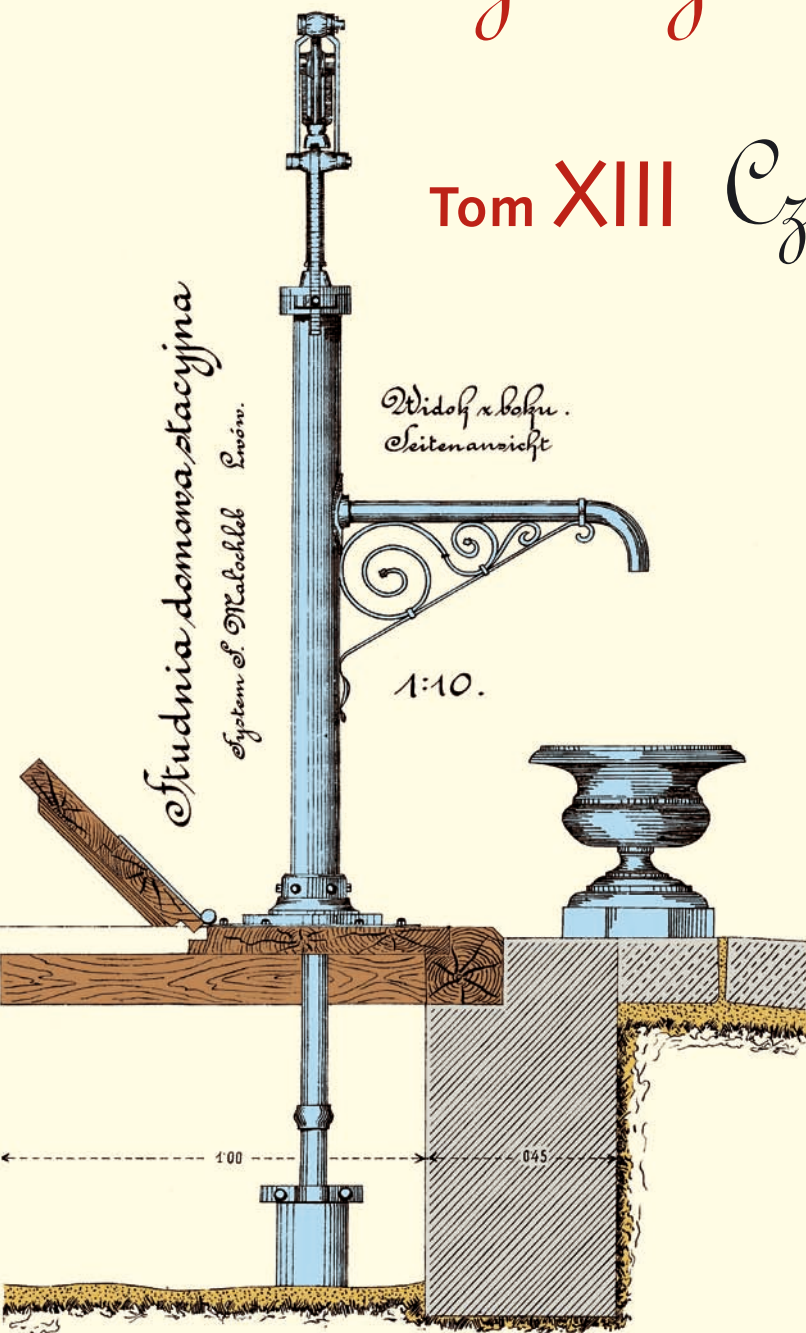


Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 3.





Wydanie publikacji zostało sfinansowane przez
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Recenzenci:

Jadwiga Szczepańska
Wojciech Ciężkowski
Józef Górski
Andrzej Kowalczyk
Ewa Krogulec
Grzegorz Malina
Jerzy Małecki
Marek Marciniak
Jacek Motyka
Marek Nawalany
Jan Przybyłek
Andrzej Rózkowski
Andrzej Sadurski
Andrzej Szczepański
Stanisław Staško
Stanisław Witczak
Andrzej Zuber

Redakcja: Andrzej Szczepański, Ewa Kmiecik, Anna Żurek

Teksty artykułów w częściach 2. i 3. zostały wydrukowane z wersji elektronicznej dostarczonej przez Autorów, metodą bezpośredniej reprodukcji (*camera ready*)

