

## Analiza kontaktu wód podziemnych i powierzchniowych na podstawie badań ich jakości na młodoglacjalnym obszarze Pojezierza Kaszubskiego

Beata Jaworska-Szulc<sup>1</sup>, Małgorzata Pruszkowska-Caceres<sup>1</sup>, Maria Przewłocka<sup>1</sup>



B. Jaworska-Szulc



M. Pruszkowska-Caceres



M. Przewłocka

**Investigation of groundwater – surface water contact based on the quality research in a young glacial area of the Kashubian Lake District.** Prz. Geol., 62: 204–213.

*Abstract.* Regions formed in late Pleistocene usually show complex hydrogeological conditions. Groundwater circulation and the contribution of surface water in the groundwater flow system is not easy to determine. An important tool in such a research seems to be investigation of groundwater and surface water chemical composition. This paper is a case study of survey led in szymbarskie hills of the Kashubian Lake District (northern Poland). The groundwater and surface water quality was determined and analyzed with respect to conditions of groundwater circulation. The obtained results may contribute to development of groundwater investiga-

tions in young glacial areas.

**Keywords:** groundwater quality, surface water quality, young glacial area, groundwater flow system

Artykuł prezentuje badania przeprowadzone na przykładowym obszarze młodoglacjalnym Polski północnej, jakim są Wzgórza Szymbarskie Pojezierza Kaszubskiego. Rejon Wzgórz Szymbarskich pełni niezwykle ważną rolę hydrogeologiczną, jest bowiem obszarem zasilania uformowanego tu wielopiętrowego systemu wodonośnego. Do pełnego rozpoznania krążenia wód podziemnych istotną była identyfikacja lokalnych systemów tych wód i ich powiązania z wodami powierzchniowymi. W tym celu wykonano badania fizykochemiczne wód podziemnych i powierzchniowych. Uzyskane wyniki były ważnym narzędziem zarówno w identyfikacji systemów krążenia wód, jak i określenia udziału wód powierzchniowych w zasilaniu i drenażu płytkich poziomów wodonośnych. Przeprowadzone na obszarze Wzgórz Szymbarskich badania mogą stanowić punkt odniesienia do analizy systemów wodonośnych w innych rejonach obszarów młodoglacjalnych.

### METODYKA BADAŃ

W artykule przedstawiono wyniki badań prowadzonych w latach 2010–2013. Na podstawie przeprowadzonego szczegółowego kartowania hydrogeologicznego obserwacjami terenowymi objęto 338 punktów, wśród których 36 to studnie wiercone, 30 – studnie kopane, 20 – źródła i wysięki (ryc. 1 – zob. str. 166), 49 – strumienie, kanały i rowy, 193 – oczka i mokradła, 5 – jeziora oraz 3 punkty na rzece Raduni i 2 na rzece Wierzycy (Jaworska-Szulc i in., 2012). Badania prowadzono w trzech cyklach pomiarowych dla wszystkich punktów, latem każdego roku 2010, 2011 i 2012, na przełomie czerwca i lipca oraz w cyklach comiesięcznych, od maja 2011 do kwietnia 2013, w wybranych, reprezentatywnych studniach kopanych, źródłach i jeziorach. W ramach badań polowych wykonano oznaczenia mineralizacji wody (TDS – *Total Dissolved Solids*), pH,

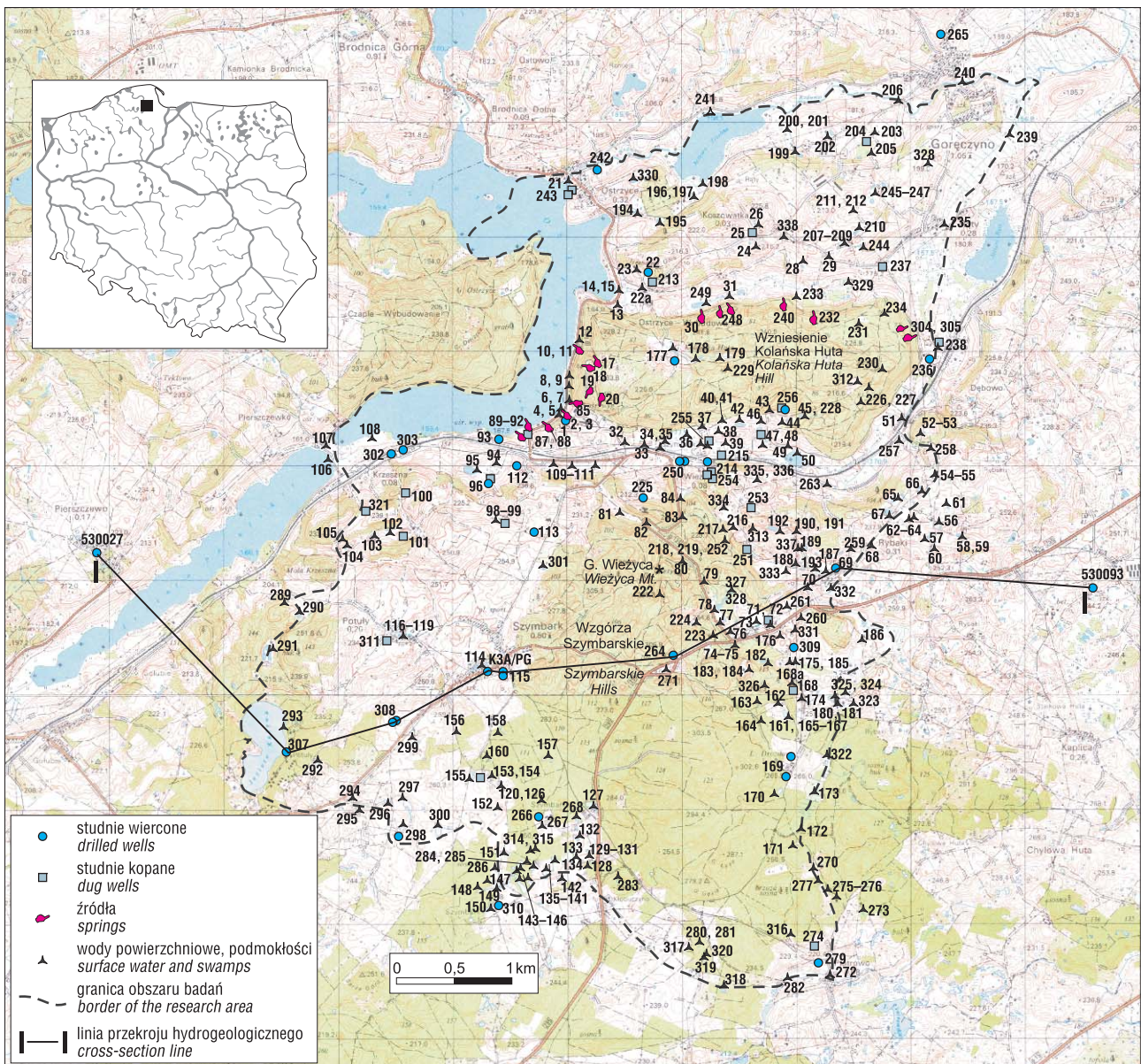
tlenu rozpuszczonego oraz potencjału oksydacyjno-redukcyjnego Eh, za pomocą przenośnego miernika firmy WTW, a także pomiary położenia zwierciadła wód podziemnych. W wytypowanych studniach wierconych, kopanych oraz w wybranych zbiornikach wód powierzchniowych i źródłach pobrano ponadto próbki wód do szczegółowej analizy fizykochemicznej, uwzględniającej następujące parametry hydrochemiczne:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Fe}_{\text{og}}$ , pH oraz sumę substancji rozpuszczonych.

### CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Obszar badań stanowi centralny fragment Pojezierza Kaszubskiego, obejmujący rejon Wzgórz Szymbarskich. Jest to najwyższej położona część Pojezierza, dochodząca do 328,6 m n.p.m. na szczycie Wieżyca i jednocześnie najbardziej zróżnicowana pod względem morfologicznym część Niżu Środkowoeuropejskiego. Granice obszaru badań (ryc. 2) oparto o główne bazy drenażu płytkich wód podziemnych. Na zachodzie jest to Jezioro Ostrzyckie, które stanowi również bazę drenażu zarówno dla wód płytkich, jak i głębszych, a na północy jest to rzeka Radunia z jeziorem Trzebnio. Północno-wschodnią granicą przebiega wzdłuż niewielkiego cieku określanego na Mapie Podziału Hydrograficznego Polski (2007) jako Dopływ z Rąt. Pozostałe granice przebiegają w obniżeniach terenu, w których stwierdzano powierzchniowe przejawy drenażu wód podziemnych w postaci oczek, strumieni i podmokłości, a od południowej strony te obniżenia terenu stanowią centrum rozległego obszaru bezodpływowego. Niektóre ze zbadanych w pierwszym roku punktów obserwacji terenowych znalazły się poza rozpoznanymi bazami drenażu, czyli również poza wyznaczonym obszarem prac i nie prowadzono w nich dalszych badań.

Urozmaicona rzeźba terenu jest efektem działalności lodolodu fazy pomorskiej zlodowacenia wisły. Na przewa-

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk; bejaw@pg.gda.pl, mpru@pg.gda.pl, mprzew@pg.gda.pl.



Ryc. 2. Lokalizacja obszaru badań ze wskazaniem punktów obserwacji terenowych  
 Fig. 2. Location of the research area with observation points

żającej części powierzchni występują moreny denne zbudowane z glin zwałowych i piasków lodowcowych z licznymi bezodpływowymi zagłębieniami wytopiskowymi wypełnionymi torfami i niewielkimi oczkami. Na poziom dennomorenowy nałożone są lokalnie piaszczyste formy akumulacji szczelinowej (szczyt Wieżyca), kemy (ryc. 3 – zob. str. 166) oraz równiny sandrowe i wodnolodowcowe. Wzgórze Wieżyca i sąsiednie wyniosłości określane są aktualnie jako formy akumulacji szczelinowej (Petelski & Moczulska, 2006), wcześniej uważane były za moreny czołowe (Okołowicz, 1956; Piasecki, 1960; Augustowski & Sylwestrzak, 1973). W bezpośrednim sąsiedztwie Wzgórz Szymbarskich występują głębokie rynny polodowcowe, w efekcie deniwelacji terenu dochodzą do 168,5 m, pomiędzy poziomem lustra wody Jeziora Ostrzyckiego (160,1 m n.p.m.) a szczytem Wieżyca (328,6 m n.p.m.). Wewnątrz rynien polodowcowych występują formy akumulacji szczelinowej, a wzdłuż ich krawędzi tarasy kemowe oraz niewielkie równiny sandrowe. Sandry położone na

południe od wzniesienia Wieżyca są bardzo zróżnicowane pod względem wysokości i wieku. Najwyższy poziom sandrowy (210–220 m n.p.m.), zwany poziomem gostomskim (Okolowicz, 1956; Augustowski & Sylwestrzak, 1973; Jurys, 2002b), występuje na najbliższym przedpolu Wzgórz Szymbarskich i wzniesienia Wieżyca. Oddzielony jest wyraźną krawędzią od drugiego poziomu sandrowego (200–205 m n.p.m.; Augustowski & Sylwestrzak, 1973), występującego tu w rejonie Kłobuczyna. Konsekwencją tak zróżnicowanej rzeźby geologicznej i ukształtowania terenu jest znaczna niejednorodność warunków hydrograficznych i hydrogeologicznych na omawianym obszarze.

#### WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Wody podziemne w zależności od warunków występowania oraz powiązań z siecią hydrograficzną tworzą system krążenia charakterystyczny dla obszarów młodoglacjalnych. Występują tu trzy piętra wodonośne: kredowe,

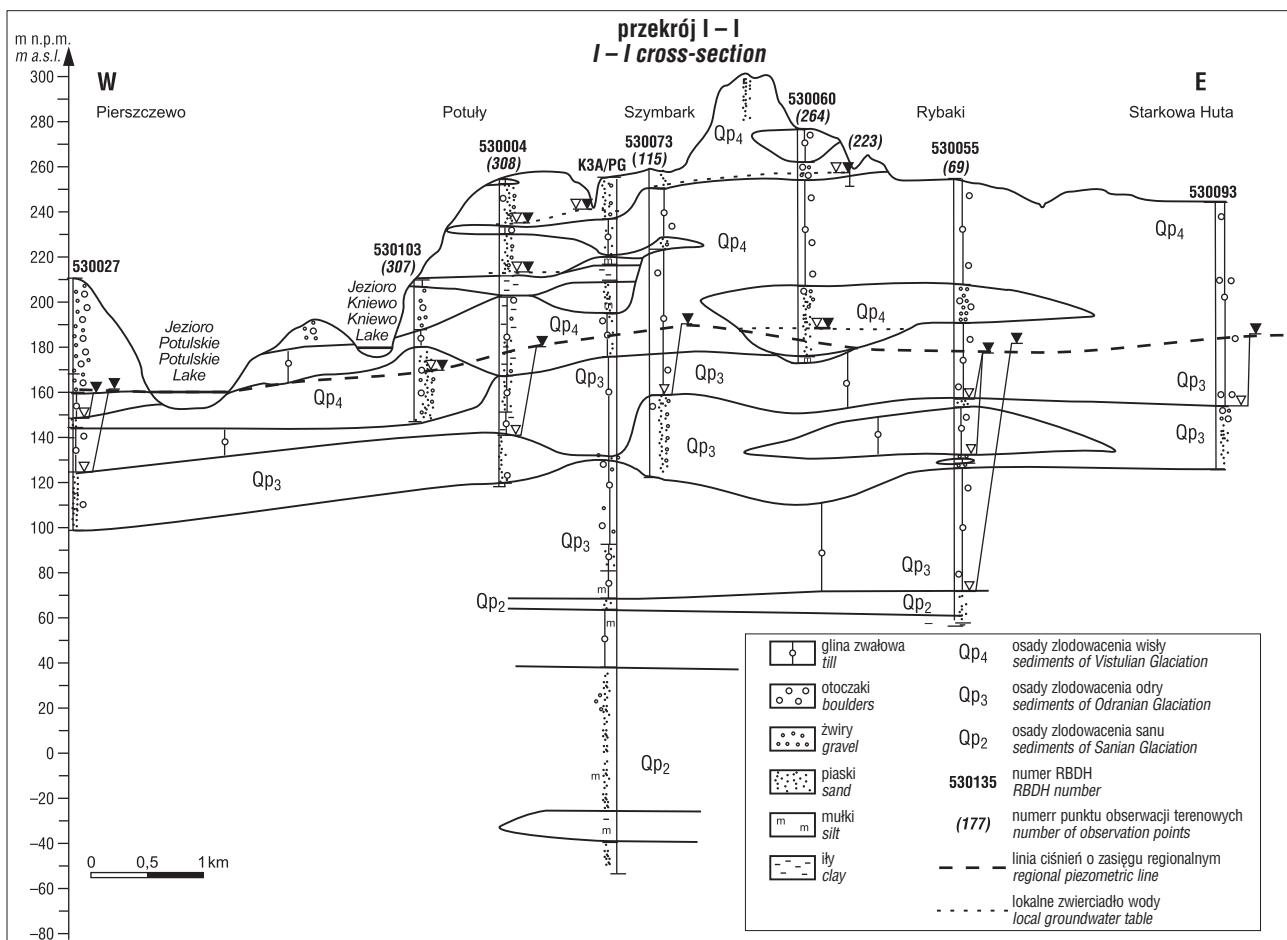
paleogeńsko-neogeńskie i czwartorzędowe, stanowiące system wodonośny o regionalnym zasięgu. W obiegu biorą udział wody podziemne występujące płytko pod powierzchnią w osadach zlodowacenia wisły, zaliczane do lokalnego systemu przepływu. Międzymorenowe warstwy wodonośne, związane z zalegającymi głębiej osadami zlodowacenia wisły oraz zlodowaceń odry i sanu, a także paleogeńsko-neogeńskimi, tworzą przejściowy system krążenia. Natomiast wody występujące w utworach kredy spełniają w podstawową rolę w systemie regionalnym (Kozerski, 1988; Kozerski i in., 2007; Pruszkowska, 2004). Obszarem zasilania tego systemu jest centralna część wysoczyzny morenowej Pojezierza Kaszubskiego, wraz ze Wzgórzami Szymbarskimi, a obszarem drenażu jest Zatoka Gdańska z nizinami nadmorskimi i Żuławy Wiślane.

