

Czynniki kształtujące zasoby i chemizm wód podziemnych w rejonie aglomeracji gdańskiej

Mirosław Lidzbarski¹, Krzysztof Sokołowski¹, Rafał Warumzer¹

Factors affecting resources and chemistry of groundwater in the Gdańsk agglomeration area. Prz. Geol., 64: 389–398.

Abstract. The purpose of this article is to identify the main factors influencing groundwater resources and chemistry in the area of the Gdańsk agglomeration. Two groups of factors were identified: natural – including physico-geographical location, geological structure and hydrogeological conditions and also anthropogenic impact. The studied area is located within a few morphological units: Kashubian Lakeland, Coastal Terrace and Żuławy Gdańskie (Gdańsk Delta Plain). Each of the above unit is characterized by diverse geological structure and lithology of sediments, which in turn affects the diversity of hydrogeological conditions of multiaquifer formations from Pleistocene to the Upper Cretaceous. Groundwater circulation system includes so-called Gdańsk aquifer system. The main recharge area covers the Kashubian Lakeland. The discharge zone includes Coastal Terrace and Żuławy Gdańskie. The aquifers are confined to varying degree which has a direct impact on the rate of contaminants migration. Anthropogenic pollutions are induced by: industry, transport, development and intensive exploitation of groundwater resources. The geogenic risks that affect aquifers in of the Gdańsk agglomeration are: salt water intrusion, brines ascent and fluoride hydrogeochemical anomaly in water from the Upper Cretaceous aquifer in Żuławy Gdańskie.

Keywords: chemistry and groundwater resources, groundwater in the Gdańsk agglomeration, groundwater vulnerability

Wpływ na zasoby i chemizm wód podziemnych w rejonie Gdańska i Sopotu mają czynniki geograficzne, geologiczne, hydrogeologiczne oraz antropogeniczne. Spośród uwarunkowań geograficznych istotną rolę pełni specyficzne położenie aglomeracji oraz bardzo urozmaicona rzeźba terenu. Ważne są także warunki klimatyczne, zwłaszcza rozkład opadów oraz układ hydrograficzny. Budowa geologiczna zaś wpływa bezpośrednio na układ hydrostrukturalny oraz skład litologiczny poziomów i warstw wodonosnych.

Podstawowym czynnikiem kształtującym stan wód podziemnych, a zwłaszcza ich zasoby i jakość, są warunki hydrogeologiczne. Elementem, od którego zależy stan ilościowy i chemiczny wód podziemnych jest także działalność człowieka. Wszystkie te czynniki są omówione w tej publikacji.

POŁOŻENIE I WARUNKI FIZYCZNOGEOGRAFICZNE

Gdańsk i Sopot (ryc. 1) są miastami nadmorskimi – nad Zatoką Gdańską. Ponadto część Gdańska leży na terenie Żuław Gdańskich, a swoimi granicami sięga Pobrzeża oraz wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego. Unikatowe położenie ma duży wpływ na warunki klimatyczne, hydrologiczne i hydrogeologiczne. Charakterystyczną cechą ukształtowania obszaru aglomeracji gdańskiej jest bardzo urozmaicona rzeźba oraz znaczne deniwelacje terenu, co jest efektem działalności w przeszłości geologicznej: lądolodu, morza, rzek i wiatru. Występują tu różnorodne formy terenu: wysoczyzny i pagórki morenowe, stożki napływowe, sandry, taras nadmorski, obszary depresyjne, delta, doliny rzeczne, klif, mierzeja i piaszczyste wzniesienia (wydmy).

Na obszarze badań wyróżnić można następujące jednostki fizycznogeograficzne: Żuławy Gdańskie, Taras Nadmorski oraz Pojezierze Kaszubskie. Spełniają one bardzo

istotną rolę w zaopatrzeniu w wodę mieszkańców Gdańska i Sopotu, tutaj są zlokalizowane największe ujęcia komunalne.

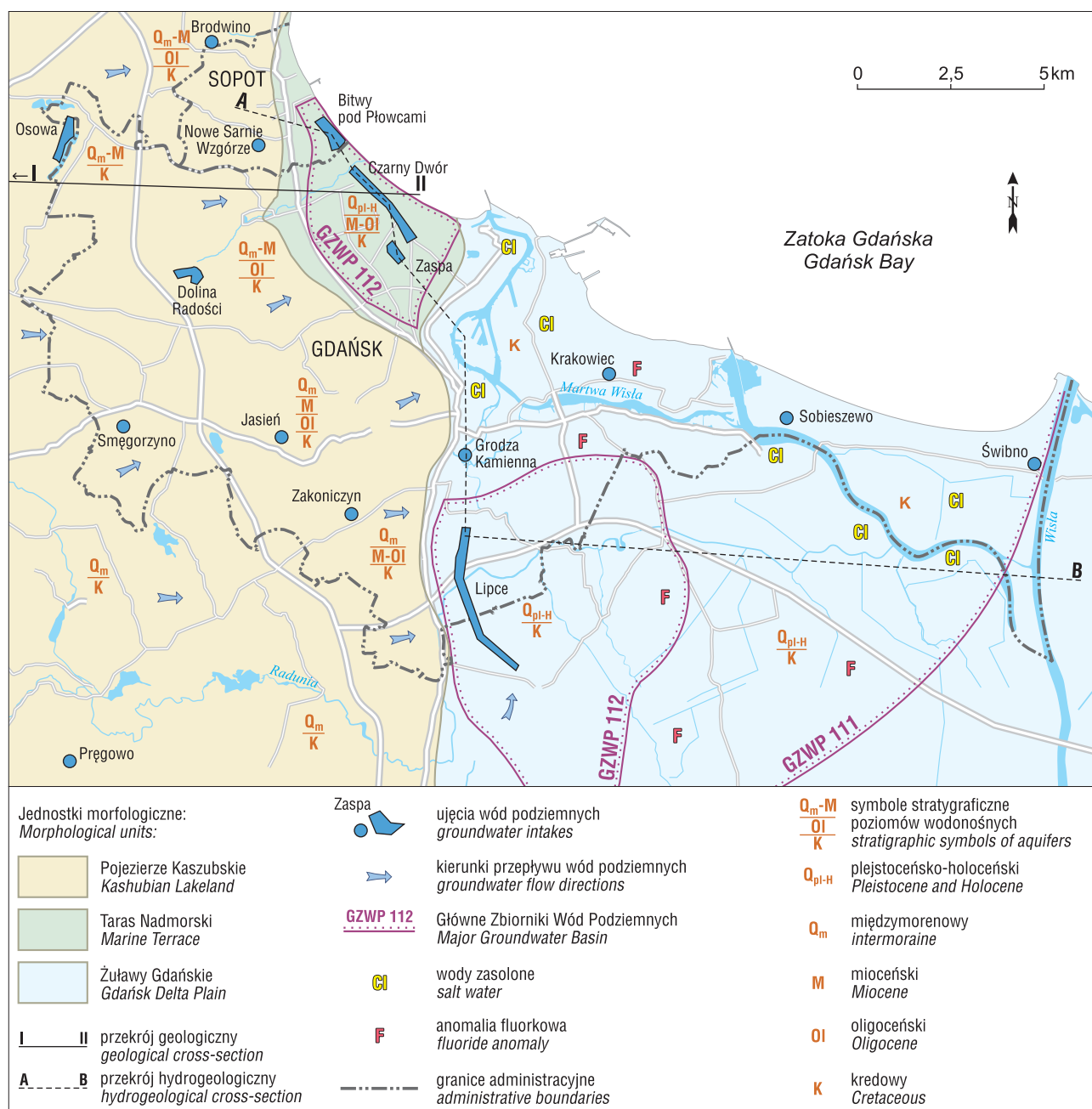
Żuławy Gdańskie są położone między Wisłą a krawędzią morfologiczną Pojezierza Kaszubskiego i obejmują południowo-wschodnie dzielnice Gdańska. Stanowią płaską równinę o rzędnych powierzchni terenu zbliżonych do poziomu morza. Naturalna sieć hydrograficzna i stosunki wodne są od stuleci przekształcane przez prace hydrotechniczne. Na terenach depresyjnych poziom wód jest sztucznie regulowany.