Projekt okładki i stron tytułowych: Andrzej Tomaszewski

Na okładce: fragment projektu studni miejskiej we Lwowie z 1906 roku
— ze zbiorów prof. **Antoniego S. Kleczkowskiego** (1922–2006)

Korekta: Zespół

Skład komputerowy systemem $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$: pre $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ t, www.pretext.com.pl

Druk: ROMA-POL, www.romapol.pl

ISBN-13 978-83-88927-16-4

Maria Przewłócka

Wpływ ascenzji wód piętra kredowego na jakość wód plejstocenijskiego poziomu wodonośnego w zachodniej części Żuław Gdańskich

The Influence of Ascent from Cretaceous to Pleistocene Aquifer on the Groundwater Quality in the Western Part of Vistula River Delta

Słowa kluczowe skład chemiczny wód podziemnych, ascenzja, delta Wisły

Key words chemical composition of groundwater, ascent, Vistula river delta

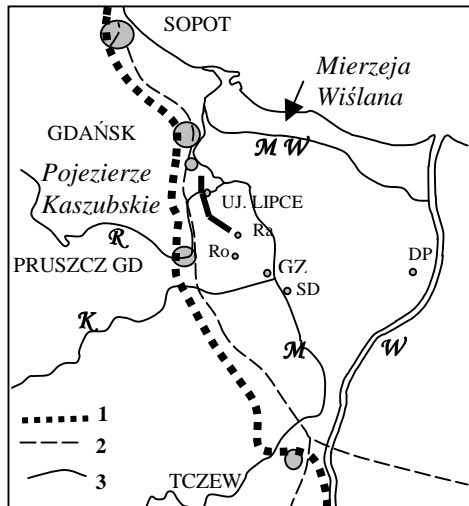
Abstract Western part of Vistula river delta is a region rich in groundwater. Aquifers of usable value occur in Cretaceous and Pleistocene deposits. The highest transmissivity is connected with a buried valley filled with Pleistocene sands and gravel. The chemical composition of groundwater in Pleistocene water bearing bed is distinctly influenced by the ascent from Cretaceous water aquifer. It also depends on lateral recharge from Kashubian Lake District. The hydrochemical type of water from Cretaceous aquifer is $\text{HCO}_3\text{-Na}$, while typical for Pleistocene is $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, so its contribution in general recharge is visible in groundwater chemistry.

1. Wstęp

Wśród licznych opisywanych przypadków anomalii w składzie chemicznym wód podziemnych i zachodzących w nich zmian, zasadnicze znaczenie mają czynniki antropogeniczne. Wiązą się one ze zmianą warunków hydrodynamicznych lub też wywołane są przenikaniem zanieczyszczeń do warstwy wodonośnej (Macioszczyk, Dobrzyński, 2002). Spowodowane tymi czynnikami procesy prowadzą do daleko idących zmian składu chemicznego wód i często do degradacji ich zasobów.

O wiele rzadsze są przypadki znaczących zmian składu chemicznego spowodowane pionowym przepływem wód między użytkowymi poziomami wód podziemnych. Sytuacja taka ma miejsce na obszarze zachodniego brzegu delty Wisły, gdzie obserwuje się wyraźny wpływ ascenzyjnego przesiąkania wód piętka kredowego do plejstoceńskiego poziomu wodonośnego. Wynika ona z dość specyficznych warunków występowania wód podziemnych w krawędziowej strefie wysoczyzny plejstoceńskiej i aluwialnej niziny Żuław.

2. Położenie obszaru



Rysunek1. Żuławy Gdańskie na tle regionu.

Objaśnienia: 1 – krawędź wysoczyzny; 2 – linia kolejowa; 3 – rzeki: *W* – Wisła, *MW* – Martwa Wisła, *M* – Motława, *K* – Kłodawa *R* – Radunia; *Ra* – Radunica, *Ro* – Roszkowo, *SD* – Suchy Dąb, *DP* – Długie Pole, *GZ* – Grabiny Zameczek

Figure1. The Vistula river delta in the region of Gdańsk.