Płytkie wody podziemne lokalnego systemu krążenia w centralnej części Pojezierza Kaszubskiego są reprezentowane przez wody zawieszane i gruntowe. Wody zawieszane wypełniają piaszczyste soczewki w glinie zwałowej, a niekiedy formują nieciągłe poziomy wodonośne. Wody gruntowe stanowią pierwszy najczęściej ciągły lub o znacznym rozprzestrzenieniu poziom wodonośny. Głębokość ich występowania jest zmienna i zależy od czynników geomorfologicznych. Na obszarach wzniesionych są to zazwyczaj głębokości od 10 do około 60 m od powierzchni terenu. Natomiast w rynnach, dolinach rzecznych i lokalnych obniżeniach wody gruntowe występują już na kilku

metrach poniżej powierzchni terenu. Ich zwierciadło jest najczęściej swobodne lub lokalnie lekko napięte (ryc. 4). W rejonie rynien i dolin wody podziemne pozostają w kontakcie z wodami Jeziora Ostrzyckiego i Potulskiego oraz rzeki Raduni, które stanowią zarówno lokalne, jak i przejściowe bazy drenażu wód podziemnych.

Warunki hydrogeologiczne i hydrochemiczne wód podziemnych są kształtowane przez czynniki hydrograficzne i klimatyczne. Zasilanie wód zawieszonych odbywa się wyłącznie poprzez infiltrację opadów atmosferycznych, zaś wód gruntowych zarówno z opadów, jak i przejściowego drenażu wód zawieszonych.

Ważną rolę w zasilaniu wód podziemnych odgrywają obszary bezodpływowe powierzchniowo. W centralnej części Pojezierza Kaszubskiego ich udział przekracza niekiedy 40% powierzchni poszczególnych zlewni (Okulaniś, 1982; Borowiak, 2005). Na obszarze Wzgórz Szymbarskich są to obszary bezodpływowe ewapotranspiracyjne i chłonne, zlokalizowane głównie na południowym i wschodnim skłonie tych wzniesień. Obszary bezodpływowe chłonne występują zazwyczaj na utworach podatnych na infiltrację, dlatego dominującą rolę odgrywa tu wsiąkanie (Drwał, 1982). Na obszarach tych rozwinął się spływ powierzchniowy i podpowierzchniowy skierowany promieniście do centrum zagłębienia terenu, a nadwyżki wodne przechodzą do podziemnej fazy obiegu (Borowiak, 2005; Fac-Beneda, 2011). Ich podziemna alimentacja szacowana



**Ryc. 4.** Przekrój hydrogeologiczny I-I  
**Fig. 4.** Hydrogeological cross-section I-I

jest na 280 mm (Drwal, 1982). Natomiast obszary bezodpływowe ewapotranspiracyjne występują zazwyczaj na obszarach niekorzystnych dla infiltracji. Zagłębienie bezodpływowe zajęte jest przez oczka lub małe jezioro, zwykle otoczone mokradłami. Niewielka nadwyżka opadu atmosferycznego gromadzi się w tych zagłębieniach i następnie dostaje się do podziemnej fazy obiegu (Drwal, 1982; Borowiak, 2005; Fac-Beneda, 2011). Zasilanie wód podziemnych szacowane jest na tych obszarach na 90 mm (Drwal, 1982), gdyż przeważa tutaj parowanie z wolnej powierzchni wody i z terenu.

## WARUNKI HYDROCHEMICZNE

Skład chemiczny wód podziemnych w osadach czwartorzędu opisano w oparciu o wykonane analizy w istniejących studniach wierconych i kopanych, a także na podstawie analiz archiwalnych w przypadku zlikwidowanych studni wierconych. Badania hydrochemiczne przeprowadzono w latach 2010–2013, a zakres badań przedstawiono we wstępnej części artykułu. Lokalizację poboru próbek wody oraz typy hydrochemiczne wód przedstawiono na rycinie 5 dla studni wierconych i na rycinie 6 dla studni kopanych.

Badania hydrochemiczne wykazały występowanie prawidłowości w zróżnicowaniu cech fizykochemicznych analizowanych wód podziemnych i powierzchniowych. Zakresy stężeń poszczególnych parametrów hydrochemicznych wód podziemnych w odniesieniu do tła hydrogeochemicznego określonego Pojezierza Kaszubskiego przedstawiono w tabeli 1.

W większości analiz ilości głównych jonów w badanych wodach zawierają się w granicach naturalnego tła hydrochemicznego określonego dla Pojezierza Kaszubskiego (Pruszkowska, 2004). Obserwowane są również pojedyncze zawartości przekraczające wyznaczone tło, które należy jednak uznać za naturalne, gdyż tło hydrochemiczne nie daje zakresu wszystkich występujących stężeń, lecz tylko tych, które są najbardziej charakterystyczne. Ponadto, w trzech spośród badanych studni kopanych (numery 243, 96 i 98; ryc. 6) stwierdzono podwyższone stężenia jonów potasu, chlorków, siarczanów i azotanów, nie mieszczące się w zakresie naturalnego tła, którym towarzyszyła wysoka mineralizacja. Jest to zapewne efekt zanieczyszczeń antropogenicznych. Stężenia azotanów dochodzące do 50 mgNO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup> w studniach numer 243 i 96 mogą być związane z prowadzoną na tym terenie działalnością rolniczą i stosowanymi nawozami (Witczak & Adamczyk, 1995). Natomiast wysoka mineralizacja (do 810 mg/dm<sup>3</sup>), utrzymująca się w sposób niezmienny przez 3 lata, oraz obecność podwyższonych ilości jonów potasu i siarczanów, obserwowana w studni numer 98, związane są prawdopodobnie z wieloletnim naśnieżaniem stoku narciarskiego, u którego podnóża znajduje się badana studnia.

Mineralizacja wód czwartorzędowych, wyrażona jako suma substancji rozpuszczonych, zawiera się w przedziale od 100–650 mg/dm<sup>3</sup>, zwykle jednak wynosi około 350–450 mg/dm<sup>3</sup> i również w większości przypadków jest zgodna z wyznaczonym tłem dla Pojezierza Kaszubskiego (tab. 1). Niektóre studnie kopane wykazują jednak podwyższone zawartości z uwagi na lokalnie występujące zanieczyszczenia antropogeniczne. Wykluczono je z analizy

statystycznej (tab. 1). Również wartości mierzonego pH są typowe dla wód czwartorzędowych i wynoszą od 6,5 do 8,2.