Na północny zachód od Żuław Gdańskich, między wysoczyzną Pojezierza Kaszubskiego a Zatoką Gdańską, jest położony Taras Nadmorski. Jest to obszar o powierzchni około 15 km², który obejmuje wschodnią część Gdańska i Sopotu. Stanowi płaską równinę erozyjno-akumulacyjną wzniesioną na wysokości 10–30 m n.p.m., nachyloną w kierunku Zatoki Gdańskiej.

Na zachód od Żuław Gdańskich i Tarasu Nadmorskiego rozprzestrzeniają się wysoczyzny morenowe Pojezierza Kaszubskiego. Ich powierzchnia, która obejmuje zachodnią część aglomeracji gdańskiej, jest urozmaicona i wznosi się do rzędnej 180 m n.p.m.

Na granicy Pojezierza Kaszubskiego z nizinami nadmorskimi został wykształcony system stożków napływowych i form denudacyjnych. Największe z nich występują na Tarasie Nadmorskim oraz na Żuławach Gdańskich. W Sopocie wysoczyzna Pojezierza Kaszubskiego zbliża się bezpośrednio do linii brzegowej Zatoki Gdańskiej, tworząc wybrzeża klifowe. Wschodnią część Pojezierza Kaszubskiego rozcinają liczne doliny erozyjne, których głębokość osiąga miejscami nawet 60 m. Obszar ten, zwany „strefą krawędziową”, rozprzestrzenia się wzdłuż granicy wysoczyzny pasem o szerokości kilku kilometrów. Obejmuje zachodnie dzielnice Gdańska i Sopotu wraz z przylegającymi gminami. Znajdują się tutaj źródła potoków: Strzyży, Potoku Olińskiego i Sweliny.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Geologii Morza, ul. Kościarska 5, 80-328 Gdańsk; mirosław.lidzbarski@pgi.gov.pl, krzysztof.sokolowski@pgi.gov.pl.



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań
Fig. 1. Location of the study area

Na obszarze Gdańska i Sopotu najważniejszym czynnikiem kształtującym klimat jest oddziaływanie oceanicznych mas powietrza z zachodu, chociaż niekiedy napływa powietrze z innych stron – kontynentalne, zwrotnikowe i arktyczne. Zaznacza się także oddziaływanie mas powietrza o cechach morskich znad Morza Bałtyckiego. Powoduje to dużą zmienność pogody.

Na zróżnicowane warunki termiczno-wilgotnościowe wpływa także urozmaicona rzeźba terenu. Średnia roczna temperatura jest zróżnicowana od 7,2°C (w Rębiechowie) do 9,0°C (w Porcie Północnym). Najcieplejszym miesiącem w południowej części aglomeracji gdańskiej jest lipiec, w którym temperatury wahają się od 17,0°C (w Rębiechowie) do ponad 18,5°C (w Porcie Północnym). Najchłodniejszym miesiącem jest styczeń ze średnią temperaturą od -1,5°C (w Rębiechowie) do 0,5°C (w Porcie Północnym).

Roczne sumy opadów atmosferycznych wynoszą od ok. 480 mm w strefie nadmorskiej do ponad 600 mm na Pojezierzu Kaszubskim, zaś najwyższe miesięczne (ok. 70 mm) są notowane w lipcu. Najmniejsza średniomiesięczna suma opadów przypada w lutym (od 16 do 27 mm). Pokrywa śnieżna może utrzymywać się od końca października do połowy kwietnia. Wyższe opady atmosferyczne w zachodnich dzielnicach Gdańska i Sopotu bezpośrednio wpływają na kształtowanie zasobów odnawialnych wód podziemnych.

Obszar badań leży w przeważającej części w zlewni Martwej Wisły. Jedynie w północno-zachodniej części Gdańska oraz w Sopocie występują obszary, należące do bezpośredniej zlewni Bałtyku. Główną rzeką jest Wisła wraz z jej ramionami ujściowymi – Martwą Wisłą (Leniwka), Wisłą Śmiałą oraz Przekopem Wisły. Do większych rzek Gdańska należy także Motława wraz z lewobrzeżnym

dopływem Radunią, na której w Straszynie znajduje się powierzchniowe ujęcie wód dla Gdańska. Istotną rolę hydrograficzną pełni również Kanał Raduni. Mniejszymi ciekami są: Rozwójka (lewobrzeżny dopływ Martwej Wisły), Strzyża oraz dopływy Kanału Raduni – Potok Oruński i Potok Siedlecki. Bezpośrednio do Zatoki Gdańskiej uchodzą Potok Oliwski i Strzyża w Gdańsku oraz Swelina w Sopocie. Tak złożony układ hydrograficzny, z dominującym wpływem delty Wisły, odgrywa istotną rolę w systemie krążenia wód podziemnych.

Sąsiedztwo Zatoki Gdańskiej powoduje ścieranie się wpływów wód lądowych i morskich. Mały spadek Martwej Wisły i Motławy sprawia, że wezbrania sztormowe, wynoszące często 0,6 m, mogą sięgać daleko w głąb lądu i powodować zasolenie wód. Wpływ spiętrzeń obejmuje również sieć kanałów melioracyjnych i kanałów portowych. W efekcie słone wody Zatoki Gdańskiej stanowią ciągłe zagrożenie dla jakości wód podziemnych do celów użytkowych i tym samym ich zasobów. W przypadku zachwiania równowagi hydrodynamicznej systemu wodonośnego mogą one migrować do ujmowanych warstw wodonośnych.

BUDOWA GEOLOGICZNA

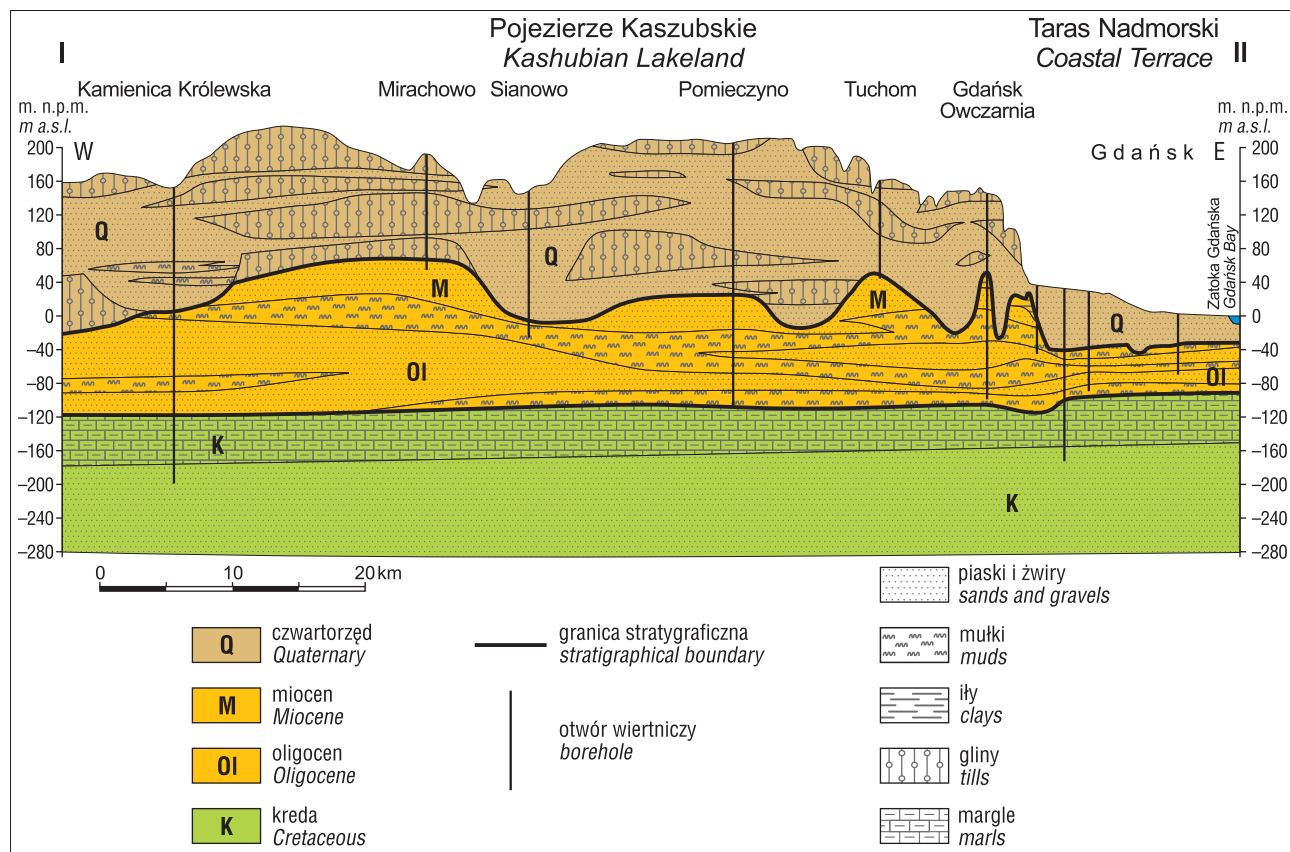
Gdańsk i Sopot są położone na skraju syneklizy perybałtyckiej. Podłoże krystaliczne stwierdzono na głębokości ok. 3500 m. Na nim leży kompleks osadów paleozoiczno-mezozoicznych o miąższości ok. 3100 m.

