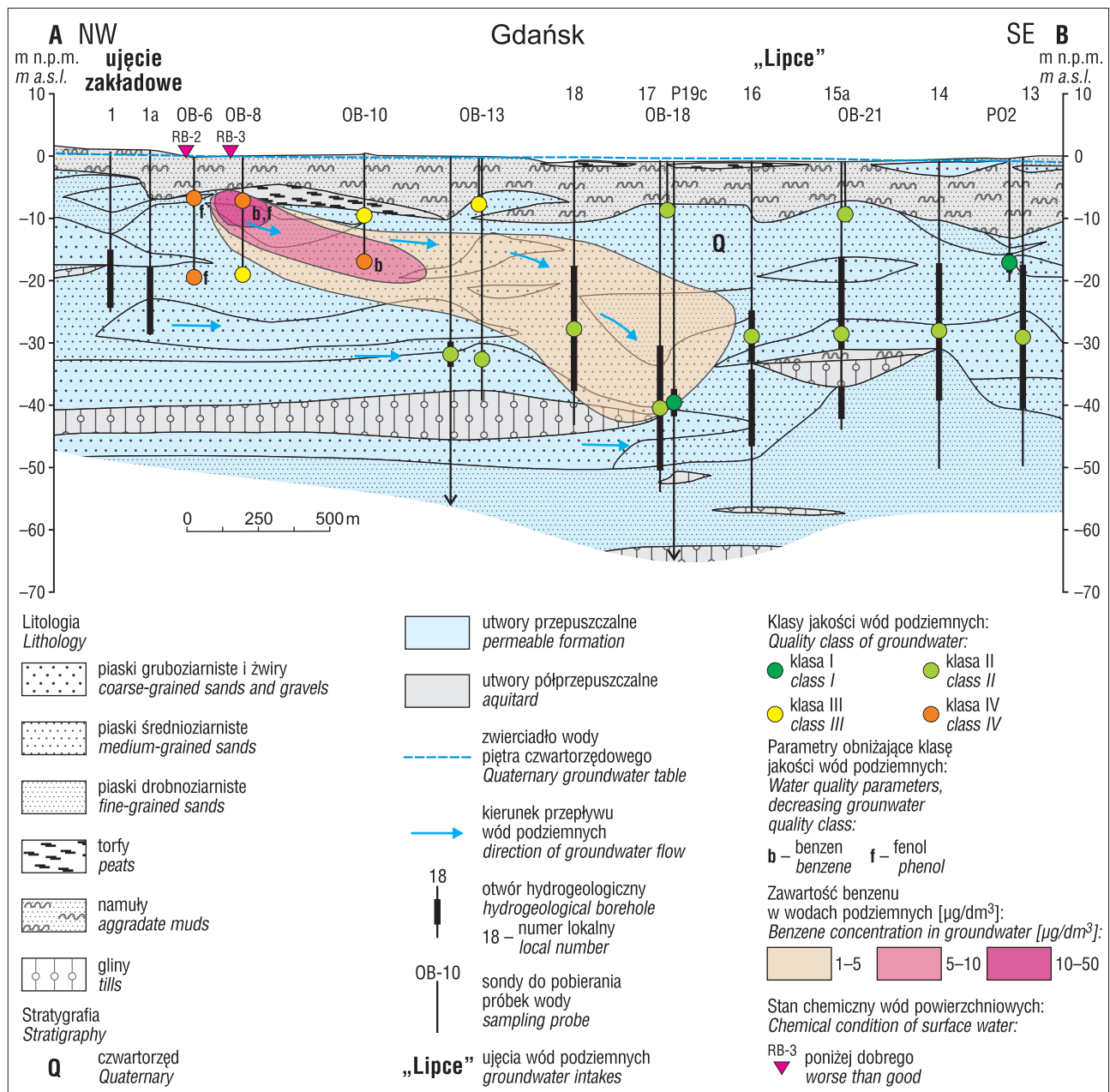
KONCENTRACJA ORAZ ZASIĘG ZANIECZYSZCZEŃ

Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły na szczegółowe wyznaczenie zasięgu występowania benzenu w wodach podziemnych oraz rozkładu jego stężenia w profilu pionowym warstwy wodonośnej. Stężenia benzenu w trzech interwałach głębokości (ryc. 4) i przekrój hydrochemiczny (ryc. 5) wykazały, że zanieczyszczone wody rozprzestrzeniły się od piezometru P-32 (w rejonie dawnego Przedsiębiorstwa Produkcji Materiałów Budowlanych „Izolmat”), po północną część ujęcia „Lipce”. Najwyższą koncentrację benzenu w wodach podziemnych odnotowano w rejonie ogródków działkowych i nieużytków zlokalizowanych pomiędzy ulicami Kolonia Orka i Równą. Jego stężenie przekraczało 10 µg/dm³, a w punkcie badawczym OB-9 osiągnęło maksimum – 55,6 µg/dm³. W stropie warstwy maksymalne stężenie benzenu (39,5 µg/dm³) zanotowano w rejonie otworu OB-8, gdzie najprawdopodobniej następuje zanieczyszczenie wód podziemnych z powierzchni terenu. W tym samym otworze, na głębokości 20 m, stężenie tego związku chemicznego wynosiło tylko 0,6 µg/dm³. Prawidłowość ta uległa jednak zmianie w strefie spływu wód podziemnych, np. w otworze OB-9 zlokalizowanym 250 m bliżej ujęcia „Lipce” w stropie warstwy wodonośnej stężenie benzenu wynosiło 10,4 µg/dm³, a na głębokości 20 m było wyższe – 55,6 µg/dm³. Podobne zależności odnotowano w otworze OB-10, gdzie benzen nie występuje w stropie warstwy, a na głębokości 18 m jego koncentracja wyniosła 14,2 µg/dm³ (Lidzbarski i in., 2014).

Zróżnicowany rozkład stężenia benzenu na drodze przepływu wód w kierunku ujęcia „Lipce” jest wynikiem zmiennego wykształcenia litologicznego warstwy wodonośnej, a także zmian hydrodynamiki wód wywołanych eksploatacją, co sprzyjało utworzeniu się uprzywilejowanych dróg migracji zanieczyszczeń.



Ryc. 4. Jakość wód podziemnych na obszarze badawczym
Fig. 4. Water quality in the study area