Na badanym obszarze występują na ogół wody o przewadze jonów HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> i dominacji kationów Ca<sup>2+</sup> nad Mg<sup>2+</sup>. W zdecydowanej większości studzien kopanych stwierdzono wody typu HCO<sub>3</sub>-Ca (ryc. 6). Również w studniach wierconych ujmujących wody z osadów zlodowacenia wisły (Q<sub>p4</sub>) występują wody typu HCO<sub>3</sub>-Ca (ryc. 5). W głębszej serii wodonośnej w osadach zlodowacenia odry (Q<sub>p3</sub>) występują nieco wyższe zawartości magnezu przekraczające zawsze 18% mval kationów, a niekiedy 20%, w efekcie pojawiają się tu wody typu HCO<sub>3</sub>-Ca-Mg. W najgłębszej czwartorzędowej serii wodonośnej, w osadach zlodowacenia sanu (Q<sub>p2</sub>), występują wody typu HCO<sub>3</sub>-Ca.

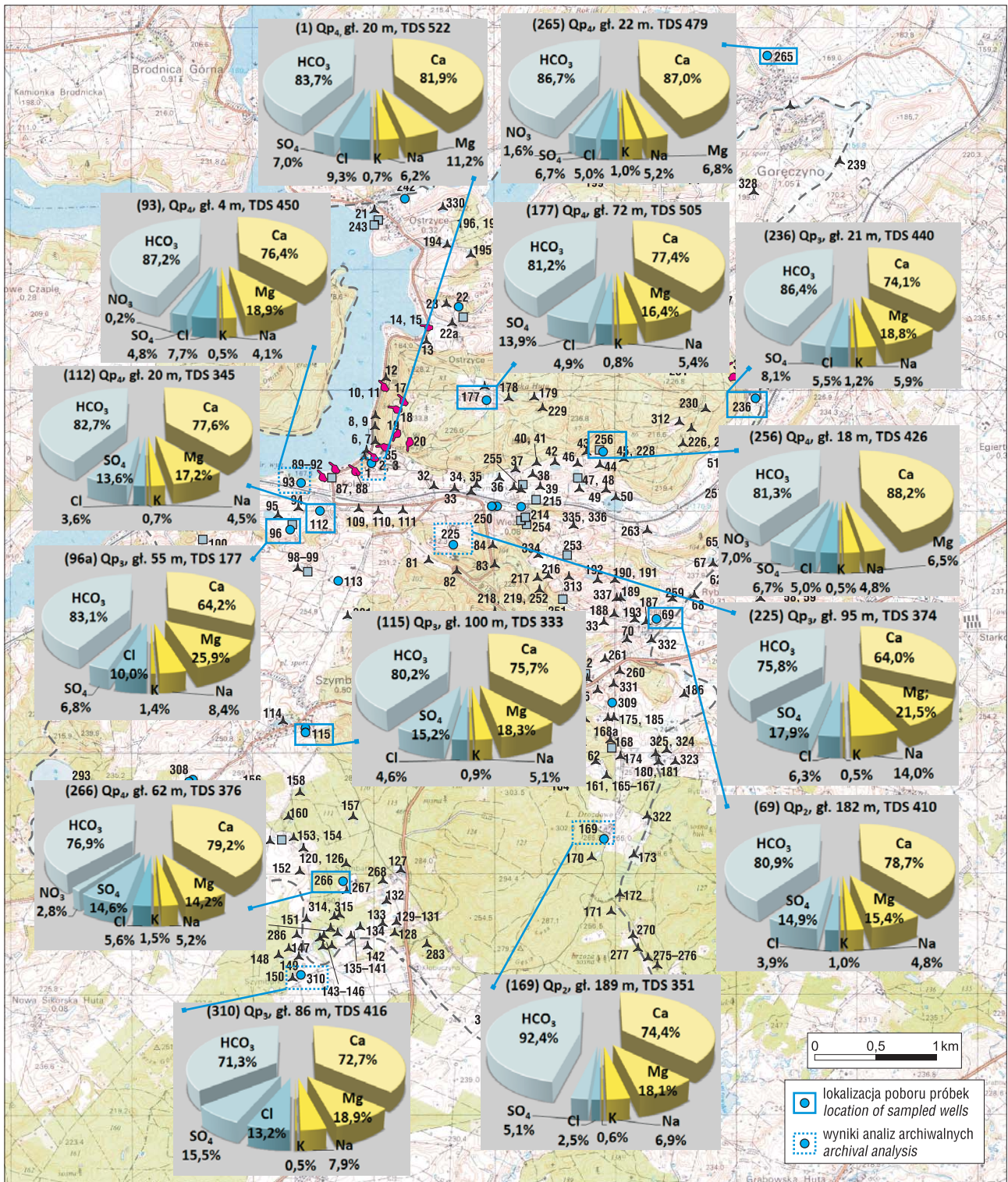
Bezpośrednio w terenie podczas poboru próbek wody wykonywano pomiar tlenu rozpuszczonego oraz potencjału redukcyjno-utleniającego Eh. Tlen rozpuszczony w wodzie pochodzi zwykle z atmosfery i przenika wraz z infiltrującymi wodami opadowymi i powierzchniowymi, w efekcie czego największe zawartości obserwuje się w płytkich wodach podziemnych, a wraz z głębokością i odległością od obszaru zasilania ilość tlenu maleje (Witczak & Adamczyk, 1995). W badanych wodach zaobserwowano spadek zawartości tlenu wraz z głębokością, któremu towarzyszy spadek wartości potencjału redukcyjno-utleniającego Eh (tab. 1). W płytkich studniach, zarówno kopanych, jak i wierconych, ujmujących wody z osadów zlodowacenia wisły (Q<sub>p4</sub>), zmierzono średnio dwukrotnie wyższe zawartości tlenu niż w studniach głębszych ujmujących wody z osadów zlodowaceń odry i sanu (Q<sub>p3</sub> i Q<sub>p2</sub>).

Na Pojezierzu Kaszubskim stężenie jonów żelaza w wodach podziemnych waha się przeważnie w granicach 0,01 do 3,0 mgFe/dm<sup>3</sup>, lokalnie obserwuje się wyższe wartości, dochodzące w płytszej serii wodonośnej do 8,5 mgFe/dm<sup>3</sup> (Pruszkowska, 2004). Podobny zakres wartości uzyskano w trakcie prowadzonych badań: dla płytszej serii (Q<sub>p4</sub>) od 0,005 do 5,45 mgFe/dm<sup>3</sup>, a dla głębszej (Q<sub>p3</sub> i Q<sub>p2</sub>) od 0,02 do 3,74 mgFe/dm<sup>3</sup>.

## SKŁAD CHEMICZNY WÓD POWIERZCHNIOWYCH

Lokalizację poboru próbek wód powierzchniowych do szczegółowych badań fizykochemicznych oraz typy hydrochemiczne wód przedstawiono na rycinie 7. Badane wody powierzchniowe to zwykle wody typu HCO<sub>3</sub>-Ca lub HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Ca. W odróżnieniu od typowego składu wód podziemnych na tym obszarze pojawiają się tu siarczany w ilości powyżej 20% mval anionów. Prawdopodobnie podwyższone zawartości siarczanów pochodzą z opadów atmosferycznych, gdyż jak podają Witczak i Adamczyk (1995) może ono w opadach wynosić od kilku, kilkudziesięciu do nawet powyżej 100 MgSO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>.