Utwory kredy cechuje trójdzielność (ryc. 2). W spągu występują mułowce, mułki, piaskowce i iłowce. Z uwagi na cechy litologiczne najczęściej przyjmuje się, że stano-

wią one granicę aktywnej strefy wymiany wód (Sadurski, 1989). Młodsza seria osadowa stanowią piaski kampanu i santonu, określane mianem gdańskiego zbiornika górno-kredowego. Występują one powszechnie, ich miąższość w rejonie Gdańska i Sopotu jest zróżnicowana i wynosi od 100 do 150 m. Strop kredy górnej stanowią utwory serii węglanowo-krzemionkowej. Istotne znaczenie dla formowania się składu chemicznego wód poziomu kredowego ma obecność minerałów fluoronośnych (fluoroapatytów), które wpływają na wysokie zawartości fluoru w wodach podziemnych o odczynie słabo zasadowym (Kozerski i in., 1987).

Utwory neogenu i paleogenu są reprezentowane najczęściej przez osady oligocenu i miocenu, tylko w delcie Wisły zostały całkowicie usunięte w wyniku procesów erozji lodowcowej oraz rzecznej. W osadach oligocenu przeważają piaski kwarcowo-glaukonitowe oraz iły, mułki i mułowce, a miocenu – piaski drobnoziarniste i mułki, występujące na większości obszaru Pojezierza Kaszubskiego, z wyjątkiem delty Wisły i rynien egzaracyjnych. Miąższość tych utworów jest znacznie zróżnicowana, największa na obszarze Pojezierza Kaszubskiego, gdzie przekracza 100 m (Pikies & Zaleszkiewicz, 2013).

Osady plejstocenu występują na całym omawianym obszarze ciągią pokrywają. Ich miąższość jest bardzo zmienna: od ponad 150 m na Pojezierzu Kaszubskim do kilku metrów w strefie krawędziowej wysoczyzny. Stanowią je naprzemianległe kompleksy osadów wodnolodowcowych, lodowcowych, zastoiskowych i rzecznych prawie wszystkich ogniw plejstocenu. Szczególnie skomplikowany układ tych osadów, ze względu na zaburzenia glaciektoniczne, występuje w strefie krawędziowej Pojezierza Kaszubskiego.



Ryc. 2. Przekrój geologiczny gdańskiego systemu wodonośnego
Fig. 2. Geological cross-section of the Gdańsk multi-aquifer formation

Na Żuławach Gdańskich strop osadów plejstocenu przykrywa kilkunasto- do 30-metrowy kompleks utworów holocenijskich. Dominują utwory organiczne namuły, mady i torfy serii korytowej wraz z utworami piaszczystymi: piaski oraz żwiry rzeczne i rzeczno-morskie (Pikies & Zaleszkiewicz, 2013). Pod utworami serii deltowej występuje warstwa piaszczysto-żwirowych osadów plejstocenijskich. Jej miąższość jest zróżnicowana, w zachodniej i północnej części Żuław Gdańskich niekiedy przekracza 60 m.

W profilu pionowym Tarasu Nadmorskiego przeważają utwory piaszczyste, miejscami nadbudowane osadami organicznymi (torfy). Miejscami zaznaczają się frakcje znacznie grubsze – otoczaki i glazy.

W budowie geologicznej omawianego obszaru szczególnie istotny jest udział osadów wodoprzepuszczalnych. Litologia utworów powierzchniowych ma bezpośredni wpływ na infiltrację wód opadowych i jest decydującym czynnikiem kształtującym wysokość zasobów odnawialnych. W strefie nadmorskiej na powierzchni przeważają utwory piaszczyste i piaszczysto-żwirowe, a wody podziemne występują płytko pod powierzchnią terenu. Sytuacja ta sprzyja wzmożonej infiltracji opadów, a z drugiej strony obniża naturalną odporność wód podziemnych na zagrożenia antropogeniczne. Kompleksy osadów słabo przepuszczalnych, zwłaszcza na tych obszarach, gdzie wykazują znaczne rozprzestrzenienie i dużą miąższość, wpływają na system krążenia wód podziemnych oraz wzajemne kontakty hydrauliczne między piętrami wodonośnymi.

Litologiczne wykształcenie osadów zalegających na powierzchni wpływa na warunki zasilania systemu wodonośnego. Najkorzystniejsze warunki występują na niezabudowanych obszarach Tarasu Nadmorskiego, ponieważ na powierzchni terenu przeważają utwory piaszczyste i piaszczysto-żwirowe (ryc. 2). Odmienna sytuacja jest na Żuławach Gdańskich, gdzie znaczną część terenu przykrywają półprzepuszczalne osady holocenu (namuły, gytie). W części wysoczyznowej, tj. południowej części aglomeracji gdańskiej, z uwagi na występowanie na znacznej powierzchni glin zwałowych, przeważają obszary o średnich warunkach infiltracji. Osady bardzo dobrze i dobrze przepuszczalne są związane z obszarami występowania piasków fluwiogłacjalnych i sandrów.

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Do najistotniejszych czynników, wpływających na zasobność systemu wodonośnego oraz chemizm wód podziemnych, należą warunki hydrogeologiczne. System wód podziemnych w południowej części aglomeracji gdańskiej charakteryzuje się dużą zmiennością warunków hydrostrukturalnych i hydrodynamicznych. Wynika to z morfologii i urozmaiconego ukształtowania terenu, złożonej budowy geologicznej, zmiennej litologii osadów, zróżnicowanej miąższości i rozprzestrzenienia warstw oraz współwystępowania zbiorowisk wodonośnych o różnej genezie. Z uwagi na tak duże zróżnicowanie można wydzielić następujące jednostki hydrogeologiczne: wysoczyznowe, deltowe, mierzejowe, sandrowe, dolinne, dolin kopalnych oraz głębokie struktury o charakterze subniecki. W profilu pionowym system jest rozbudowany na piętra i poziomy wodonośny, nawiązujące do wydzieleni stratygraficznych.

