

Zmiany składu chemicznego wód podziemnych na obszarach sandrowych na przykładzie rejonu Borów Tucholskich

Beata Jaworska-Szulc¹, Małgorzata Pruszkowska-Caceres¹, Maria Przewłocka¹

Changes in the chemical composition of groundwater in outwash plain aquifers: a case study from the Tucholskie Forest area. Prz. Geol., 65: 1276–1281.

Abstract. The article presents the results of investigations conducted within NCN grant no. 2015/17/B/ST10/03233. The aim of the research is to assess changes in the chemical composition of groundwater occurring in a glacial-outwash aquifer, on the basis of the natural hydrogeochemical background. The research includes the area of the Brda and Wda outwash plains belonging to the Tucholskie Forest mesoregion. The study compares the natural hydrogeochemical background identified 30 years ago with the current chemical composition of groundwater from the glacial outwash aquifer. Local changes were observed, expressed as an increase of the concentration of nitrate compounds, TDS and to a certain extent also chlorides and sulphates. In the remaining area, the chemical composition of the groundwater similar to the natural composition.

Keywords: hydrogeochemical background, glacial-outwash aquifer, groundwater quality

Wody podziemne na obszarach sandrowych stanowią zwykle płytkie struktury wodonośne, podatne na zmiany jakości i zanieczyszczenia z powierzchni. W artykule przedstawiono wyniki badań, których celem jest analiza zmienności składu chemicznego wód podziemnych poziomu sandrowego na tle naturalnego tła hydrogeochemicznego. Badaniem objęto obszar sandru Brdy i sandru Wdy, które znajdują się w granicach mezoregionu Borów Tucholskich. Porównano wyznaczone wcześniej naturalne tło hydrogeochemiczne do aktualnego składu chemicznego wód podziemnych poziomu sandrowego. Stwierdzono lokalne zmiany w jakości wód podziemnych, wyrażone wzrostem stężeń głównie związków azotu, suchej pozostałości i w niewielkim stopniu – chlorków i siarczanów. Na pozostałym obszarze chemizm wód podziemnych wykazywał podobieństwo do składu naturalnego.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Mezoregion Borów Tucholskich położony jest w południowo-wschodniej części Pojezierza Południowopomorskiego. Wyznaczenie ścisłych granic tej jednostki jest trudne, i najczęściej przyjmuje się, że jest to obszar mieszczący się w dorzeczu Wdy oraz środkowej i górnej Brdy (Kon-dracki, 2002).

Pod względem geomorfologicznym wyróżniamy właściwe Bory Tucholskie rozciągające się na największych polach sandrowych w Polsce, usypanych na przedpolu moren czołowych stadium pomorskiego, oraz Wysoczyznę Świecką, położoną na wschodzie i ograniczoną wyraźną krawędzią od Doliny Dolnej Wisły. Powierzchnia sandrów wznosi się na rzędnych 95–130 m n.p.m. i jest urozmaicona bezodpływowymi zagłębieniami wytopiskowymi oraz rynnami polodowcowymi wypełnionymi jeziorami, m.in. Charzykowskim, Wdzydze, Karsińskim, Kałębie, Ocypeł,