Bardzo nietypowy skład chemiczny stwierdzono w oczku numer 114, zlokalizowanym w samym centrum miejscowości Szymbark. Są to wody typu Cl-HCO<sub>3</sub>-Na-Ca i mineralizacji 729 mg/dm<sup>3</sup>. Biorąc pod uwagę lokalizację oczka, które z dwóch stron graniczy z ruchliwą ulicą oraz termin poboru próbki wody po roztopach wiosennych, nasuwa się wniosek, że wysokie zawartości Cl i Na



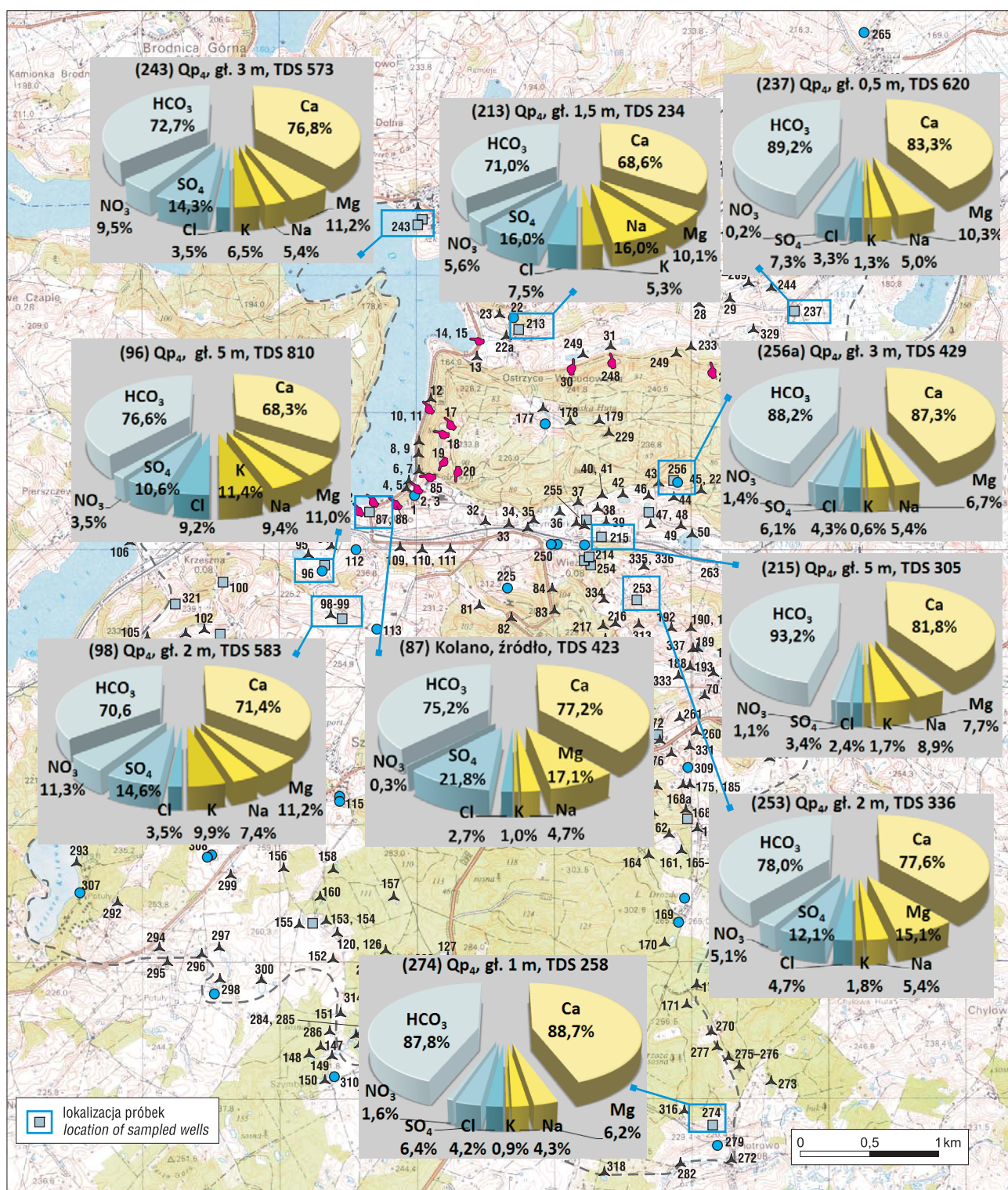
**Ryc. 5.** Typy hydrogeochemiczne wód podziemnych ujętych studniami wierconymi. Na diagramach wartości TDS (suma substancji rozpuszczonych) podano w mg/dm<sup>3</sup>, a zawartość głównych jonów w % mval anionów lub kationów

**Fig. 5.** Hydrogeochemical types of groundwater taken from drilled wells. The diagrams show TDS values in mg/dm<sup>3</sup>, contribution of main ions in % mval

pochodzą z zimowego utrzymania dróg. Ze względu na zanieczyszczenie tego zbiornika wyłączono go z analizy statystycznej wyników badań fizykochemicznych wód powierzchniowych (tab. 2).

W tabeli 2 wyodrębniono wody powierzchniowe znajdujące się na obszarze dolin wód roztopowych i subglacialnych. Są one wyraźnym przejawem drenażu wód podziemnych, co uwidacznia się w ich składzie chemicznym,

bardzo podobnym do obserwowanego w płytkich wodach podziemnych (tab. 1). Osobno zestawiono wyniki analiz dla oczek, mniejszych jezior i cieków zlokalizowanych na obszarze moreny dennej i sandru. Wykazują one niższą mineralizację i nieco większą zawartość tlenu rozpuszczonego, co wskazuje na znaczniejszy udział wód atmosferycznych niż podziemnych w ich zasileniu. Na różnicę w mineralizacji wód oczek i większych zbiorników wód



Ryc. 6. Typy hydrogeochemiczne wód podziemnych ujętych studniami kopanymi oraz ze źródła. Wartości na diagramach – patrz podpis do ryc. 5

Fig. 6. Hydrogeochemical types of groundwater taken from dug wells. For the values of diagrams see explanation on Fig. 5

powierzchniowych na Pojezierzu Kaszubskim zwrócili także uwagę Drwal i Lange (1985). Podkreślając wpływ wielkości zlewni na wartość mineralizacji, oczka zasilane przede wszystkim przez opady atmosferyczne zawierają zwykle wody o mineralizacji poniżej 100 mg/dm<sup>3</sup>, natomiast wraz ze wzrostem roli zlewni, a także dopływu podziemnego, wartość mineralizacji osiąga przedział 200–250 mg/dm<sup>3</sup>. Większość oczek, a także niektóre z mniejszych

jezior obszaru zlewni górnej rzeki Raduni, to zbiorniki pozbawione odpływu powierzchniowego (Drwal, 1975; Borowiak & Barańczuk, 2005). W granicach obszaru badań znajduje się jezioro tego typu, jest to jezioro Kniewo, położone na osadach moreny dennej.

W tabeli 3 przedstawiono wyniki pomiarów mineralizacji (TDS) oraz pH prowadzonych podczas badań terenowych, we wszystkich znajdujących się na obszarze badań

**Tab. 1.** Skład chemiczny wód podziemnych w osadach czwartorzędu na terenie Wzgórz Szymbarskich  
**Table 1.** Chemical composition of groundwater from Quaternary deposits in the Szymbarskie Hills region