WYSTĘPOWANIE WÓD PODZIEMNYCH

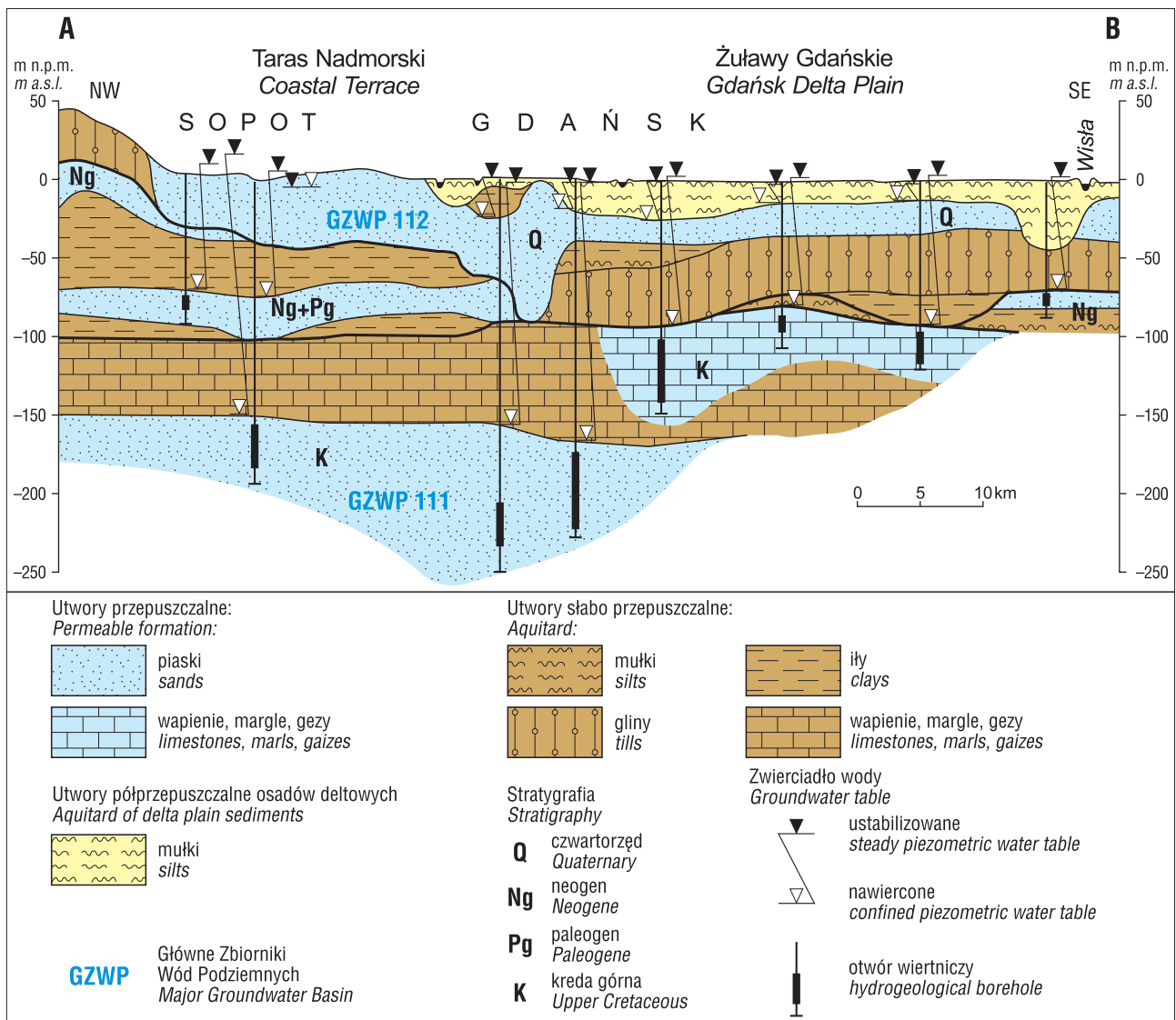
Uwzględniając główne ogniwa stratygraficzne i warunki litologiczne, można wyróżnić:

- w obrębie piętra czwartorzędowego – poziom plejstocenijsko-holocenijski (Qpl-H) i poziomy międzymorenowy (Qm-I, Qm-II, Qm-III);
- w piętrze neogeńskijsko-paleogeńskijskim – poziom miocenijski (M) i oligocenijski (O);
- w obrębie kredowego piętra wodonośnego (K) – poziom wód szczelinowych i poziom wód porowych.

Wymienione poziomy wodonośne są powiązane w spójnym systemie obiegu wody i stanowią podstawę gdańskiego systemu wodonośnego (Kozerski, 2001).

Czwartorzędowe piętro wodonośne występuje na całym omawianym terenie. Na Pojezierzu Kaszubskim zostały rozpoznane trzy poziomy międzymorenowe. Pierwszy (Qm-I) i drugi (Qm-II) są związane z piaszczysto-żwirowymi osadami zlodowacenia wisty i zlodowaceń środkowopolskich, natomiast poziom podglinowy (Qm-III) występuje w piaskach zlodowaceń południowopolskich. Poziomy międzymorenowe miejscami są nieciągłe i wykazują dużą zmienność w wykształceniu litologicznym. W strefie krawędziowej jest całkowicie zredukowany pierwszy poziom międzymorenowy, a drugi najczęściej pozostaje w bezpośrednim kontakcie hydraulicznym z warstwami wodonośnymi miocenu, tworząc wspólny poziom czwartorzędowo-miocenijski (Q-M). Poziomy międzymorenowe występują zwykle na głębokości od 10 do 100 m. Są one zbudowane z piasków drobno- i średnioziarnistych o miąższości 5–40 m. Lokalnie w dolinach kopalnych poziom podglinowy (Qm-III), związany z utworami zlodowaceń południowopolskich, pozostaje najczęściej w kontakcie z osadami wodonośnymi miocenu lub oligocenu. Zwierciadło wody jest swobodne lub pod niewielkim ciśnieniem, najwyżej stabilizuje się w zachodniej części aglomeracji gdańskiej (60–80 m n.p.m.). Opada ono w kierunku Tarasu Nadmorskiego, Żuław Gdańskich oraz doliny Raduni. W strefie krawędziowej Pojezierza Kaszubskiego najczęściej są ujmowane wody drugiego poziomu wodonośnego oraz poziomu czwartorzędowo-miocenijskiego (np. ujęcie „Osowa”, „Dolina Radości”, „Łostowice–Zakoniczyn”).

Na Tarasie Nadmorskim i Żuławach Gdańskich najważniejszą rolę pełni plejstocenijsko-holocenijski poziom wodonośny (Qpl-h), ponieważ stanowi podstawę zaopatrzenia aglomeracji gdańskiej w wodę (Kozerski, 1990, 2007). Wody podziemne występują najczęściej w piaskach i żwirach plejstocenu. W jego skład wchodzi również piaszczyste osady serii deltowej. W strefie przykrawędziowej poziom plejstocenijsko-holocenijski jest nadbudowany piaszczystymi utworami stożków napływowych, a na mierzei piaskami morskimi. Strop warstwy wodonośnej zalega płytko pod powierzchnią terenu, na głębokości od jednego do kilkunastu metrów. Miejscami utwory te są przykryte półprzepuszczalnymi osadami facji zastoiskowej. Miąższość warstwy na ogół wynosi 25–40 m. Na Żuławach Gdańskich wzdłuż zachodniej krawędzi wysoczyzny, gdzie występuje głęboka rynna wypełniona utworami piaszczystymi, wzrasta ona do 60 m (ryc. 3). Na podstawie wyjątkowo korzystnych parametrów hydraulicznych warstw wodonośnych został wyodrębniony Główny Zbiornik Wód Podziemnych (GZWP) nr 112. Stanowi on podstawę zaopatrzenia syste-



Rys. 3. Zgeneralizowany przekrój hydrogeologiczny w rejonie Gdańska
Fig. 3. Generalized hydrogeological cross-section in the Gdańsk region

mu wodociągowego Gdańska i Sopotu. Wody zbiornika są od lat eksploatowane przez największe ujęcia komunalne: „Bitwy pod Płowcami”, „Czarny Dwór”, „Zaspa” i „Lipce” oraz liczne ujęcia zakładowe (Kozerski, 2007).