Ryc. 5. Przekrój hydrochemiczny
Fig. 5. Hydrochemical cross-section

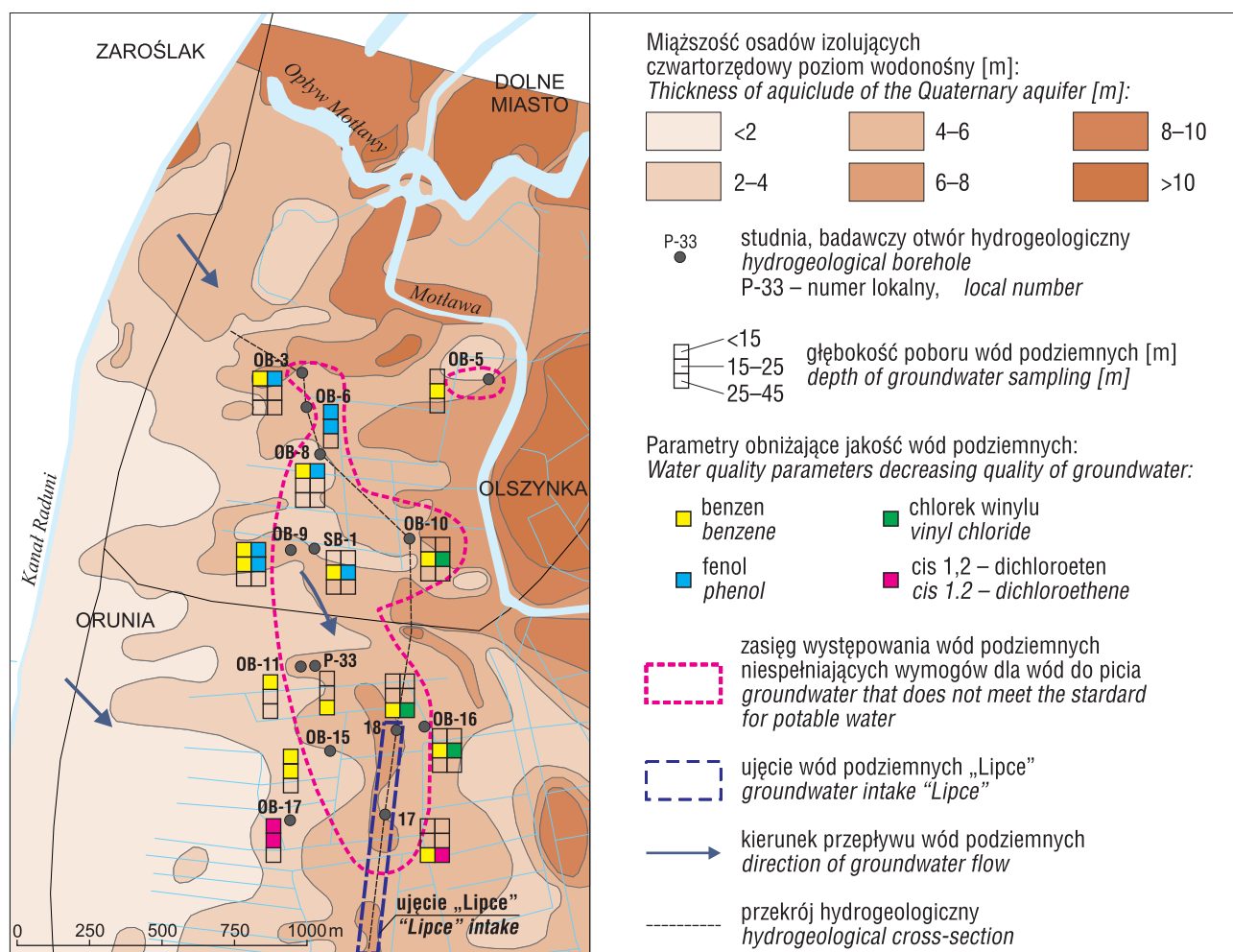
Podobne zmiany koncentracji benzenu w wodach podziemnych wystąpiły także w strefie ochronnej ujęcia „Lipce”. Najwyższe stężenia benzenu $7,22 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ stwierdzono w stropie czwartorzędowego poziomu wodonośnego w punkcie badawczym OB-11. W kierunku ujęcia jego koncentracja w stropie warstwy maleje – w OB-15 wynosiła $5,39 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, a w OB-18, usytuowanym tuż przy studni 17, benzenu nie wykryto. W głębszej części warstwy wodonośnej (strefa zafiltrowania studni na ujęciu) sytuacja jest odwrotna. W piezometrze P-33, zlokalizowanym tuż przy OB-11, koncentracja benzenu w 2013 r. wynosiła ok. $1 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, a w studni 17 ok. $2,1 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. W strefie pośredniej, w połowie odległości pomiędzy opisanymi otworami i w obrębie II (środkowej) strefy zafiltrowania, stężenie benzenu wynosiło $3,21 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ (OB-15).

Opisane prawidłowości wskazują, że praca studni wymusza ruch wody w kierunku filtra, pociągając ze sobą zanieczyszczenia. Wzdłuż przepływu stężenie benzenu

systematycznie maleje, co jest konsekwencją bocznego zasilania wodami niezanieczyszczonymi (ryc. 4.)