Explanation: 1 – the edge of the upland; 2 – railway; 3 – rivers: *W* – Wisła, *MW* – Martwa Wisła, *M* – Motława, *K* – Kłodawa *R* – Radunia; *Ra* – Radunica, *Ro* – Roszkowo, *SD* – Suchy Dąb, *DP* – Długie Pole, *GZ* – Grabiny Zameczek

Żuławy Gdańskie zajmują płaski obszar rozciągający się między krawędzią wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego i korytem Wisły. Od Zatoki Gdańskiej oddzielone są Mierzeją Wiślaną (rys. 1). Rzędne terenu wahają się od kilku m n.p.m. w południowej części obszaru do 1,5 m poniżej poziomu morza. Tereny depresyjne położone są w centralnej i wschodniej części obszaru. Granica zachodnia zaznacza się bardzo wyraźnie w morfologii terenu - krawędź wysoczyzny wznosi się w sąsiedztwie Delt Wisły do rzędnych 65 m n.p.m.

Główną osią hydrograficzną Żuław Gdańskich jest Martwa Wisła wraz z jej największym dopływem – Motławą, zasilaną przez Kłodawę i Radunię. Znamienna dla obszaru Żuław jest gęsta sieć rowów melioracyjnych, której funkcjonowanie ma zasadnicze znaczenie dla specyficznej gospodarki wodnej delty.

3. Warunki hydrogeologiczne

Wody podziemne o użytkowym znaczeniu występują w utworach kredy górnej i plejstocenu. Podrzedne znaczenie mają również poziomy zaliczane do oligocenu i miocenu, jednakże na większości obszaru Żuław Gdańskich osady wymienionych ogniw stratygraficznych zostały całkowicie zdarte przez egzarację w plejstocenie. W konsekwencji na rozległym obszarze Żuław Gdańskich osady plejstocenu przykrywają bezpośrednio osady kredy górnej.

Kredowe piętro wodonośne

Wody podziemne utworów kredy górnej występują w dwóch seriach. Jedna, złożona z piasków glaukonitowych zaliczanych do koniak i santonu, stanowi dolny poziom wodonośny. Druga, zbudowana jest z węglanowo krzemionkowych utworów kampanu, stanowi poziom górny.

Dolny poziom wodonośny stanowi bardzo zasobny zbiornik wód podziemnych, znany w literaturze jako „gdańska subniecka kredowa” (Sadurski, 1989). Struktura ta ma szersze rozprzestrzenienie i obejmuje poza Żuławami Gdańskimi również zachodnią część Żuław Wielkich, centralną i wschodnią część Pojezierza Kaszubskiego, taras nadmorski, fragment Zatoki Gdańskiej zajmując łączną powierzchnię 4000 m². Jej strop występuje na omawianym obszarze na rzędnej ok. -150 m n.p.m. a miąższość wynosi tu około 100 m. Poziom piasków glaukonitowych graniczy od góry z poziomem węglanowo-krzemionkowym, podścielony jest natomiast utworami nieprzepuszczalnymi. Średni współczynnik filtracji tego poziomu wynosi 0,476 m/h, przewodność hydrauliczna zmienia się od 20-25 m²/h w centralnej części zbiornika do około 5 m²/h w przy jego granicach, a wydajność otworu studziennego przekracza najczęściej 70 m³/h, dochodząc do 150-180 m³/h w zachodniej części obszaru (Lipce, Pruszcz Gdański).

Poziom górny ma charakter szczelinowy i najczęściej wykorzystywany jest właśnie na Żuławach Gdańskich, na pozostałym obszarze natomiast, ma dużo mniejsze znaczenie. Strop tego poziomu występuje na rzędnych około -80 do -100 m n.p.m., a średnia miąższość wynosi około 100 m. Wydajność studni wynosi najczęściej od kilku do kilkudziesięciu m³/h, tylko w NE części Żuław Gdańskich przewyższa wartość 70 m³/h. Współczynnik fluacji najwyższy jest również na Gdańskich Żuławach (2-4 m/h), poza tym oscyluje wokół wartości 0,5 m/h.