Miocenijski poziom wodonośny (M) jest związany z piaskami drobnoziarnistymi, często pylastymi. Najpłycej (na głębokości 10–50 m) występuje w strefie krawędziowej Pojezierza Kaszubskiego, w bezpośrednim kontakcie z warstwami czwartorzędu (Q-M). W kierunku zachodnim zalega głębiej od 50 do 100 m. Miąższość osadów wodonośnych jest bardzo zmienna: od kilkudziesięciu metrów na Pojezierzu Kaszubskim, do kilku lub kilkunastu metrów na Tarasie Nadmorskim. Największa jest w strefach kontaktu hydraulicznego z osadami plejstocenu, np. w strefie krawędziowej osiąga 70 m. Zwierciadło wody o ciśnieniach subartezyjskich stabilizuje się najwyżej w północnej części Pojezierza Kaszubskiego (80–90 m n.p.m.). Obniża się w kierunku Tarasu Nadmorskiego, Żuławy Gdańskich i doliny Raduni, gdzie są drenowane wody mioceńskie poziomu wodonośnego. Wody mioceńskie i czwartorzędowo-mioceńskie poziomu wodonośnego są eksploatowane ujęciem komunalnym „Brodwino” w Sopocie.

Oligocenijski poziom wodonośny (O1) obejmuje piaski kwarcowe, glaukonitowe drobno- i różnoziarniste, miejscami ze żwirem. Występuje on na całym omawianym obszarze z wyjątkiem Żuławy Gdańskich i głębokich struktur w podłożu plejstocenu, najczęściej zalegając na rzędnej od –80 do –60 m n.p.m (ryc. 3). Miąższość warstwy wodonośnej oscyluje między 5 a 30 m. Wydajności eksploatacyjne studni są najwyższe na Tarasie Nadmorskim, powyżej 70 m³/h, na pozostałym obszarze przeważnie wahają się między 40 a 60 m³/h. Subartezyjskie zwierciadło wód podziemnych najwyżej stabilizuje się na Pojezierzu Kaszubskim (ok. 60–100 m n.p.m.). W okresie poprzedzającym eksploatację w strefie krawędziowej i na Tarasie Nadmorskim zwierciadło wody stabilizowało się nad poziomem terenu, nawet 35 m (w Brodwinie). Główne ujęcia eksploatujące ten poziom wodonośny są zlokalizowane w Sopocie (ujęcie komunalne „Bitwy pod Płowcami”) i w Gdańsku (ujęcie komunalne „Czarny Dwór” oraz zakładowe ujęcie elektrociepłowni EDF Oddział Wybrzeże w Gdańsku).

Wodonośne utwory piętra kredowego występują powszechnie w rejonie Gdańska. Są to glaukonitowe piaski górnokredowego zbiornika wód podziemnych (wody poro-

Tab. 1. Parametry hydrogeologiczne głównych poziomów wodonośnych w rejonie Gdańska
Table 1. Hydrogeological parameters of the main aquifers in the region of Gdańsk

Poziom wodonośny <i>Aquifer</i>	m [m]	Q_p [m ³ /h]	Główne ujęcia <i>Major groundwater intake</i>	Obszar zasilania <i>Recharge area</i>		Baza drenażu <i>Discharge area</i>
Nr GZWP <i>MGB number</i>	k [m/h]			Zwierciadło wody <i>Groundwater table</i> [m n.p.m.]		
Taras Nadmorski / Coastal Terrace – GDAŃSK, SOPOT						
Qpl-h	20–100	40–150	„Bitwy pod Płowcami”, „Czarny Dwór”, „Zaspa Wodna”, „Lipce”	PK	TN	ZG, MW kanały portowe <i>waterways</i>
GZWP 112	0,36–1,80			80–100	5–40	0–10
OI	10–30	30–90	„Bitwy pod Płowcami”, „Czarny Dwór”,	PK		ZG
	0,3–1,0			90	0–20	
K	30–50	60–90	„Bitwy pod Płowcami”, „Czarny Dwór”, „Zaspa Wodna”	PK		ZG
	GZWP 111			0,15–0,72	80	0
Żuławy Gdańskie / Gdańsk Delta Plain – GDAŃSK						
Qpl-h	20–100	40–150	„Lipce”, „Grodzka Kamienne” (nieczynne)	PK		ZG, MW, RM
GZWP 112	0,3–1,2			80–100	lokalnie / <i>locally</i> ŻG	
		K	100–150	PK		ZG
GZWP 111	0,2–0,7	60–90	„Lipce”, „Grodzka Kamienne” (nieczynne)	90	0	
Strefa krawędziowa Pojezierza Kaszubskiego / Marginal zone of the Kashubian Lakeland – GDAŃSK, SOPOT						
Qm-I	20–40	40–90	niewielkie ujęcia indywidualne i zakładowe <i>minor household and industrial wells</i>	PK		rz. Radunia, lokalne ciek <i>Radunia River; local watercourses</i>
	0,3–1,0			80–100	30–90	
Qm-II Q-M M	5–40	10–75	„Brodwino”, „Osowo”, ujęcia zakładowe i wiejskie <i>industrial and rural wells</i>	PK		ŻG, TN, rz Radunia
	0,35–1,3			90	5–90	

Objaśnienia: m – miąższość poziomu wodonośnego, k – współczynnik foltracji, Q_p – wydajność potencjalna studni; PK – Pojezierze Kaszubskie, TN – Taras Nadmorski, ŻG – Żuławy Gdańskie, ZG – Zatoka Gdańska, MW – Martwa Wisła, RW – rowy melioracyjne na Żuławach Gdańskich.

Poziomy wodonośne: Qpl-h – plejstoceńsko-holoceni, Qm – międzymorenowy (I – pierwszy, II – drugi), M – mioceni, OI – oligoceni, K – kredowy.

Explanation: m – aquifer thickness, k – hydraulic conductivity, Q_p – well's potential discharge; PK – Kashubian Lakeland, TN – Coastal Terrace, ŻG – Żuławy Gdańskie (Vistula River Delta), ZG – Gdańsk Bay, MW – Martwa Wisła (Dead Vistula), RM – drainage ditches.

Aquifer: Qpl-h – Pleistocene and Holocene, Qm – intermoraine (first and second), M – Miocene, OI – Oligocene, K – Cretaceous.

we) oraz lokalnie płycej zalegającej serii węglanowo-krzemionkowej (wody szczelinowe). Wody górnokredowego zbiornika są związane głównie z drobnoziarnistymi piaskami kampanu i santonu. Osady te tworzą rozległą strukturę hydrogeologiczną, rozprzestrzeniającą się w całym rejonie gdańskim zwaną subniecką gdańską (Sadurski, 1989). Wschodnia jej część została objęta granicami GZWP nr 111. Miąższość warstwy wodonośnej jest największa w rejonie Gdańska, gdzie wynosi 150 m. Wody piętra kredowego, a zwłaszcza subniecki górnokredowej, są od wielu lat ujmowane licznymi ujęciami komunalnymi i zakładowymi aglomeracji. Zwierciadło wody najwyżej stabilizuje się na terenie Pojezierza Kaszubskiego, skąd opada w kierunku północnym i ku Zatoce Gdańskiej. Na terenie Tarasu Nadmorskiego i Żuław Gdańskich, w warunkach niezaburzonych eksploatacją, zwierciadło wody stabilizuje się nad poziomem terenu. Główne parametry omówionych poziomów wodonośnych przedstawia tabela 1.

DYNAMIKA I SYSTEM OBIEGU WÓD PODZIEMNYCH

Struktura gdańskiego systemu wodonośnego obejmuje różne jednostki hydrogeologiczne oraz piętra wodonośne

od czwartorzędu aż do kredy górnej. Zasadniczy obszar zasilania jest położony poza granicami południowej części aglomeracji gdańskiej, na terenie Pojezierza Kaszubskiego. Znaczne deniwelacje terenu powodują, że system krążenia jest bardzo rozbudowany w profilu pionowym do głębokości kilkuset metrów na obszarze wysoczyzn, a w strefie brzegowej morza do kilkudziesięciu metrów.