Badania wykazały, że w wodach podziemnych w rejonie ujęcia „Lipce” w strefie wód zanieczyszczonych oprócz benzenu występują także fenole. Rozprzestrzeniają się one stosunkowo wąskim pasmem na długości ok. 1 km (ryc. 4). Najwyższe stężenia fenoli obserwuje się w stropie plejstoceńsko-holocenijskiego poziomu wodonośnego. W otworach OB-3, OB-6 i OB-8 jego stężenie wynosiło odpowiednio: $0,065$, $0,069$, $0,300 \text{ mg}/\text{dm}^3$, co odpowiadało V klasie jakości wód. W próbkach wody pobranych z tych samych otworów, ale z głębokości 20 m, obecność fenoli stwierdzono tylko w otworze OB-6 ($0,016 \text{ mg}/\text{dm}^3$).

Wraz z oddalaniem się od pierwotnych ognisk skażenia fenolami nieznacznie wzrasta ich stężenie w głębi warstwy wodonośnej. W otworach OB-9 i SB-1, zafiltrowanych na głębokości ok. 20 m, stężenie wynosiło odpowiednio:



Ryc. 6. Rozkład chloroetenów, benzenu i fenolu w wodach podziemnych w rejonie ujęcia „Lipce”
Fig. 6. Distribution of the chloroethenes, benzene and phenol in groundwater of the “Lipce” intake area

0,048 i 0,043 mg/dm³, podczas gdy w otworze OB-9/1, ujmującym strop poziomu wodonośnego – 0,037 mg/dm³.

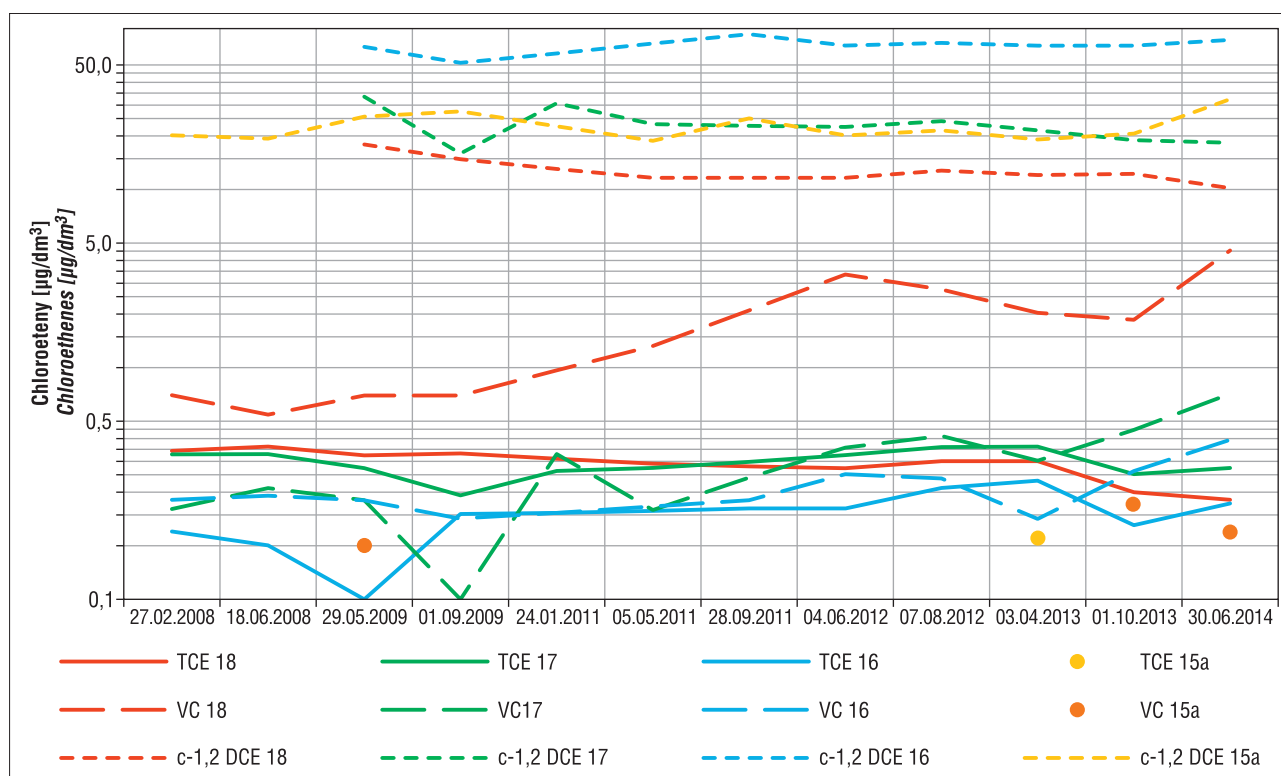
W północnych studniach ujęcia „Lipce” oraz w niektórych otworach obserwacyjnych odnotowano podwyższone zawartości lotnych związków chloroorganicznych oraz chlorku winylu (ryc. 6). Trichloroeten występował w ilościach (średnio ok. 0,25 µg/dm³) nieprzekraczających progu zdatności do spożycia dla wód pitnych. Natomiast w piezometrach, otaczających ujęcie od północy i wschodu, występował okresowo. W otworach obserwacyjnych P-30a, b, c i P-33 trichloroeten wykryto tylko raz, a w P-21c trzykrotnie. Najwyższą koncentrację trichloroetenu (2,7 µg/dm³) odnotowano w studni SB-2 na terenie ogródków działkowych przy ulicy Równej. Nie udało się ustalić źródeł pochodzenia tego zanieczyszczenia. Ze względu na ograniczony zasięg przyczyna mogła być incydentalna lub zanieczyszczenie wód trichloroetenem nastąpiło w odległym miejscu. W czasie przepływu wód mógł on ulec częściowej biodegradacji, o czym może świadczyć obecność w wodzie dichloroetenu. Epizodyczne występowanie trichloroetenu w wodach ze studni nieczynnych, przy jednoczesnej stałej obecności tam, gdzie zachodzi pobór wód, może oznaczać dopływ wód zanieczyszczonych trichloroetenem do studni ze spągu warstwy wodonośnej.