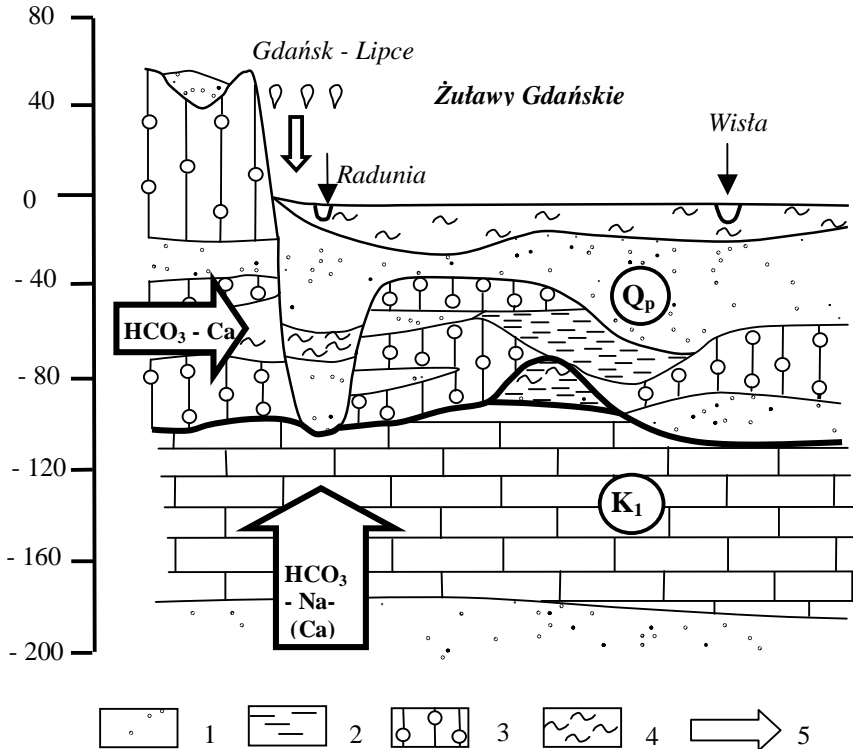
Zasilanie piętra kredowego odbywa się w sposób pośredni na obszarze Pojezierza Kaszubskiego, gdzie wody infiltrują w głąb przez warstwy neogenu i paleogenu, a następnie odbywa się ich lateralny przepływ w kierunku nizin nadmorskich. Niziny nadmorskie, w tym również Żuławy Gdańskie stanowią naturalną bazę drenażu dla kredowego piętra wodonośnego. Zwierciadło piezometryczne w warunkach naturalnych układało się tam od 5 do 20 m n.p.m, a w zachodniej części Żuław Gdańskich na rzędnych 10–20 m n.p.m. (Sadurski, 1976; Burzyński, Sadurski, 1988).

Plejstocieńsko–holoceński poziom wodonośny

Wysształcenie tego poziomu na obszarze Żuław Gdańskich jest dość zróżnicowane zarówno pod względem litologii jak i genezy utworów wodonośnych. W budowie tego poziomu największy udział mają piaszczysto-żwirowe serie wodnolodowcowe, najlepiej wykształcone wzdłuż zachodniego brzegu Żuław między Pruszczem i Gdańskiem. Zdecydowanie największa miąższość kompleksu piaszczystego, dochodząca do 60 m, występuje w przykrawędziowej części delty, w zasięgu występowania pogrzebanej doliny o przebiegu Pruszcz–Westerplatte (rys.2). Przeciętna miąższość wynosi 40 m, a najmniejsza jest w centralnej części Żuław Gdańskich, gdzie lokalnie zmniejsza się do 8 m. W północno–wschodniej części obszaru w miejscu osadów wodnolodowcowych występują morskie piaski związane z interglacją eemskim. Górną część poziomu tworzą przepuszczalne osady holocenu należące do serii deltowej, lub bliżej zatoki – holocieńskie piaski morskie. Na większości obszaru plejstocieński poziom wodonośny podścielony jest warstwą glin, której miąższość pod wspomnianą doliną kopalną jest zredukowana, miejscami nawet jej brak. Tu właśnie może mieć miejsce najintensywniejszy kontakt wód piętra kredowego i plejstocieńsko-holocieńskiego. W stropie poziom ten przykryty jest serią aluwialnych osadów delty Wisły w postaci namulów, torfów i mad, których miąższość waha się od kilku do 20 m. Współczynnik filtracji utworów plejstocieńskich zmienia się w szerokich granicach: od 0,1 do 25,2 m/h, a przewodność hydrauliczna od około 20 m²/h w rejonie Wiśliny do 180 m²/h w zachodniej części delty. Potencjalna wydajność otworu studziennego przekracza na znacznym obszarze 120 m³/h, osiągając w rejonie Lipiec 200 m³/h.