Parametr hydrogeochemiczny Hydrogeochemical parameter	Wartość tła płytsza/głębsza seria wodonośna Background range shallow/deeper aquifer 2004)	Wody zawieszono Qp <sub>4</sub> , st. kopane, (5 analiz) Perched water Qp <sub>4</sub> , dug wells (5 analysis)		Wody dolinne i sandrowe Qp <sub>4</sub> , st. wiercone, kopane i źródła (14 analiz) Water of valleys and outwash Qp <sub>4</sub> drilled, dug wells, springs (14 analysis)		Studnie wiercone Qp <sub>3</sub> (7 analiz) Drilled wells Qp <sub>3</sub> (7 analysis)		Studnie wiercone Qp <sub>2</sub> (5 analiz) Drilled wells Qp <sub>2</sub> (5 analysis)	
		zakres stężeń concentration range	średnia average	zakres stężeń concentration range	średnia average	zakres stężeń concentration range	średnia average	zakres stężeń concentration range	średnia average
mgCa/dm <sup>3</sup>	20–90/20–100	8,5–79,0	43,4	42,2–132,0	70	22,9–80,0	59,9	64,0–75,8	68,4
mgMg/dm <sup>3</sup>	0–10/0–19	0,8–6,2	3,4	2,1–18,2	8,2	2,4–12,6	8,9	9,0–19,4	12,3
mgNa/dm <sup>3</sup>	nie określono not determined	1,5–9,1	5,1	2,0–9,2	5,0	3,5–17,0	8,7	5,0–11,0	7,1
mgK/dm <sup>3</sup>	nie określono not determined	1,0–5,1	3,2	1,0–4,1	1,6	1,0–2,4	1,4	1,0–1,9	1,2
mgCl/dm <sup>3</sup>	0–20/0–19	5,0–6,9	6,1	2,5–25,5	8,5	6,8–26,2	10,9	4,0–7,5	6,1
mgSO <sub>4</sub> /dm <sup>3</sup>	0–35/0–50	13,0–21,9	18,7	4,8–54,3	21,2	6,7–57,9	32,7	11,0–42,0	26,1
mgNO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup>	nie określono not determined	3,8–11,0	8,65	0,0–20,0	2,7	0,0–2,6	0,4	0,01–0,9	0,3
mgHCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup>	120–270/90–340	21,4–240,0	134,0	148–421	223,1	104,0–270,0	205,9	244,0–292,9	264,6
TDS mg/dm <sup>3</sup>	100–380/100–400	70,0–429,0	267,0	258–620	418,5	177,0–440,0	343,4	230,0–431,9	369,3
mgFe/dm <sup>3</sup>	0–0,8/0–1,5	0,02–0,11	0,06	0,01–5,45	0,82	0,03–1,0	0,4	0,02–3,74	2,1
pH	6,7–8/6,7–8	6,3–8,0	7,2	7,0–8,3	7,6	7,5–8,4	7,9	7,3–7,7	7,5
mgO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	nie określono not determined	5,5–13,3	8,5	2,7–10,8	6,3	2,5–4,8	3,6	2,2–4,8	3,3
Eh redox mV	nie określono not determined	174–314	327,5	174–328	244,2	147,0–331,0	221	62,0–185,0	128,3

\* wykluczono studnie zanieczyszczone antropogenicznie (nr 96, 98, 243)

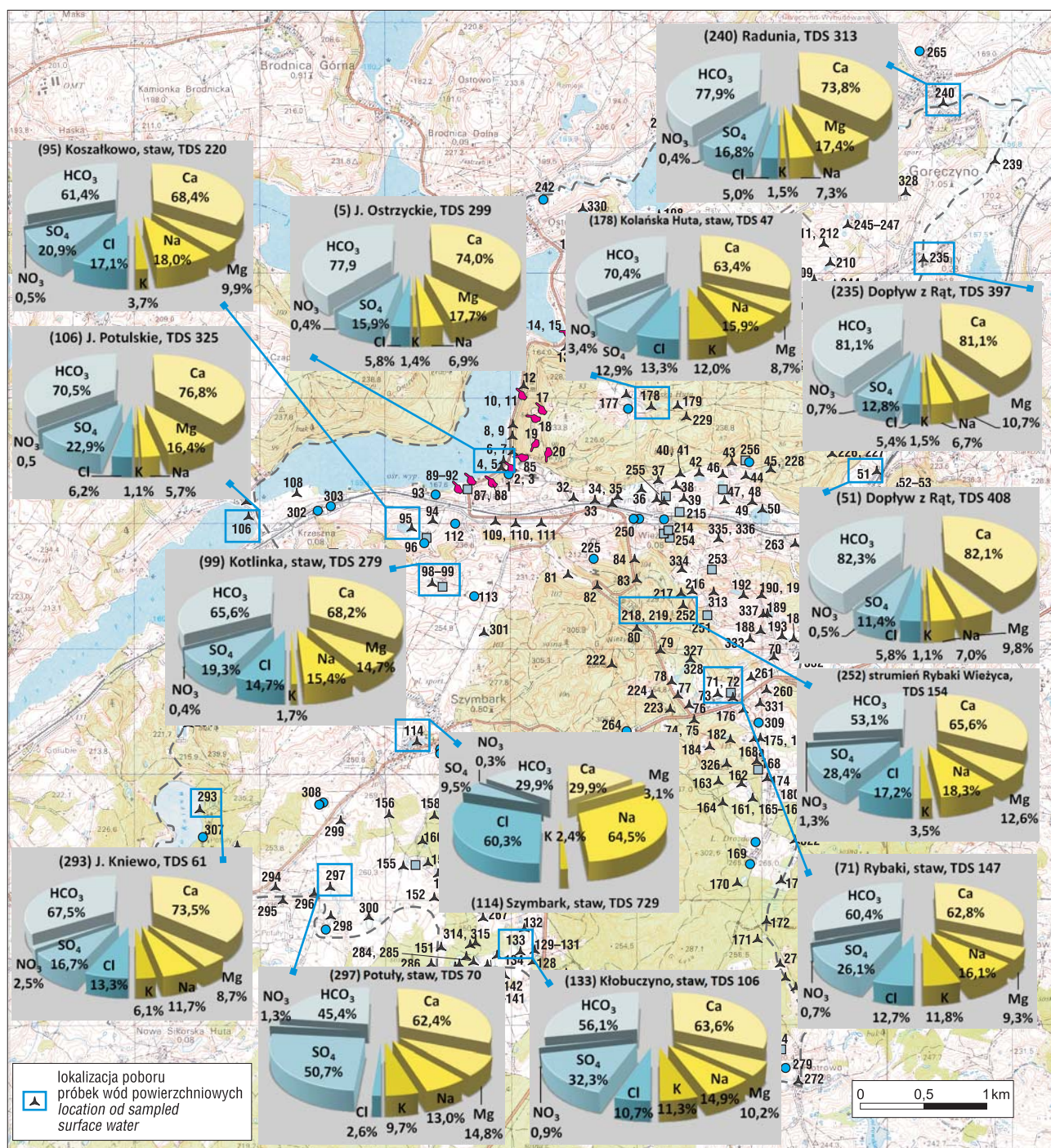
\* wells with anthropogenic pollution are excluded (No. 96, 98, 243)

wodach powierzchniowych oraz podziemnych. Wykonane zestawienie pomogło w wyróżnieniu różnych typów wód powierzchniowych. Najczęściej występują tu niewielkie oczka o niskiej mineralizacji, poniżej 100 mg/dm<sup>3</sup>. Są to zwykle zbiorniki infiltrujące zlokalizowane w centrum zagłębień bezodpływowych ewapotranspiracyjnych. Większym zbiornikiem tego typu jest jezioro Kniewo. Z kolei strumienie, rzeka Radunia oraz jeziora zlokalizowane w rynnach i dolinach rzecznych są przejawem drenażu wód podziemnych, co uwidacznia się podwyższoną wartością mineralizacji, zwykle w przedziale 250–500 mg/dm<sup>3</sup>.

Można również wyodrębnić wody powierzchniowe o zmiennym charakterze drenującym lub infiltrującym w zależności od położenia zwierciadła wody podziemnej i powierzchniowej. Dotyczy to głównie oczek zlokalizowanych w niewielkich przewarstwiach wód zawieszonych, w których obserwowano bardzo wyraźną zależność położenia zwierciadła wód podziemnych od wysokości opadu. Mineralizacja tych oczek zwykle wynosi 100–250 mg/dm<sup>3</sup>. Do tej kategorii zalicza się również strumień Rybaki-Więzyca, wypływający na wschodnim stoku wzniesienia Więzyca (na rzędnych 245 m.n.p.m.), z niewielkich przewarstwień wodonośnych, które drenuje. Dalej ma charakter potoku górskiego i poniżej rzędnej 190 m n.p.m. zanika, zasilając zlewnię Dopływu z Rąt.