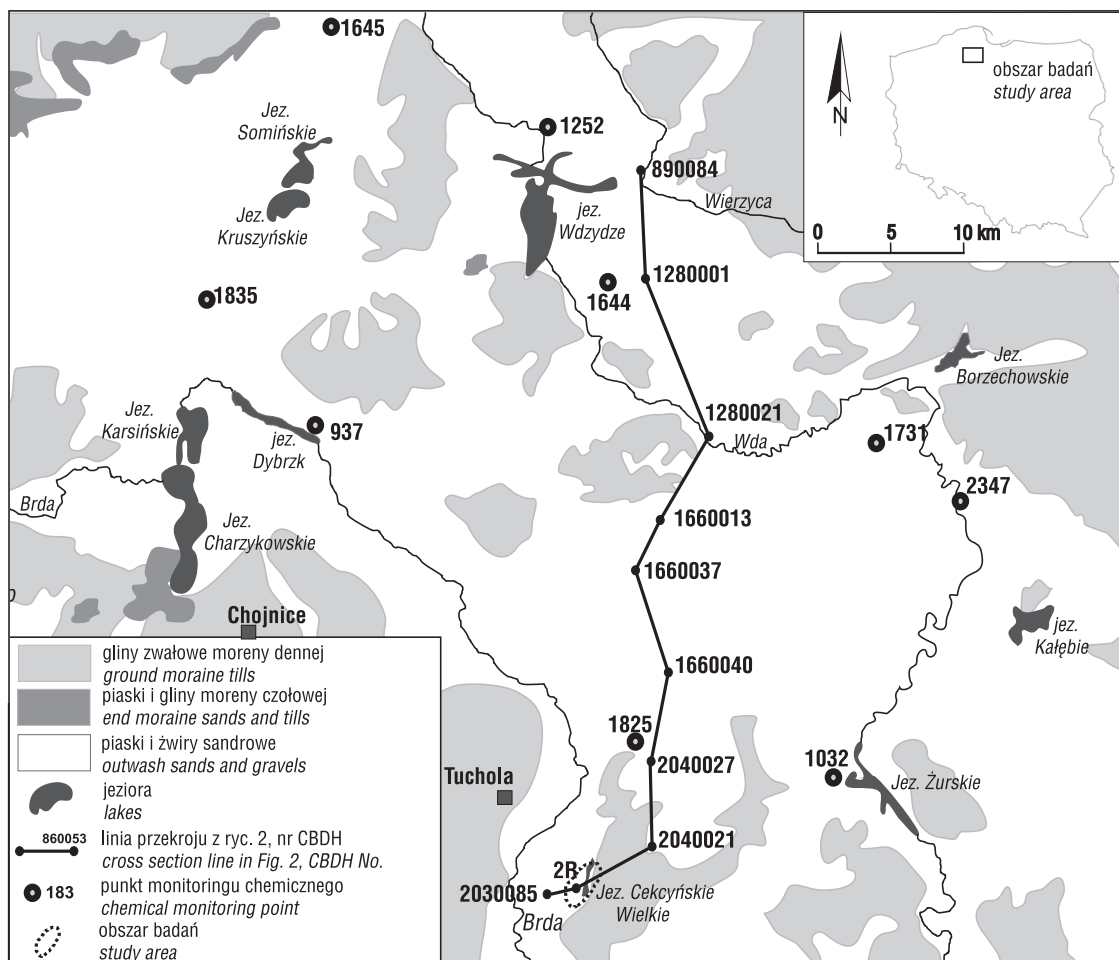
Żurskim i Cekcyńskim Wielkim. Szlaki rynnowe wykorzystują również rzeki – Brda i Wda (Rolka, 1997).

Badaniem objęto obszar sandru Wdy leżącego w całości w obrębie właściwych Borów Tucholskich oraz część sandru Brdy (ryc. 1). Na obszarach sandrowych dominującym materiałem są fluwioglacjalne piaski o zmiennej granulacji od drobno do gruboziarnistych i żwirów. Galon (1953) wyróżnił na obszarze sandru Brdy cztery poziomy sandrowe, a na sandrze Wdy są od dwóch do ośmiu poziomów sandrowych (Roszkówna, 1968). W ich spągu występuje glina morenowa, która jest przewarstwiona piaskami fluwioglacjalnymi.

Wysoczyzna morenowa jest zbudowana z kilku pokładów glin zwałowych zlodowaceń nidy, sanu 1, odry i waraty przewarstwionych piaskami fluwioglacjalnymi. Powyżej leżą osady zlodowacenia wisły reprezentowane przez piaski i żwiry wodnolodowcowe, ily, mułki oraz dwie warstwy glin zwałowych fazy leszczyńskiej i poznańskiej. Ta ostatnia buduje powierzchnię wysoczyzny oraz występuje w podłożu osadów sandrowych, które są związane z fazą pomorską zlodowacenia wisły. Maksymalne miąższości utworów czwartorzędowych na obszarze Borów Tucholskich dochodzą do 129 m. Jednak najczęściej pokrywa osadowa tego wieku nie przekracza 60 m, a w okolicach Tucholi osiąga zaledwie 25 m (Makowska, 1975; Butrymowicz i in., 1978).