Spośród pozostałych lotnych związków chloroorganicznych stwierdzono podwyższoną zawartość 1,2-dichloro-

etenu w studniach 18, 17, F15a (ryc. 7). Jego stężenie wyniosło średnio ok. 20 µg/dm³, a w studni 16 utrzymywało się na poziomie >60 µg/dm³. Stężenia 1,2-dichloroetenu na poziomie >50 µg/dm³ stwierdzono także w trakcie prowadzenia prac badawczych w otworze OB-17 zarówno w stropie warstwy (104 µg/dm³), jak i na głębokości 20 m (116 µg/dm³). Otwór znajduje się w strefie splotu wód do studni 16, co może oznaczać, że w najbliższych latach wzrośnie w niej koncentracja 1,2-dichloroetenu.

Największe zagrożenie dla wód podziemnych, spośród wymienionych lotnych związków chloroorganicznych, stanowi chlórek winylu. Jego obecność w wodzie jest uznawana za wskaźnik oznaczający stare zanieczyszczenie, które uległo znacznej biodegradacji (Witczak i in., 2013). W rejonie ujęcia „Lipce” w 2008 r. występował on w studniach 18, 17 i 16, położonych w północnej części ujęcia.

Wyniki prowadzonych w 2014 r. badań wykazały, że stężenie chlorku winylu wzrosło i wyniosło 4,46 µg/dm³ w studni 18 i 0,71 µg/dm³ w studni 17. Było ono niemal dwukrotnie wyższe od wartości odnotowanych w latach 2012–2013. Natomiast koncentracja w piezometrach, otaczających ujęcie od północy, jest niższa, np. w piezometrze P-1g we wrześniu 2013 r. stężenie chlorku winylu wynosiło 1,25 µg/dm³, podczas gdy w maju 2014 r. było ono poniżej granicy oznaczalności. Na północ od ujęcia „Lipce” nie odnotowano obecności tego związku w stropowej części