## PODSUMOWANIE

W procesie krążenia wód na obszarach młodoglacjalnych wody powierzchniowe stanowią istotne ogniwo. Wyniki badań hydrochemicznych wykazały występowanie widocznych prawidłowości w zróżnicowaniu cech fizykochemicznych analizowanych wód. Zaobserwowano wyraźny związek pomiędzy składem chemicznym a charakterem kontaktu wód powierzchniowych z podziemnymi. Wody powierzchniowe pozostają tu w kontakcie zarówno z lokalnymi wodami zawieszonymi, jak i rozleglejszymi strukturami wodonośnymi, gdzie w zależności od sezonowych wahań poziomu wody mogą infiltrować do wód podziemnych lub je drenować. Wody powierzchniowe o najwyższej mineralizacji, w zakresie 250–500 mg/dm<sup>3</sup>, są przejawem drenażu płytkich wód podziemnych w dolinach rzecznych i rynnach subglacjalnych. Występują one przez cały rok, niezależnie od wysokości opadów atmosferycznych. Wody powierzchniowe o mineralizacji w granicach 100–250 mg/dm<sup>3</sup> napotymano głównie na wysoczyźnie moreny dennej i rzadziej na obszarach sandru. Wody te pozostają w kontakcie z lokalnymi niewielkimi przewarstwieniami wodonośnymi i w zależności od wysokości poziomu wody mogą je drenować lub zasilać. Utrzymują się one przez cały rok, jednak ich ilość wykazuje dużą zale-



Ryc. 7. Typy hydrogeochemiczne wód powierzchniowych. Wartości na diagramach – patrz podpis do ryc. 5  
 Fig. 7. Hydrogeochemical types of surface water. For the values of diagrams see explanation on Fig. 5

zność od wysokości opadu. Najpowszechniejsze okazały się wody powierzchniowe o bardzo niskiej mineralizacji, poniżej 100 mg/dm<sup>3</sup>, które występują głównie w zagłębieniach bezodpływowych. Można je określić jako wody o ograniczonym kontakcie z wodami podziemnymi, gdyż w sąsiedztwie nie stwierdzano zawieszonych wód podziemnych, a pierwszy poziom wodonośny nawierca się tu dopiero na głębokości kilkudziesięciu metrów (Jankowski & Kowalewski, 2008). Najliczniejsze stawy i podmokłości, o niskiej mineralizacji wód, obserwowano w obniżeniach terenu w osadach sandrowych, gdzie wody te utrzymują się na zalegających poniżej glinach morenowych.

Wody powierzchniowe wykazują typ hydrochemiczny HCO<sub>3</sub>-Ca lub HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Ca. Zbiorniki lub cieki drenujące charakteryzują się składem chemicznym zbliżonym do wód podziemnych, które na badanym obszarze są dwu- lub trzyjonowe (HCO<sub>3</sub>-Ca i HCO<sub>3</sub>-Ca-Mg), typowe dla niskomineralizowanych wód strefy aktywnej wymiany. Mineralizacja wód podziemnych zawiera się w przedziale od 100–650 mg/dm<sup>3</sup>, jednak najczęściej wynosi około 350–450 mg/dm<sup>3</sup>. Tylko lokalnie, w dwóch studniach kopanych oraz dwóch studniach wierconych, ujmujących wody gruntowe, stwierdzono wyższe wartości mineralizacji (do 810 mg/dm<sup>3</sup>) oraz podwyższone stężenia azotanów, siarczanów



**Tab. 2.** Skład chemiczny wód powierzchniowych na terenie Wzgórz Szymbarskich  
**Table 2.** Chemical composition of surface water in the Szymbarskie Hills region

Parametr hydrogeochemiczny <i>Hydrogeochemical parameter</i>	Jeziora i ciek w dolinnej warstwie wodonośnej – drenujące (8 analiz) <i>Lakes and streams within valley aquifer – gaining (8 analysis)</i>		Stawy, jeziora i ciek moreny dennej i sandru – infiltrujące (8 analiz) <i>Ponds, lakes and streams within ground moraine and outwash – losing (8 analysis)</i>	
	zakres stężeń <i>concentration range</i>	średnia <i>average</i>	zakres stężeń <i>concentration range</i>	średnia <i>average</i>
mgCa/dm <sup>3</sup>	42,2–83,8	61,7	4,4–42,7	19,3
mgMg/dm <sup>3</sup>	6,1–10,5	7,3	0,4–5,6	2,1
mgNa/dm <sup>3</sup>	4,5–8,3	6,1	1,1–11,1	5,4
mgK/dm <sup>3</sup>	1,4–3,1	2,1	1,0–8,3	3,3
mgCl/dm <sup>3</sup>	5,0–10,3	7,2	1,0–17,5	8,6
mgSO <sub>4</sub> /dm <sup>3</sup>	15,0–54,3	29,5	2,6–31,0	21,6
mgNO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup>	0,0–2,3	1,0	0,9–1,8	1,0
mgHCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup>	134,0–250,0	192,8	18,3–134,0	63,9
TDS mg/dm <sup>3</sup>	285,0–428,0	359,8	32,0–279,0	149,1
mgFe/dm <sup>3</sup>	0,03–0,51	0,22	0,03–0,97	0,44
pH	7,3–8,7	7,8	7,3–9,2	7,9
mgO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	2,7–11,0	7,1	8,1–12,0	10,1
Eh redox mV	199,0–324,0	271,9	172,0–332,0	288,6

**Tab. 3.** Zestawienie wyników pomiarów mineralizacji (TDS) i pH w wodach powierzchniowych i podziemnych na podstawie 3 cykli pomiarowych oraz badań comiesięcznych

**Table 3.** The results of Total Dissolved Solids (TDS) and pH measurements in surface waters based on three measurement cycles and monthly observations

	Rodzaj wód <i>Type of water</i>	Numery punktów pomiarów terenowych <i>Numbers of points of field investigations</i>	TDS mg/dm <sup>3</sup>	pH
wody powierzchniowe drenujące <i>gaining surface water</i>	Jeziora Ostrzyckie, Patulskie, jezioro Trzebnno	5*, 21, 106, 241,	277–330	7,8–8,5
	Radunia	21, 206, 240	278–350	7,8–8,5
	Dopływ z Rąt	51, 235, 238, 239	370–465	7,4–8,2
	wysięki i strumienie seepages, streams	3, 6, 10, 11, 14, 15, 20, 22, 50, 248, 255, 304, 305	250–500	6,8–8,4
wody powierzchniowe infiltrujące <i>losing surface water</i>	oczka, podmokłości kettle lakes, swamps	23, 36, 47, 50, 99, 114, 119, 127, 128, 196, 203, 205, 223, 238, 255b, 257, 266a, 298a, 329, 331a	250–500	6,2–9,0
	jezioro Kniewo	293	61–68	6,5–7,6
	Wierzycza	272, 282	40–69	5,7–6,5
	oczka, podmokłości kettle lakes, swamps	28, 37, 45, 77, 78, 102, 104, 120, 130, 132, 137, 139–141, 143, 144, 147–151, 153–155, 159–161, 167, 170, 172, 175, 177–179, 182–184, 189, 192, 199, 202, 209, 227, 228, 234, 244, 247, 259, 273, 275, 276, 280, 284, 286, 287, 289–297, 300, 313, 314, 316, 318–320, 323–327, 332–335, 337	≤ 100	4,6–9,3
wody powierzchniowe drenujące/infiltrujące <i>gaining/losing surface water</i>	Strumień Rybaki-Wierzycza <i>Stream Rybaki-Wierzycza</i>	218, 219*, 252*	124–385	6,8–7,9
	oczka, podmokłości kettle lakes, swamps	24, 26, 43, 71, 73, 94, 95, 103, 116–118, 133, 138, 142, 145, 176, 194, 195, 207, 210, 224, 226, 233, 245, 246, 249, 260, 267, 268, 285, 299, 317, 338	100–250	6,1–9,7
wody podziemne <i>groundwater</i>	zawieszane perched QP <sub>4</sub> **	72 <sup>1)</sup> , 98 <sup>1)</sup> , 101, 154a, 168 <sup>1)</sup> , 204, 213 <sup>1)</sup> , 223, 251 <sup>1)</sup> , 253, 255a, 256a, 311 <sup>1)</sup> , 321, 331b	101–676	5,8–8,2
	dolinne i sandrowe, w tym źródła water of valleys, outwash, springs QP <sub>4</sub>	1, 25, 48, 87*, 91, 93, 96b**, 100, 112, 177, 215**, 237**, 238, 243*, 254*, 256b, 265, 266, 274**, 298	281–648	6,4–8,4
	QP <sub>3</sub>	96a, 115, 236	177–366	7,2–8,1
	QP <sub>2</sub>	69	410–411	7,3–7,6