Analizowany obszar należy do Słupsko-Chojnickiego regionu hydrogeologicznego. Znaczenie użytkowe mają osady wodonośne piętra czwartorzędowego, w którym wyróżnia się dwa poziomy: przypowierzchniowy (sandrowy) oraz podglinowy. Poziom sandrowy (1-Qp₁) występuje na obszarze sandru Brdy i Wdy i jest zbudowany z utworów piaszczysto-żwirowych o miąższości od kilku do ok. 15–18 m. Zwierciadło wody ma charakter swobodny i układa się na głębokości 3–10 m p.p.t. (ryc. 2). Jest on pozbawiony izolacji od powierzchni terenu, stąd wykazuje znaczną podatność na wpływy atmosferyczne i zanieczyszczenie. Eksploatowa-

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



Ryc. 1. Szkic geomorfologiczny Borów Tucholskich (opracowano wg Marksa i in. 2006), lokalizacja punktów monitoringu chemicznego
Fig. 1. Geomorphological sketch-map of the Tucholskie Forest area (on the basis of Marks et al. 2006), with location of chemical monitoring points

ny jest w niewielkim stopniu, głównie przez indywidualne studnie kopane oraz nieliczne studnie wiercone.

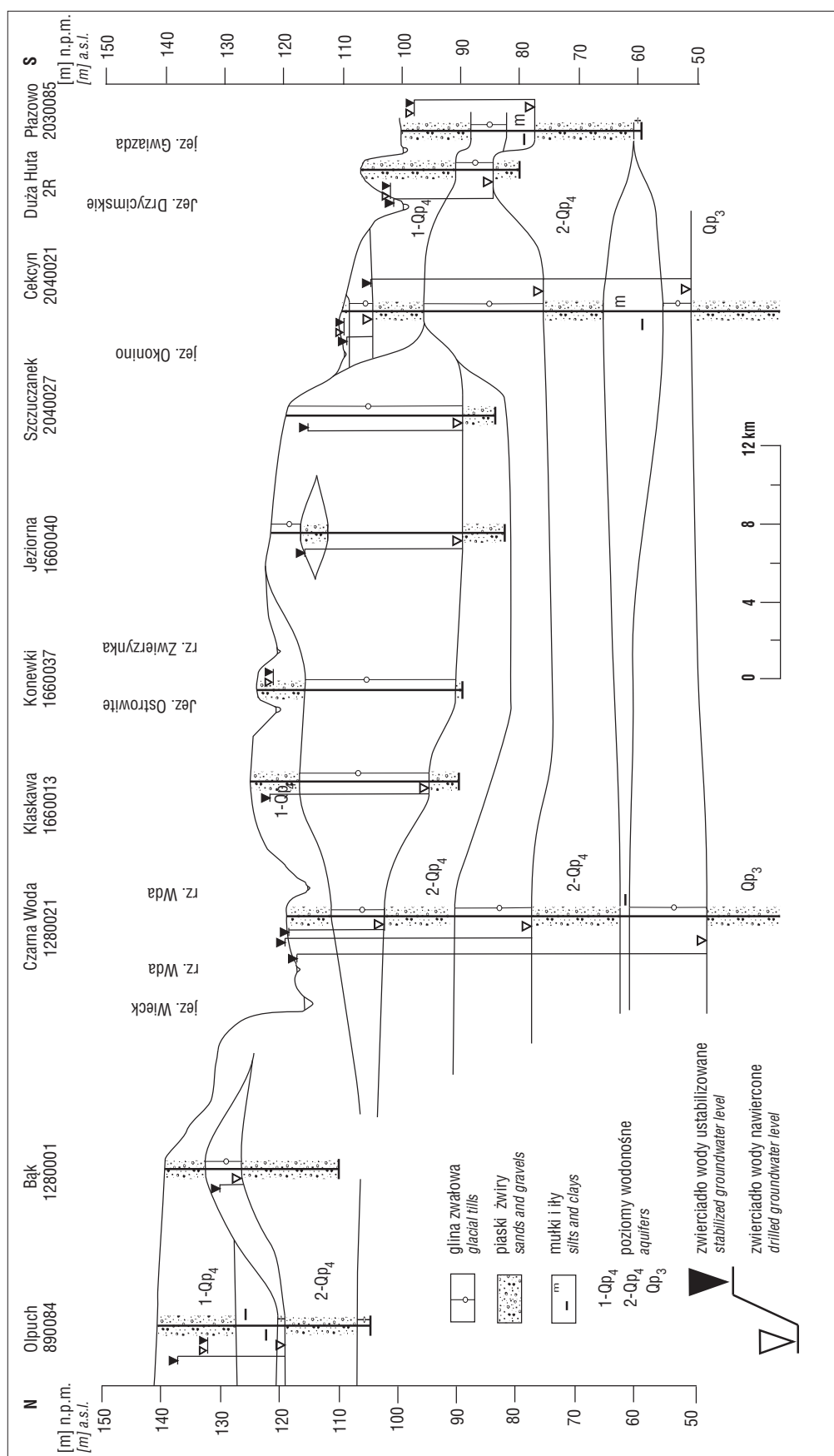
Podglinowy i międzymorenowy poziom wodonośny (2–Qp₄) rozprzestrzenia się na dość znacznym obszarze, obejmując cały badany teren. Na obszarach sandrowych występuje on poniżej poziomu sandrowego, od którego jest oddzielony warstwą glin fazy leszczyńskiej. Miejscami jednak, w rejonach okien hydrogeologicznych, oba poziomy łączą się, czego efektem jest wspólny poziom stabilizacji zwierciadeł. W poziomie podglinowym i międzymorenowym zwierciadło wody jest napięte i stabilizuje się na głębokości 3–10 m p.p.t. na obszarach sandrowych i 5–20 m p.p.t. na wysoczyźnie (ryc. 2). Głębokość występowania tego poziomu wynosi 20–60 m p.p.t., a miąższość jest zmienna i waha się od kilku do ponad 20 m. Jest on powszechnie eksploatowany na całym badanym obszarze, a wydajność studni zmienia się w zakresie od 10 do 70 m³/h (Ozon-Gostkowska, 1987; Sukowska i in., 1987).