Ryc. 7. Stężenie chloroetenów w studniach ujęcia „Lipce”: nr 18, 17, 16, 15a

Fig. 7. Concentration of the chloroethenes in “Lipce” intakes: boreholes 18, 17, 16, 15a

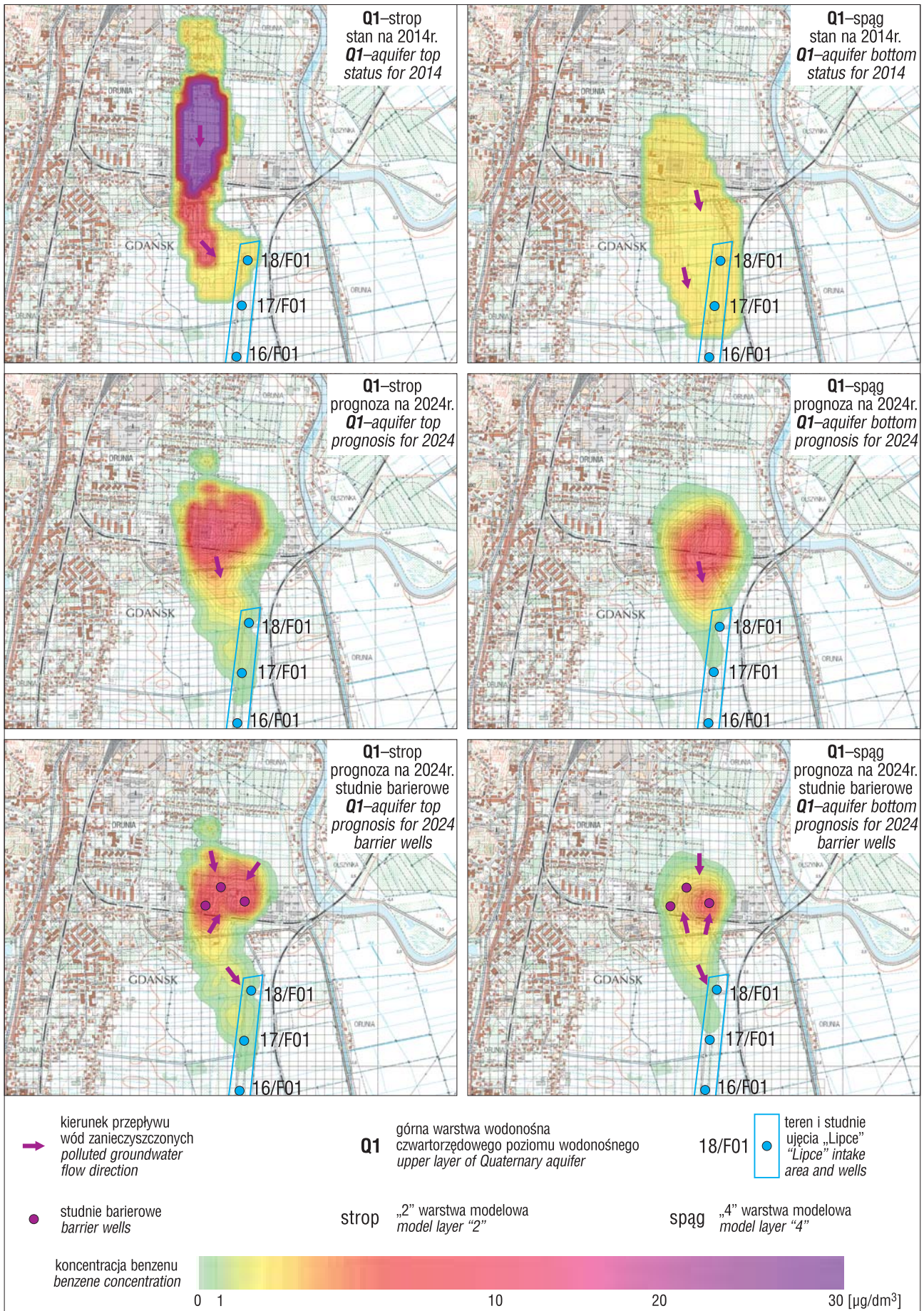
poziomu wodonośnego. Natomiast głębiej, w otworach OB-10 i OB-16 występował on w ilości odpowiednio: 2,46 i 2,24 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$. Wymienione otwory badawcze były położone na dopływie wód do studni 18, gdzie stężenie zanieczyszczeń było dotychczas na podobnym poziomie (Lidzbarski i in., 2014). Występowanie chlorku winylu w głębszych strefach poziomu wodonośnego może pośrednio świadczyć, że jest on pozostałością po przemianach tri- lub tetrachloroetenu, zapewne w wyniku biodegradacji. Potwierdza to także spadek stężenia trichloroetenu w studni 18, przy jednoczesnym wzroście zawartości chlorku winylu.