Zwierciadło wody jest swobodne lub lekko napięte przez słabo przepuszczalne utwory organiczne. W warunkach naturalnych układało się ono na rzędnych od około 2 m n.p.m. w strefie przykrawędziowej do około -0,5 m n.p.m. na rozległych obszarach depresyjnych. (Kozerski, Kwaterkiewicz, 1997), a w zachodniej części Żuław Gdańskich **od 2 do 0 m n.p.m.** Porównując te wartości z położeniem zwierciadła piezometrycznego w piętrze kredowym **20 – 10 m n.p.m.**, widać wyraźnie, że w warunkach naturalnych pewne znaczenie w zasilaniu poziomu plejstocieńskiego miała ascenzja wód piętra kredowego. Drugi ważny kierunek zasilania to lateralny dopływ wód z poziomu plejstocieńskiego głównie od strony wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego (rys. 2). Wielkość dopływu bocznego jest niejednakowa – najintensywniejsze zasilanie zachodzi między Pruszczem a Gdańskiem, dalej w kierunku południowym dopływ ten jest zdecydowanie mniejszy. Na obszarze Żuław Gdańskich można zatem wydzielić różne strefy hydrodynamiczne, o zróżnicowanym udziale dopływu poziomego i pionowego. Udział ten wynika z naświetlonych powyżej naturalnych warunków występowania wód podziemnych, a także ze zmian ich dynamiki będących efektem długoletniej eksploatacji obydwu pięter.

Nasilenie poboru przypada na połowę lat 80. ubiegłego wieku. W obydwu piętrach rozbudowały się wówczas rozległe leje depresyjne. Ograniczona od kilkunastu lat eksploatacja wpływa na podnoszenie się zwierciadła wody w obu poziomach wodonośnych, czyli stopniowy powrót do warunków naturalnych.



Rysunek 2. Schematyczny przekrój hydrogeologiczny przez Żuławy Gdańskie - opracowany na podstawie literatury (Kozerski 1983; Burzyński, Sadurski 1988).

Objaśnienia: 1 – piaski, żwiry; 2 – iły; 3 – gliny zwałowe; 4 – mułki, namuły;

5 – kierunki zasilania plejstoceniowego poziomu wodonośnego

Figure 2. The schematic hydrogeological cross-section through Gdańsk's Vistula river delta, on the basis of literature (Kozerski 1983; Burzyński, Sadurski 1988)

Explanation: 1 – sands and gravel; 2 – clays; 3 – boulder clays;

4 – silts; aggradate mud; 5 – recharge directions

4. Skład chemiczny wód podziemnych

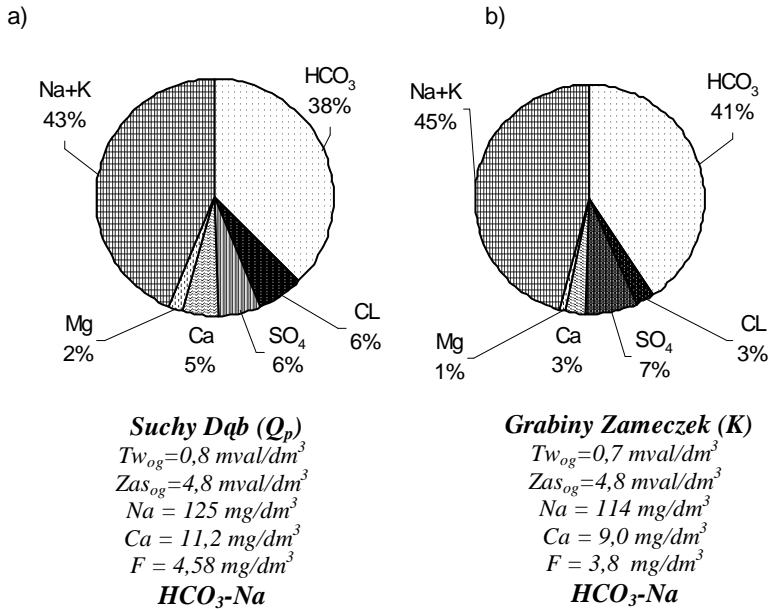
Wody z utworów kredy mają zróżnicowany skład chemiczny. W zachodniej części Żuławy Gdańskich są one typu $\text{HCO}_3\text{-Na}$ oraz $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$, natomiast w rejonach północnych i północno-wschodnich stwierdza się podwyższone zasolenie (Długie Pole 500 mg Cl/dm^3 , Świbno 140 mg Cl/dm^3) co wpływa na ich typ $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$.