Na głębokości poniżej 70 m pojawia się kolejny poziom wodonośny w osadach zlodowacenia warty (Qp₃), nie ma on jednak znaczenia użytkowego i jest słabo rozpoznany (ryc. 2) (Ozon-Gostkowska, 1987; Sukowska i in., 1987).

Zasilanie wód podziemnych poziomu sandrowego odbywa się bezpośrednio przez infiltrację opadów atmosferycznych, natomiast poziom podglinowy i międzymorenowy jest zasilany lateralnie oraz poprzez przesączanie wód z poziomu sandrowego. Bazami drenażu są rzeki Brda i Wda oraz wypełnione jeziorami rynny glacialne.

ZAKRES I METODY BADAŃ

Zebrano archiwalne (z lat 80. XX w.) analizy fizykochemiczne wód podziemnych, a także wykonano badania własne. Pobrane próbki pochodziły ze studzien kopanych i wierconych ujmujących poziom sandrowy. Zgromadzono 76 analiz, co pozwoliło na wyznaczenie naturalnego tła hydrogeochemicznego dla następujących parametrów fizykochemicznych wód podziemnych: jonów chlorkowych, siarczanów, azotanów, azotynów, jonów amonowych, żelaza, manganu i suchej pozostałości (Kozerski, 1986; Kozerski i in., 1987; Przewłocka, 1988). Określone w tamtym czasie naturalne tło hydrogeochemiczne uznano jako punkt odniesienia do analizy zmian składu chemicznego poziomu sandrowego.