Największa infiltracja efektywna zachodzi na Pojezierzu Kaszubskim: w zachodniej części przekracza 250 mm/rok, a w strefie krawędziowej waha się od 50 do 200 mm/rok. Poziom mioceni jest zasilany strumieniem filtracyjnym z piętra czwartorzędowego, natężenie wynosi od kilkudziesięciu do ponad 100 mm/rok. Dalsza infiltracja opadów atmosferycznych w głąb systemu wodonośnego jest jednak znacznie ograniczona i w oligocenie nie przekracza 50 mm/rok (Lidzbarski & Kordalski, 2003). Jeszcze mniejsza jest w piętrze kredowym – do 20 mm/rok (Sadurski, 1989).

Obszar tranzytu wód najwyraźniej występuje w strefie krawędziowej Pojezierza Kaszubskiego i obejmuje zachodnie dzielnice Gdańska i Sopotu. Cechują go znaczne spadki zwierciadła wód podziemnych. W obrębie głęboko wciętych dolin rzecznych znajdują się rejon intensywnych przepływów pionowych do płytszych warstw wodonośnych, zwłaszcza z poziomu mioceni do poziomów

czwartorzędowych. Miejscami warunki hydrogeologiczne są bardzo skomplikowane, ponieważ przeważają przepływy wód przez utwory słabo i półprzepuszczalne. Występują także strefy, gdzie zachodzi bezpośredni kontakt między poziomami międzymorenowymi a plejstoceno-holoceno poziomem wodonośnym. Do takich obszarów, szczególnie uprzywilejowanych przepływów lateralnych, należy Sopot.

Główne strefy drenażu wód są związane z Zatoką Gdańską, obszarem Żuław Gdańskich i Tarasem Nadmorskim. Struktury wodonośne w granicach tych jednostek bezpośrednio i pośrednio odbierają wody ze wszystkich poziomów wodonośnych, występujących na Pojezierzu Kaszubskim. Z tego względu obszar ten należy do najzasobniejszych w regionie gdańskim. W okresie poprzedzającym intensywną eksploatację wód podziemnych dominowały tu przepływy pionowe skierowane ku powierzchni terenu. W miejscach bezpośrednich kontaktów hydraulicznych między poziomami wodonośnymi, przekraczały nawet wartość efektywnej infiltracji opadów atmosferycznych. Obecnie, w rejonach największych ujęć komunalnych, naturalny kierunek drenażu wód jest odwrócony. Przyczyniły się do tego zmienione warunki hydrodynamiczne wywołane wieloletnią eksploatacją wód podziemnych.

Między głównymi strefami drenażu wód gdańskiego systemu wodonośnego występują zasadnicze różnice.

Na Tarasie Nadmorskim dominuje przepływ lateralny we wszystkich poziomach wodonośnych, skierowany bezpośrednio do Zatoki Gdańskiej. Występują nieliczne ciekłe drenujące wody plejstoceno-holoceno poziomu wodonośnego. W efekcie na obszarze Tarasu Nadmorskiego odnawialność wód jest wysoka, a ich skład chemiczny jest typowy dla wód młodoglacjalnych o krótkim reżimie przepływu. Intensywny przepływ lateralny umożliwia eksploatację wód podziemnych nawet w sąsiedztwie brzegu morskiego, bez negatywnych skutków dla rezerw i składu chemicznego.

Na Żuławach Gdańskich podobny charakter systemu wodonośnego występuje tylko w strefie bezpośrednio przylegającej do wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego. Skupiają się tam wszystkie strumienie przepływu lateralnego, a poziom kredowy intensywnie zasila płytsze czwartorzędowe warstwy wodonośne. Na pozostałym obszarze Żuław Gdańskich obieg wody jest regulowany systemem wodno-melioracyjnym, dlatego przepływy poziome stopniowo zanikają, aż do stanu, gdzie występują tylko wody stagnujące. Taki układ hydrodynamiczny sprzyja ascencji wód ze starszego podłoża, na ogół zmineralizowanych lub z podwyższoną zawartością jonów fluoru. W systemie wodonośnym są także obecne słone lub słonawe wody młodoreliktywne, uwiecznione w zamkniętym układzie od czasu ingresji lityrynowej (czwartorzęd). Splot tych czynników wpływa na obniżenie odnawialności wód podziemnych, ogranicza ich dostępność i obniża jakość.

Charakterystyczną cechą tego układu prezentuje schemat krążenia wód podziemnych w profilu pionowym (ryc. 4). Zwiększony pobór wód podziemnych w strefie krawędzowej może ograniczyć dopływ wód do strefy drenażu (GZWP nr 112), gdzie są zlokalizowane największe ujęcia komunalne Gdańska i Sopotu. Intensywny pobór wód w poziomie kredowym (GZWP nr 111) może ograniczyć również zasilanie płytszych poziomów wodonośnych.

Przedstawione zależności uwarunkowały lokalizację ujęć komunalnych oraz wielkość eksploatacji, a także znacząco wpłynęły na sposób monitorowania wód podziemnych.

ZAGROŻENIA ANTROPOGENICZNE WÓD PODZIEMNYCH

Na obszarze Gdańska, ośrodka o wysokim stopniu urbanizacji, rozwiniętym przemysłu i infrastrukturze komunikacyjnej, istnieją potencjalne ogniska zanieczyszczeń wód podziemnych. Są one związane z zabudową mieszkaniową, działalnością przemysłowo-usługową, oddziaływaniem środków transportu oraz różnych form zagospodarowania terenu.

Proces przenikania niektórych zanieczyszczeń do wód w Gdańsku prawdopodobnie został już zapoczątkowany przed wojną, a zintensyfikowany w latach 60. i 70. XX w. wraz z rozwojem społeczno-gospodarczym, przy niskiej świadomości skutków dla środowiska.

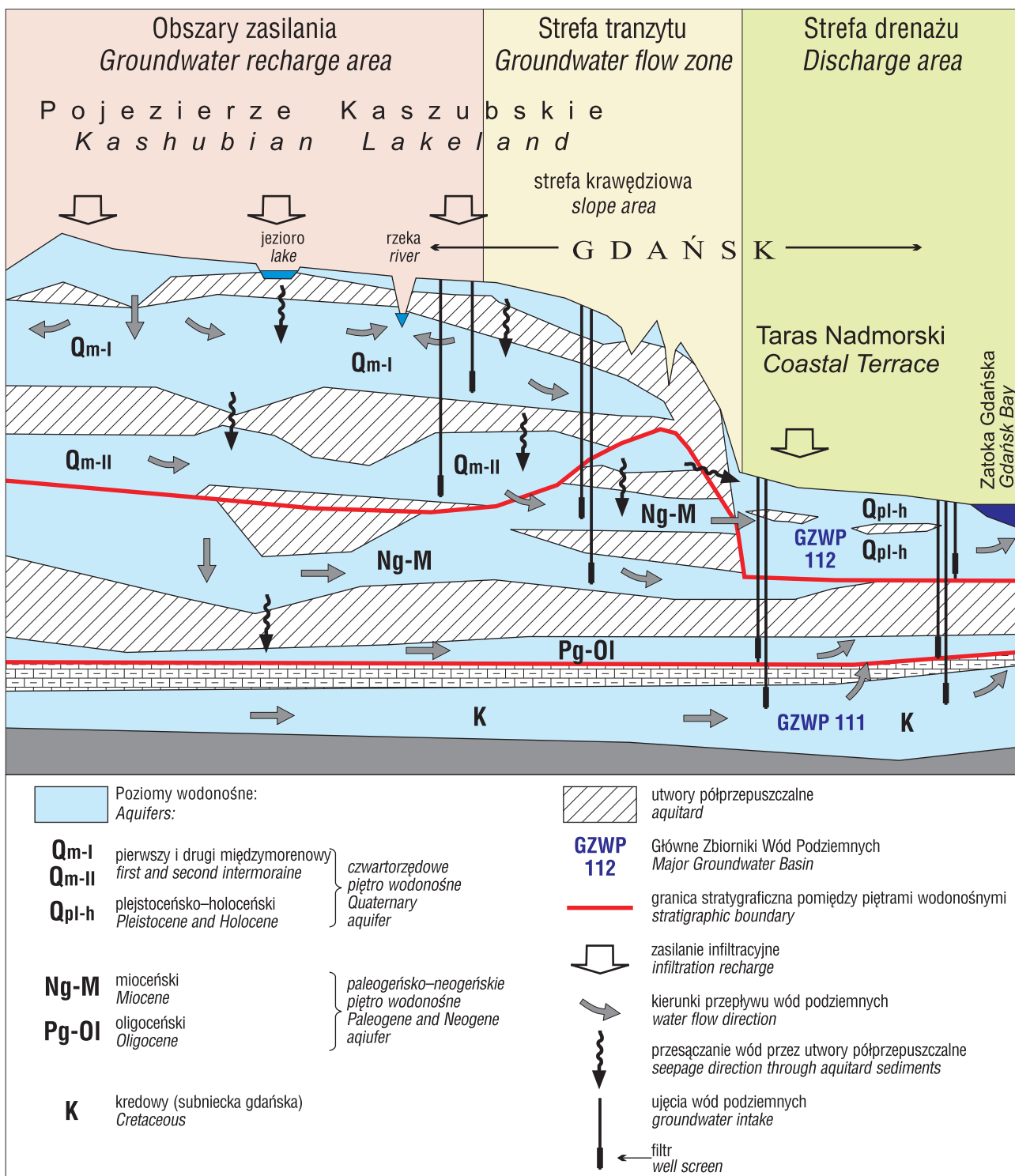
Najbardziej zagrożone mogą być plejstoceno-holoceno poziomy wodonośne na Tarasie Nadmorskim oraz w zachodniej części Żuław Gdańskich. Dominuje tutaj bardzo wysoki i wysoki stopień zagrożenia antropopresją, ponieważ wody podziemne są prawie pozbawione naturalnej warstwy izolacyjnej. Ponadto zwierciadło wody występuje płytko, najczęściej na głębokości 0–15 m, odporność więc poziomu wodonośnego na przenikanie zanieczyszczeń z powierzchni terenu jest bardzo słaba. Zagrożenie stanowią pobliskie tereny zurbanizowane i przemysłowe, zanieczyszczone wody cieków oraz zasolone wody kanałów stoczniowych i portowych. W efekcie działania tych czynników warunki hydrogeologiczne są najbardziej przeobrażone (ryc. 5).