Według Sadurskiego (1986, 1989) wody podziemne w utworach kredy gdańskiej wielokrotnie ulegały wymianie, a obecnie pochodzą z infiltracji wód przez osady młodsze na obszarze Pojezierza Kaszubskiego. Zmienność składu chemicznego wynika z intensywności przepływu oraz procesów zachodzących między wodami podziemnymi i środowiskiem skalnym. Wody podlegające najszybszej wymianie, mają typ $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, w strefie wolniejszej wymiany, w głębszych partiach zbiornika artezyjskiego, są one typu $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$ i $\text{HCO}_3\text{-Na}$. Wzbogacenie w jony sodu kosztem jonów wapnia odbywa się w wyniku procesów wymiany jonowej w morskim kompleksie sorpcyjnym minerałów ilastych (Sadurski, 1986). W miejscach utrudnionej wymiany wzrasta stężenie jonu chlorkowego.

W krótkiej charakterystyce wód kredowych zachodniej części Żuław Gdańskich, podkreślić należy: niską twardość - najczęściej $0,5\text{-}1,5\text{ mval/dm}^3$, zasadowość rzędu $5\text{-}6,0\text{ mval/dm}^3$ i występowanie zasadowości alkalicznej ($4,5\text{-}5,5\text{ mval/dm}^3$) (Sadurski, 1985). Znamienne jest też występowanie podwyższonych stężeń jonu fluorkowego, najczęściej $2\text{-}4\text{ mg/dm}^3$. Strefa tzw. anomalii fluorkowej została sprecyzowana i opisana przez Kozerskiego i współautorów (1987). Rozciąga się ona w centralnej i południowej części Żuław Gdańskich i przebiega przez miejscowości: Przegalina, Długie Pole, Suchy Dąb, sięgając aż pod skraj wysoczyzny do Mieścina i Żeliszewek. Stężenia jonu fluorkowego osiągają tam wartości do $5,5\text{-}6\text{ mgF/dm}^3$. Geneza tak wysokich ilości fluorków wiąże się prawdopodobnie z procesami wymiany jonowej lub lokalnym ługowaniem minerałów fluoronosiących ze skał kredowych przez miękkie wody typu $\text{HCO}_3\text{-Na}$.

Wody poziomu plejstoceno-holoceno w zachodniej części Żuław Gdańskich mają skład odbiegający od typowego dla wód z utworów polodowcowych. Przed ich charakterystyką należy podkreślić, że wody z zasilania lateralnego, pochodzące z Pojezierza Kaszubskiego, są typowymi dla utworów plejstocenu wodami $\text{HCO}_3\text{-Ca}$. Ich twardość wynosi najczęściej $4\text{-}5\text{ mval/dm}^3$, a zasadowość na ogół jest zbliżona do twardości. Stężenia jonu fluorkowego są niewielkie i wynoszą $0,1\text{-}0,2\text{ mg/dm}^3$. Natomiast w zachodniej części Żuław Gdańskich przypominają one raczej swoim składem wody kredowe z tego rejonu (rys.3). Specyfika ta zaznacza się najwyraźniej w okolicach miejscowości Suchy Dąb. Wody te są typu $\text{HCO}_3\text{-Na}$, ich twardość wynosi $0,7\text{-}0,8\text{ mval/dm}^3$, zasadowość ogólna około 5 mval/dm^3 , a zawartość fluoru waha się w granicach $2,5\text{-}4,5\text{ mgF/dm}^3$