\* punkty objęte comiesięcznymi badaniami

\* points of monthly investigations

\*\* studnie kopane

\*\* dug wells

i jonów potasu, będące wynikiem lokalnego zanieczyszczenia antropogenicznego. Warto dodać, że większość stężeń analizowanych parametrów fizykochemicznych wód podziemnych wykazuje jednak zgodność z tłem hydrochemicznym Pojezierza Kaszubskiego. Stąd można powiedzieć, że wpływ działalności człowieka na wody podziemne jest ograniczony na badanym obszarze i wyraźnie obserwuje się, iż wody, nawet płytko występujące, zachowują swój naturalny charakter.

W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w ramach projektu badawczego Narodowego Centrum Nauki pt.: „Lokalne systemy wód podziemnych wysoczyzn młodoglacjalnych na przykładzie Wzgórz Szymbarskich na Pojezierzu Kaszubskim” (nr N N307 404538).

## LITERATURA

- AUGUSTOWSKI B. & SYLWESTRZAK J. 1973 – Z morfogenezy centralnej części Pojezierza Kaszubskiego. *Prz. Geogr.*, 45: 51–62.
- BOROWIAK M. 2005 – Struktura hydrograficzna i lokalne warunki obiegu wody. [W:] W. Lange (red.), Jeziora górnej Raduni i jej zlewnia w badaniach z udziałem Stacji Limnologicznej w Borucinie. Gdańsk: 127–141.
- BOROWIAK D. & BARAŃCZUK J. 2005 – Funkcje hydrologiczne jezior. [W:] W. Lange (red.), Jeziora górnej Raduni i jej zlewnia w badaniach z udziałem Stacji Limnologicznej w Borucinie. Gdańsk: 215–231.
- DRWAL J. 1975 – Zagadnienie bezodpływowości na terenach młodoglacjalnych. *Zesz. Nauk. Wydz. Biologii i Nauk o Ziemi Uniw. Gdańskiego*, 3: 7–25.
- DRWAL J. 1982 – Wykształcenie i organizacja sieci hydrograficznej jako podstawa oceny struktury odpływu na terenach młodoglacjalnych. *Rozprawy i Monografie*, 33: 130.
- DRWAL J. & LANGE W. 1985 – Niektóre limnologiczne odrębności oczek. *Geografia*, 14: 69–83.
- FAC-BENEDA J. 2011 – Młodoglacjalny system hydrograficzny. Wydawnictwo Uniw. Gdańskiego.
- JANKOWSKI M. & KOWALEWSKI T. 2008 – Mapa Hydrogeologiczna Polski 1 : 50 000, Pierwszy Poziom Wodonośny, Arkusz Egiertowo nr 53, Ministerstwo Środowiska, Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- JAWORSKA-SZULC B., PRUSZKOWSKA-CACERES M. & PRZEWŁÓCKA M. 2012 – Wody podziemne wzgórz szymbarskich i ich powierzchniowe przejawy. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 5: 604–610.
- JURYS L. 2002 – Poziomy sandrowe w rynn timeraduńskiej. *Geologia Regionu Gdańskiego*, Państw. Inst. Geol., Gdańsk: 21–23.
- KOZERSKI B. 1988 – Warunki występowania i eksploatacji wód podziemnych w Gdańskim systemie wodonośnym. [W:] *Mat. IV Sympozjum: Aktualne Problemy Hydrogeologii*, Gdańsk: 1–20.
- KOZERSKI B., JAWORSKA-SZULC B., PIEKAREK-JANKOWSKA H., PRUSZKOWSKA M. & PRZEWŁÓCKA M. 2007 – Gdański system wodonośny. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk: 111.
- MAPA PODZIAŁU HYDROGRAFICZNEGO POLSKI w skali 1 : 50 000, arkusz 3461a, wykonana przez Zakład Hydrografii i Morfologii Koryt Rzecznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej na zamówienie Ministra Środowiska i sfinansowana ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, 2007.
- OKOŁOWICZ W. 1956 – Morfogeneza wschodniej części Pojezierza Pomorskiego. *Biul. Inst. Geol.*, 100 (7): 355–381.
- OKULANIS E. 1982 – Rola jezior w kształtowaniu powierzchniowych zasobów wodnych Pojezierza Kaszubskiego. *Zeszyty Naukowe. Uniwersytet Gdański. Rozprawy i Monografie*, 37: 233.
- PETELSKI K. & MOCZULSKA G. 2006 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, Arkusz Egiertowo (53). Ministerstwo Środowiska, Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PIASECKI D. 1960 – Szkic geologiczno-morfologiczny dorzecza Raduni. *Rocznik Pol. Tow. Geol.*, 29 (4): 385–390.
- PRUSZKOWSKA M. 2004 – Hydrogeochemia wód podziemnych z utworów czwartorzędu Pojezierza Kaszubskiego. *Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Seria Monografie*, 51: 87.
- WITCZAK S. & ADAMCZYK A. 1995 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. *Biblioteka Monitoringu Środowiska*, Warszawa: 579.

Praca wpłynęła do redakcji 17.06.2013 r.  
Akceptowano do druku 29.08.2013 r.

# PRZEGLĄD GEOLOGICZNY



Cena 12,60 zł (w tym 5% VAT)

TOM 62 Nr 4 (KWIECIEŃ) 2014

Indeks 370908 ISSN-0033-2151

**Geostrada Sudecka  
– historia projektu**

**Problemy stratygrafii  
muszloraczkowej P/T**

**Metody badania osuwisk  
– „Dzianisz” i „Piaseczno”**

**Wody powierzchniowe i podziemne  
Pojezierza Kaszubskiego**

**Zdjęcie na okładce:** Widok z najwyższego wzniesienia na Niziu Środkowoeuropejskim – ze szczytu Wieżyca – na rynnę Jeziora Ostrzyckiego oraz młodoglacjalne wzgórza morenowe; Pojezierze Kaszubskie (patrz str. 204). Fot. B. Jaworska-Szulc

**Cover photo:** View from the highest elevation in the Central Europe Lowlands – Wieżyca Hill – on the Ostrzyckie Lake and young glacial moraine hills; Kashubian Lake District (see p. 204). Photo by B. Jaworska-Szulc

**Analiza kontaktu wód podziemnych i powierzchniowych na podstawie badań ich jakości na młodoglacjalnym obszarze Pojezierza Kaszubskiego (patrz str. 204)**  
**Investigation of groundwater – surface water contact based on the quality research in a young glacial area of the Kashubian Lake District (see p. 204)**



**Ryc. 1.** Źródło stokowe na morenie dennej, osady zlodowacenia wisły, Kolańska Huta (punkt 304 na ryc. 2)  
**Fig. 1.** Slope spring on a ground moraine, deposits of the Vistulian Glaciation, Kolańska Huta (Fig. 2, 304 point)



**Ryc. 3.** Przykład akumulacji szczelinowej na morenie dennej, osady zlodowacenia wisły, Kolańska Huta (punkt 312 na ryc. 2). Obie fot. B. Jaworska-Szulc  
**Fig. 3.** Kame sediment on a ground moraine, deposits of the Vistulian Glaciation, Kolańska Huta (Fig. 2, 312 point). Both photos by B. Jaworska-Szulc