Ryc. 2. Przekrój hydrogeologiczny
Fig. 2. Hydrogeological cross-section

Od 2016 r. na obszarze sandru Brdy są prowadzone badania związane z zasilaniem wód poziomu sandrowego. W wybranych, reprezentatywnych punktach powstała sieć piezometrów, w których prowadzone są comiesięczne obserwacje takich parametrów jak: TDS, pH i temperatura wody. Wykonano także sześć analiz wód podziemnych, trzy analizy wód jeziornych i jedną analizę wody opadowej obejmujące: mineralizację, ChZT, zawartości NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , NH_4^+ , Fe, HCO_3^- , K, Mg, Cl, SO_4^{2-} , Ca i Na. Z przeprowadzonych do tej pory badań wzięto pod uwagę wyniki oznaczeń tych parametrów fizykochemicznych w wodach poziomu sandrowego, które pozwoliły na przeprowadzenie analizy porównawczej ze stanem określonym jako naturalny. Utworzono bazę danych, którą uznano za reprezentatywną dla stanu aktualnego. Do bazy dołączono przede wszystkim analizy prowadzone w dziewięciu punktach monitoringu chemicznego PIG-BIP ujmujących poziom sandrowy na obszarze Borów Tucholskich (ryc. 1).

Przeanalizowano także zasoby Centralnej Bazy Danych Hydrogeologicznych, wybierając otwory ujmujące poziom sandrowy na opisywanym obszarze i analizy fizykochemiczne wykonane od 1985 r. W ten sposób powstała baza 113 analiz fizykochemicznych uwzględniających oznaczenia chlorków, siarczanów, azotanów, azotynów, jonów amonowych, żelaza, manganu i suchej pozostałości. Zakres analiz był różny, toteż liczebność oznaczeń poszczególnych wskaźników była niejednakowa, lecz wystarczająca do przeprowadzenia obliczeń statystycznych i określenia współczesnego tła hydrogeochemicznego. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe statystyki opisowe, takie jak: wartość minimalna, maksymalna, pierwszy, dru-

gi i trzeci kwartyl, wartość średnia, a także tło hydrogeochemiczne, które obliczono w sposób analogiczny jak w badaniach tła naturalnego (Kozerski, 1986; Kozerski i in., 1987; Przewłócka 1988). Wyniki zestawiono z obliczeniami dla warunków naturalnych.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Porównanie archiwalnego i współczesnego tła hydrogeochemicznego wód poziomu sandrowego Borów Tucholskich wykazuje wzrost zawartości niektórych składników. Dotyczy to przede wszystkim azotanów, gdzie zakres tła zmienił się od 0,0–0,23 mg/dm^3 do 0,0–2,0 mg/dm^3 ; górna granica tła jest taka, jak wartość maksymalna w warunkach naturalnych. Analiza anomalii dodatnich wykazuje spory rozrzut stężeń, widoczny na histogramie rozkładu (ryc. 3).

Wyrażają to również wartości statystyk przedstawionych na rycinie 4 – rozstęp między pierwszym i trzecim kwartylem wynosi 0,0–1,71 mg/dm^3 , a wartość mediany wynosi tylko 0,145 mg/dm^3 . Widać więc, że większość analiz wykazuje stężenia azotanów typowe dla warunków naturalnych, jednak lokalny wzrost koncentracji tego wskaźnika może świadczyć o przejawach antropopresji. Obserwacja ta jest zbieżna z badaniami przeprowadzonymi przez Grdeń (1999) dla fragmentu obszaru sandru tucholskiego, gdzie wskazano na zróżnicowany skład wód poziomu sandrowego i zwrócono uwagę na podwyższoną zawartość azotanów jako najczęściej obserwowany symptom antropopresji. Określone przez Grdeń (1999) tło hy-

Tab. 1. Zestawienie naturalnego i współczesnego tła hydrogeochemicznego oraz podstawowych statystyk opisowych składu chemicznego wód poziomu sandrowego

Table 1. Comparison of natural and current hydrogeochemical background and basic descriptive statistics for the chemical composition of groundwater of the glacial-outwash aquifer