Do największych obiektów potencjalnie uciążliwych dla wód podziemnych w Gdańsku należą przedsiębiorstwa z branży gospodarki morskiej (stocznie i port), petrochemicznej, energetycznej, odzieżowej, metalowej, materiałów budowlanych, a także oczyszczalnie ścieków i składowiska odpadów przemysłowych.

Poważnym zagrożeniem dla wód podziemnych jest także komunikacyjny pas drogowo-kolejowy, o dużym natężeniu ruchu, przebiegający u podnóża Pojezierza Kaszubskiego. Zanieczyszczenia, obejmujące środki utrzymania dróg, szczególnie w okresie zimowo-wiosennym, substancje ropopochodne oraz metale ciężkie mogą przedostawać się razem z wodami opadowymi i roztopowymi do wód podziemnych.

Zagrożenia jakości i ilości zasobów wód podziemnych mogą wynikać z naruszenia warunków równowagi pomiędzy naturalnymi parametrami obiegu wód a parametrami ich antropogenicznego użytkowania. Kilkudziesięcioletnia eksploatacja wód podziemnych w Gdańsku była przyczyną procesów degradacji ich zasobów w niektórych rejonach miasta. Zagrożenia dotyczyły głównie zasolenia wód poziomu czwartorzędowego.

We wschodniej części Żuław Gdańskich, poza rejonem ujęcia „Lipce”, plejstoceno-holoceno poziom wodonośny przykrywa ciągłą warstwą słabo przepuszczalną osady holoceno delty Wisły, są to ropy, mułki i osady organiczne (namuły oraz torfy) przewarstwione piaskami. Czynniki te powodują, że przeważa średni i niski stopień zagrożenia wód podziemnych. Ze względu na znajdujące się na Żuławach Gdańskich użytki rolne, gospodarstwa ogrodni-



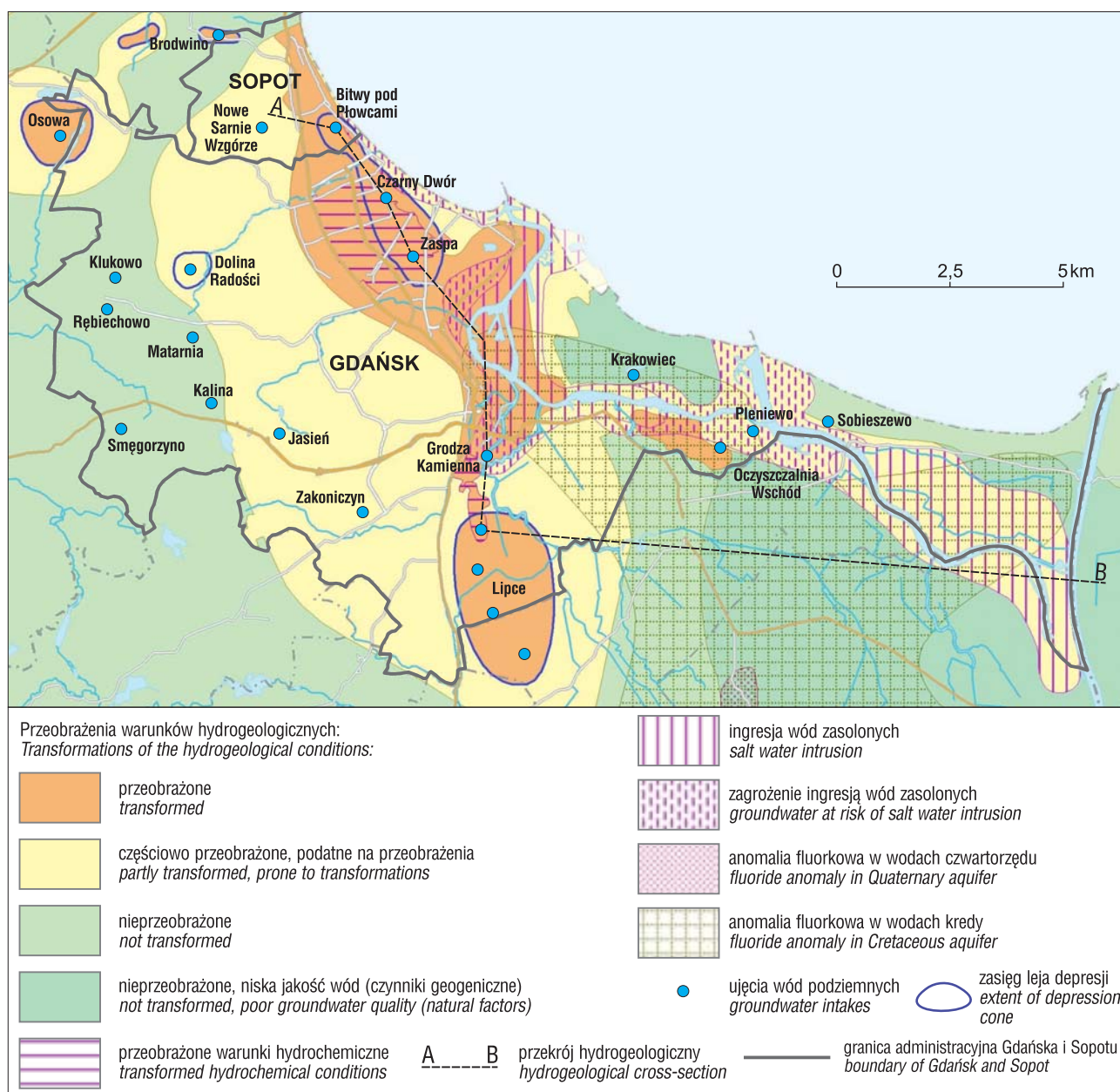
Ryc. 4. System krążenia wód podziemnych w rejonie Gdańska
Fig. 4. Groundwater circulation system in the Gdansk area

cze i szkółkarskie, ogródki działkowe oraz prowadzoną hodowlę w rozproszonych gospodarstwach indywidualnych, mogą pojawić się zagrożenia dla wód podziemnych, wynikające ze stosowania nawozów mineralnych oraz chemicznych środków ochrony roślin.