Skład chemiczny tych wód wskazuje zatem na znaczący udział ascenzji w zasilaniu poziomu plejstoceno-holoceno. Im bardziej na północ, tym wyraźniej zmniejsza się udział jonu sodowego kosztem jonu wapnia. Widać to na przykładzie studzien ujęcia Lipce, które rozmieszczone są na długości około 5 km między Orunią i Pruszczem Gd. (rys.1). W południowej części ujęcia, w warunkach naturalnych, wody wykazywały typ $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$, natomiast w części północnej: $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ lub $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$. Tam też odbywa się najintensywniejszy dopływ lateralny z wysoczyzny wód typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$. Poza tym należy zwrócić uwagę, że wody z utworów kredy mają w tym rejonie typ $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$, charakteryzują się nieco wyższą twardością $1\text{-}2\text{ mval/dm}^3$, a zawartość jonu fluorkowego waha się w granicach $0,6\text{-}1,0\text{ mg/dm}^3$. Częściowo i z tego względu wody poziomu plejstoceno-holoceno charakteryzują się tu niewysoką zawartością jonu fluorkowego $0,2\text{-}0,3\text{ mg/dm}^3$.



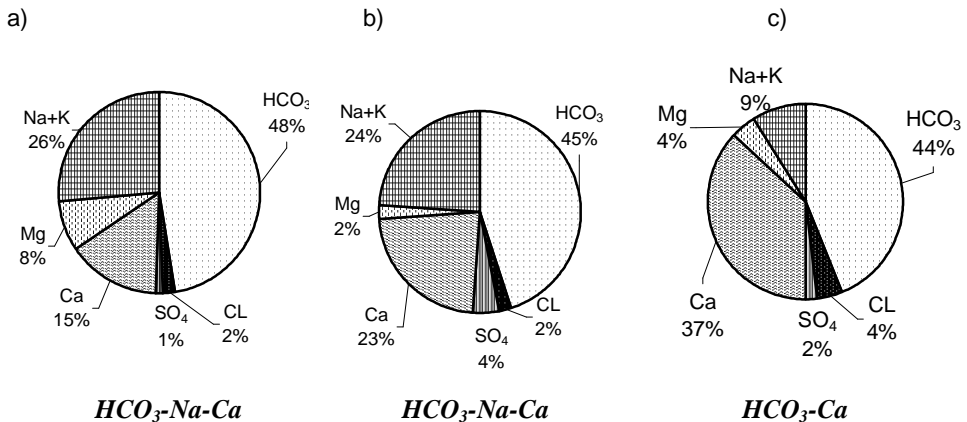
Rysunek 3. Porównanie typów wód w poziomach Q_p i K w SW części Żuław Gdańskich:

a) Suchy Dąb, Q_p - 2000 r; b) Grabiny Zameczek, K – 2000 r

Figure 3. The comparison of water types in Q_p and K aquifers in the western part of delta:

a) Suchy Dąb, Q_p – 2000; b) Grabiny Zameczek, K – 2000

Rysunek 4, oraz tabela 1 wskazują na podobieństwa typów wód piętrowych kredowych i poziomu plejstoceniowego – holoceniowego w południowej części ujęcia Lipce w warunkach naturalnych. Widać również wyraźnie, na przykładzie studni 12 (rys.4) zmianę typu wody



Rysunek 4 Typy wód z poziomów K i Q_p , ujmowanych w pd skrzydle ujęcia Lipce:

a) Lipce – st. K-1, 2005 r; b) Lipce – st. 12 (Q_p), 1972 r; c) Lipce – st. 12 (Q_p), 2005r

Figure 4 Groundwater types in the K and Q_p aquifers in the southern part of Lipce intake:

a) Lipce – well K-1, 2005; b) Lipce – well 12 (Q_p), 1972; c) Lipce – well 12 (Q_p), 2005

Tabela 1. Wartości wybranych wskaźników wód z warstw K i Qp – ujęcie Lipce**Table 1.** Chosen quality indicators for K and Qp aquifers – Lipce intake.