OCENA ZAGROŻEŃ I PROGNOZOWANIE ZMIAN HYDROCHEMICZNYCH

W rejonie ujęcia „Lipce” zagrożeniem dla wód podziemnych są: benzen, fenol oraz chloroetyleny. Najwyższe koncentracje tych związków występują w północnej części polderu „Orunia” w rejonie działek ogrodniczych „Sikorskiego” i „Okrzei”, gdzie stężenia przekraczają kilkadziesiąt razy dopuszczalne zawartości dla wód pitnych. Zanieczyszczona została stropowa część plejstoceno-holocenońskiej warstwy wodonośnej do głębokości 20–25 m. Strefa skażeń przemieszcza się w kierunku ujęcia „Lipce”, sięgając głębszych części warstwy wodonośnej, ujmowanej na ujęciu. Na drodze przepływu wód stężenia substancji zanieczyszczających maleją, ale w rejonie studni 18 i 17 nadal jeszcze przekraczają normy dla wód pitnych. Szacuje się, że całkowita powierzchnia, na której stężenie benzenu jest $>1 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ wynosi ok. 650 tys. m^2 , a objętość środowiska skalnego ok. 16 mln m^3 . Ilość wód skażonych prawdopodobnie przekracza 4 mln m^3 .

Bezpośrednim ogniskiem skażeń wód podziemnych były przypuszczalnie substancje smoliste, zalegające w osadach na dnie rowów melioracyjnych. Najprawdopodobniej pochodziły one ze znajdującego się dawniej w pobliżu Przedsiębiorstwa Produkcji Materiałów Budowlanych „Izolmat”. Przez dziesięciolecia do produkcji papy były używane substancje ropopochodne, a ścieki i odpady zrzucono do pobliskich rowów melioracyjnych.

Dynamika wód zanieczyszczonych benzenem i fenolami jest kształtowana poziomem eksploatacji wód podziemnych na ujęciu „Lipce”. Z tego powodu strefa skażeń rozprzestrzeniła się od północnej części polderu „Orunia” w kierunku studni 18 i 17. W centrum skażenia koncentracja benzenu wielokrotnie przekraczała dopuszczalne zawartości dla wód pitnych. Mimo że stężenie to zmniejszało się wraz ze strumieniem przepływających wód, to i tak w wodach z północnych studni ujęcia „Lipce” było ono wysokie. Dlatego tę część ujęcia należy uznać za zagrożoną. Skażenie może wzrastać w najbliższych latach przez dopływ wód z wyższą koncentracją benzenu. W celu nie dopuszczenia do rozprzestrzenienia się zanieczyszczeń na dalszą część ujęcia, należy utrzymać nieprzerwaną eksploatację studni 18 i 17 jako bariery ochronnej. Jak wykazały badania modelowe procesów hydrogeologicznych, strefa wód zanieczyszczonych będzie prawdopodobnie aktywna przez długi czas, może nawet kilkadziesiąt lat. Centrum skażeń będzie się przemieszczać w kierunku ujęcia i z tego względu w najbliższych latach, przejściowo mogą nawet wzrosnąć stężenia benzenu w wodach dopływających do ujęcia (ryc. 8). Być może dopiero po upływie kilkunastu lat woda ulegnie samooczyszczeniu do akceptowanego poziomu. Stanie się tak pod warunkiem, że ognisko skażeń, obejmujące substan-