Jedynie niewielki odsetek mieszkańców Gdańska nie posiada warunków do odprowadzenia ścieków przez istniejący układ kanalizacji sanitarnej. Na terenach przez nich zamieszkałych ścieki są gromadzone w zbiornikach (szam-

bach), z których są wywożone do punktów zlewnych. Szamba nie zawsze są szczelne, a ścieki niekiedy są odprowadzane nielegalnie do gruntu lub wód powierzchniowych. Taki stan stwarza niebezpieczeństwo skażenia wód podziemnych.

Na Pojezierzu Kaszubskim zagrożenie wód podziemnych jest zróżnicowane. Przeważa niski i bardzo niski stopień ryzyka spowodowany utworami izolującymi w nadkładzie warstwy wodonośnej oraz nielicznymi ogniskami zanieczyszczeń. Wyjątkiem są obszary zwartej zabudowy miesz-



Ryc. 5. Przeobrażenia warunków hydrogeologicznych w rejonie Gdańska i Sopotu
Fig. 5. Transformations of the hydrogeological conditions in the Gdańsk and Sopot area

kaniowej w zachodnich dzielnicach Gdańska, gdzie płytkie wody poziomów plejstoceniowych mogą być podatne na presje antropogeniczne.

Wody podziemne miocenu i oligocenu są chronione od wpływów z powierzchni terenu na ogół ciągłą serią słabo przepuszczalnych osadów plejstocenu oraz oligocenu. Z tego względu nie są one praktycznie zagrożone zanieczyszczeniami powierzchniowymi. Jedynym zagrożeniem dla jakości tych wód może być ich nadmierna eksploatacja, która może zainicjować infiltrację zasolonych wód powierzchniowych oraz z poziomu plejstoceniowego.

Całkowicie wolne od zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego, z uwagi na znaczną miąższość kompleksu izolującego, są wody poziomu kredowego. Pogorszenie jakości tych wód może jednak nastąpić w przypadku dopływu wód z obszaru anomalii fluorkowych, w wyniku wytwarzania nadmiernych depresji w studniach w trakcie ich eksploatacji.

ZAGROŻENIA GEOGENICZNE I INGRESJA WÓD MORSKICH

Nadmierna eksploatacja wód z ujęć położonych w bezpośredniej bliskości brzegu morskiego i kanałów portowych może doprowadzić do ingresji zasolonych wód z Zatoki Gdańskiej do warstwy wodonośnej. Sytuacja taka wystąpiła w Gdańsku w latach 80. XX w., na obszarze położonym wokół Martwej Wisły i kanałów stoczniowych. Z powodu wysokiego stężenia chlorków (ponad 1000 mgCl/dm³) zlikwidowano studnie w niektórych ujęciach zakładowych oraz ujęciu komunalnego „Grodza Kamienna”. W Gdańsku-Przegalinie i w rejonie Wisły Śmiałej wody podziemne poziomu plejstoceniowego, tzw. młodoreliktowe, są także zasolone, a ich pochodzenie należy wiązać z litorynową transgresją morską na ląd. Stanowią one równocześnie zagrożenie dla wód użytkowych poziomów wodonośnych. Wzdłuż wschodnich granic Gdańska wody kredy mogą być

zmineralizowane i stanowią potencjalne zagrożenie dla płytszych poziomów wodonośnych (ryc. 5).

Charakterystyczną cechą Żuław Wiślanych są podwyższone, anomalne stężenie jonu fluorkowego, który w wodach kredy górnej osiąga $5,5 \text{ mgF/dm}^3$. Część wód migruje do czwartorzędowych warstw wodonośnych, gdzie stężenia fluorków przekraczają 2 mgF/dm^3 .

Na niektórych obszarach Żuław Wiślanych specyficzną cechą wód podziemnych w osadach czwartorzędu są podwyższone stężenia żelaza, dochodzące do 20 mgFe/dm^3 , oraz manganu do $0,9 \text{ mgMn/dm}^3$. W efekcie również niektóre parametry fizyczne wód są bardzo wysokie np.: barwa nawet 250 mgPt/dm^3 , mętność $80 \text{ mgSiO}_2/\text{dm}^3$, a twardość do 21 mval/dm^3 . Skład chemiczny wód jest skutkiem naturalnych procesów hydrochemicznych, zachodzących w strefie kontaktu płytkich wód podziemnych z osadami organicznymi delty Wisły.

PODSUMOWANIE

Aglomerację gdańską wyróżnia wielopiętrowy system wodonośny, związany z osadami plejstocenu, neogenu, paleogenu i kredy górnej. Głębokość strefy aktywnej wymiany wód sięga 400 m. Wysokość zasobów i chemizm wód podziemnych określają czynniki przyrodnicze, z których zasadnicze znaczenie ma położenie fizycznogeograficzne, budowa geologiczna, warunki hydrogeologiczne oraz czynniki antropogeniczne. Aglomeracja gdańska jest położona w obrębie kilku, różniących się jednostek morfologicznych: Pojezierza Kaszubskiego, Tarasu Nadmorskiego oraz Żuław Gdańskich. Każda z nich charakteryzuje się odmienną budową geologiczną i wykształceniem litologicznym osadów. Ma to wpływ na warunki hydrogeologiczne pięter wodonośnych od plejstocenu do kredy

górną. Układ krążenia wód podziemnych wykracza znacznie poza Trójmiasto. Główne obszary zasilania występują na Pojezierzu Kaszubskim, natomiast bazą drenażu jest Taras Nadmorski, Żuławy Gdańskie oraz Zatoka Gdańska.

Do zagrożeń geogenicznych mających wpływ na jakość wód podziemnych w obrębie aglomeracji gdańskiej są: ascenzja wód zmineralizowanych z podłoża podczwartorzędowego i fluorkowa anomalia hydrogeochemiczna na Żuławach Gdańskich oraz ingresja wód słonych, w przypadku nadmiernej eksploatacji wód. Zagrożenia antropogeniczne są związane z transportem, budownictwem, gospodarką komunalną, przemysłem oraz zanieczyszczeniami historycznymi. Tempo migracji zanieczyszczeń jest zróżnicowane i wynika ze stopnia izolacji poszczególnych warstw wodonośnych oraz zmian hydrodynamicznych, zachodzących wokół największych ujęć komunalnych.

LITERATURA

- KOZERSKI B. 1990 – Wody podziemne okolic Gdańska. *Prz. Geol.*, 38 (5/6): 234–239.
- KOZERSKI B. 2001 – Praktyczne aspekty regionalizacji hydrogeologicznej. [W:] Współczesne problemy hydrogeologii, X Ogólnopol. Sympozjum. Wyd. Sudety Ofic. Wyd. Oddz. Wrocławskiego PTTK, Wrocław.
- KOZERSKI B. (red.) 2007 – Gdański system wodonośny. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
- KOZERSKI B., MACIOSZCZYK A., PAZDRO Z. & SADURSKI A. 1987 – Fluor w wodach podziemnych w rejonie Gdańska. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 57: 349–347.
- LIDZBARSKI M. & KORDALSKI Z. 2003 – Występowanie i dynamika trzeciorzędowego piętra wodonośnego w regionie gdańskim. XI Ogólnopolskie Sympozjum: Współczesne problemy hydrogeologii. Wyd. Bud. Wodnego i Inżynierii Środowiska Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
- PIKIES R. & ZALESZKIEWICZ L. 2013 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 50 000 ark. Gdańsk. Państw. Inst. Geol.
- SADURSKI A. 1989 – Górnokredowy system wód podziemnych Pomorza Wschodniego, *Zesz. Nauk. AGH Kraków*.



Stacja uzdatniania wody na ujęciu powierzchniowym „Straszyn”. Fot. z arch. GIWK Sp. z o.o.