Wskaźnik	Lipce K-1, 2005	Lipce s-12 Qp, 1972	Lipce s-12 Qp, 2005
Tw. og.[mval/dm ³]	1,5	3,3	5
Zas. og.[mval/dm ³]	5,6	6	5,3
F [mg/dm ³]	0,85	0,3	0,27

w poziomie plejstoceno-holoceno: z HCO₃-Na-Ca na HCO₃-Ca, na przestrzeni ostatnich około 30 lat. Jest to spowodowane intensywną eksploatacją, która wymusiła zmiany w dynamice wód podziemnych. Obniżenie ciśnień piezometrycznych w piętrze kredowym zmniejszyło ascencję, a jednocześnie rozwój głębokiego lejka depresyjnego w poziomie plejstoceno - holoceno spowodował intensyfikację zasilania z Pojezierza Kaszubskiego. Według badań modelowych prowadzonych przez Jaworską-Szulc (2007) udział przesiąkania ascenzyjnego w ogólnym bilansie przepływu wód w górnokredowym piętrze wodonośnym zmniejszył się w warunkach maksymalnej eksploatacji (1986 rok) o blisko 33%. Aktualnie odpływ ascenzyjny do wyżej leżących poziomów wodonośnych w całej strefie drenażu wynosi 3498 m³/h, a więc niewiele mniej niż w warunkach naturalnych (3743 m³/h). W roku 1986 (maksymalny pobór wód - 3400 m³/h dla całego zbiornik górnokredowego) ascenzyjne przesiąkanie wynosiło 2513 m³/h. (Jaworska-Szulc, 2007).

5. Podsumowanie

Udział ascencji wód pietra kredowego do wyżej leżących warstw wodonośnych najwyraźniej zaznacza się w składzie chemicznym wody środkowej i południowej części Żuław Gdańskich (Suchy Dąb, Roszkowo), gdzie dominuje w utworach plejstocenu charakterystyczny dla kredy typ wód HCO₃-Na. Jest to związane ze specyficznymi warunkami hydrodynamicznymi w tej części Żuław Gdańskich i stwierdzanym tam pionowym gradientem hydraulicznym. W czasie trwającej dziesiątki lat eksploatacji zaobserwowano zmiany tych naturalnych warunków. W strefie oddziaływania ujęcia Lipce stwierdzono zmiany w składzie chemicznym wód, świadczące o zdecydowanym wzroście zasilania lateralnego z Pojezierza Kaszubskiego. Przedstawiony w pracy problem wskazuje bardzo wyraźnie na rolę dynamiki w formowaniu się składu chemicznego wód. Wynika z niego również, że badania hydrogeologiczne mogą być bardzo przydatne w analizie ewolucji warunków hydrodynamicznych.

Literatura

Burzyński K., Sadurski A., 1988: *Wpływ przykrawędziowego drenażu na obieg wód kredowego piętra wodonośnego na Żuławach Wiślanych*. Kwartalnik Geologiczny t.33, nr 2, s. 301 – 312.

- Jaworska-Szulc B., 2007: *Odnowa zasobów górnokredowego pietra wodonośnego w rejonie Gdańska*. Inżynieria Morska i Geotechnika nr 1/2007, s.10-14.
- Kozerski B.,1983: *Problems of the salt water origin in the Vistula delta aquifers*. Geologia applicata e idrogeologia.vol. XVIII, Bari, s.325-333.
- Kozerski B., Macioszczyk A., Pazdro Z., Sadurski A.,1987: *Fluor w wodach podziemnych w rejonie Gdańska*. Annales societatis Geologorum Poloniae, vol. 57, s. 349 – 374.
- Kozerski B., Kwaterkiewicz A.,1997: *O zmianach zasolenia wód podziemnych czwartorzędu Gdańska*. Współczesne problemy hydrogeologii t.VIII, Poznań,s.345- 347.
- Macioszczyk A., Dobrzyński D.,2002: *Hydrogeochemia* (wydanie pierwsze), Warszawa, Wydawnictwa Naukowe PWN, ISBN 83-01-13879-3.
- Sadurski A.,1976: *Studium zasobów kredowego pietra wodonośnego w rejonie Gdańska w świetle metod paleohydrogeologicznych*. Praca doktorska, maszynopis.
- Sadurski A.,1985: *Warunki hydrochemiczne utworów kredowych w rejonie Gdańska*. Kwartalnik geologiczny, t.29, s. 405 – 418.
- Sadurski A.,1986: *Hydrogeological evolution of the Upper Cretaceous artesian basin of the Gdańsk Region*. Ann. Soc. Geol. Pol., vol. 56, s.143-161.
- Sadurski A.,1989: *Górnokredowy system wód podziemnych Pomorza wschodniego*. Zesz. Nauk. AGH, Geologia z.46.