Ryc. 8. Prognozowane zmiany stężenia i kierunki przemieszczania się benzenu w północnej części ujęcia „Lipce”
 Fig. 8. Forecasted changes of the concentration and migration directions of benzene in the northern part of the "Lipce" intake

cje smoliste w rowach melioracyjnych, nie będzie emitowało zanieczyszczeń do wód podziemnych. W przeciwnym przypadku, proces samooczyszczania wód będzie przebiegał znacznie wolniej.

Opracowany model procesów hydrogeologicznych pozwolił na ocenę skuteczności możliwych zabiegów, wspomagających proces samooczyszczania wód podziemnych. Analizowano wpływ dodatkowych studni barierowych zlokalizowanych na drodze przepływu zanieczyszczeń. Rezultat jednego z możliwych wariantów prezentuje rycina 8. Wyniki obliczeń pokazały, że skuteczność takich zabiegów może być niewystarczająca. Koncentracja skażeń w wodach podziemnych zostanie prawdopodobnie obniżona, ale trudne do osiągnięcia będzie całkowite zatrzymanie ich migracji w kierunku ujęcia. Przyczynią się do tego znaczne rozmiary strefy skażenia oraz charakter poziomu wodonośnego: duża miąższość i dobre warunki filtracji.

PODSUMOWANIE

Od kilku lat w dwóch studniach zlokalizowanych w północnej części ujęcia „Lipce” utrzymują się podwyższone stężenia benzenu, fenoli oraz lokalnie WWA i chlorku winylu. Konieczne stało się odprowadzanie wody z dwóch studni ujęcia do rowów melioracyjnych. W celu dokładnego rozpoznania charakteru i genezy zanieczyszczeń wykonano kilkadziesiąt tymczasowych otworów badawczych oraz pobrano próbki wody z istniejących piezometrów i rowów melioracyjnych. Wyniki badań pozwoliły wyznaczyć zasięg oraz kierunki przemieszczania się skażeń. Z uwagi na znaczny upływ czasu mają one charakter zanieczyszczeń

historycznych. Pochodzą prawdopodobnie z rowów melioracyjnych, do których w ubiegłym wieku były odprowadzane odpady z istniejących wtedy zakładów przemysłowych.

Badania modelowe procesów hydrochemicznych pozwoliły na sformułowanie prognoz oraz sprawdzenie metod rekultywacji wód podziemnych.

LITERATURA

- FRANKOWSKI Z. & ZACHOWICZ J. (red.) 2007 – Baza danych geologiczno-inżynierskich wraz z opracowaniem atlasu geologiczno-inżynierskiego aglomeracji Trójmiejskiej Gdańsk–Sopot–Gdynia. Państw. Inst. Geol., Oddział Geologii Morza, Gdańsk.
- 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.
- ODOJ M. & NARWOJSZ A. 2000 – Dokumentacja hydrogeologiczna Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 112 „Żuławy Gdańskie”. Przedsiębiorstwo Hydrogeologiczne Sp. z o.o., Gdańsk.
- PIKIES R. 2013 – Reambulacja Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1 : 50 000 arkusz Pruszcz Gdański (55) wraz z objaśnieniami. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- UŚCINOWICZ S. 1997 – Mapa Hydrogeologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Pruszcz Gdański (55). Państw. Inst. Geol., Oddział Geologii Morza, Gdańsk.
- WITCZAK S., KANIA J. & KMIECIK E. 2013 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa.



Ujęcie wody podziemnej „Lipce” w Gdańsku – stacja uzdatniania wody. Fot. z arch. GIWK Sp. z o.o.