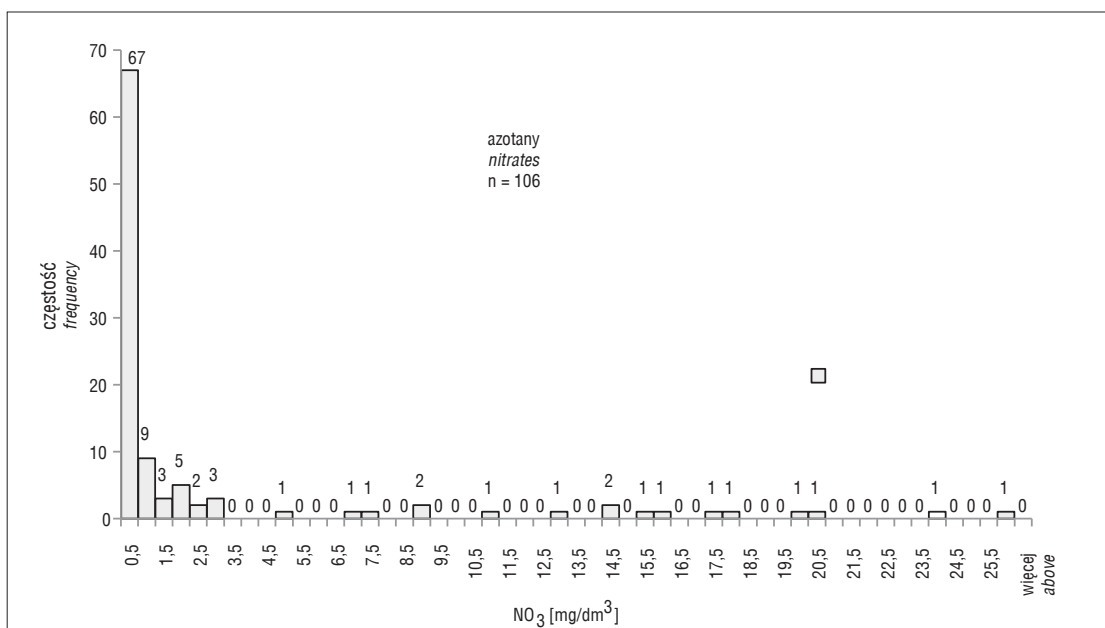
Parametr <i>Parameter</i>	Warunki naturalne (przed 1985 r.) <i>Natural conditions (before 1985)</i> (Przewłócka, 1988)			Stan aktualny (od 1985) <i>Current conditions (from 1985)</i> (Przewłócka, 1988)				
	Tło hydrogeochem. <i>Hydrogeochemical background</i> [mg/dm^3]	Liczba analiz <i>No. of analyses</i>	Zakres stężeń (min.-maks.) <i>Concentration range (min-max)</i> [mg/dm^3]	Tło hydrogeochem. <i>Hydrogeochemical background</i> [mg/dm^3]	Liczba analiz <i>No. of analyses</i>	Zakres stężeń (min.-maks.) <i>Concentration range (min-max)</i> [mg/dm^3]	Mediana Q1–Q3 (kwartyle 1–3) <i>Mediane Q1–Q3 (quartiles 1–3)</i> [mg/dm^3]	Wartość średnia <i>Average</i> [mg/dm^3]
Cl^-	5,0–25,0	53	4,0–34,0	0,0–25,0	104	2,3–94,6	8,105 5,74–14,25	12,74
SO_4^{2-}	10,0–40,0	34	0,36–77,0	0,0–45,0	75	0–203	22,9 12,2–37,9	32,2
Fe_{og}	0,0–2,5	51	0,05–8,0	0,0–1,0	111	0,0–7,67	0,19 0,02–0,66	0,65
Mn^{2+}	0,0–0,25	41	0,01–1,2	0,0–0,2	106	0,0–1,74	0,07 0,003–0,12	0,07
NO_3^-	0,0–0,23	25	0,003–2,0	0,0–2,0	106	0,0–25,6	0,145 0,0–1,71	3,715
NO_2^-	0,0–0,01	30	0,001–0,03	0,0–0,02	109	0,0–1,019	0,008 0,0–0,01	0,032
NH_4^+	0,0–0,3	45	0,02–0,7	0,0–0,8	109	0,0–3,471	0,06 0,0–0,1	0,313
sucha pozost. <i>dry remains</i>	175–325	40	95,0–435,0	150–450	61	120–934,52	253 230–359,78	307,32

drogeochemiczne dla azotanów (<0,002–1,99 mg/dm³) jest zbieżne z wynikami obliczeń aktualnego tła dla całego obszaru Borów Tucholskich przedstawionego w tabeli 1.

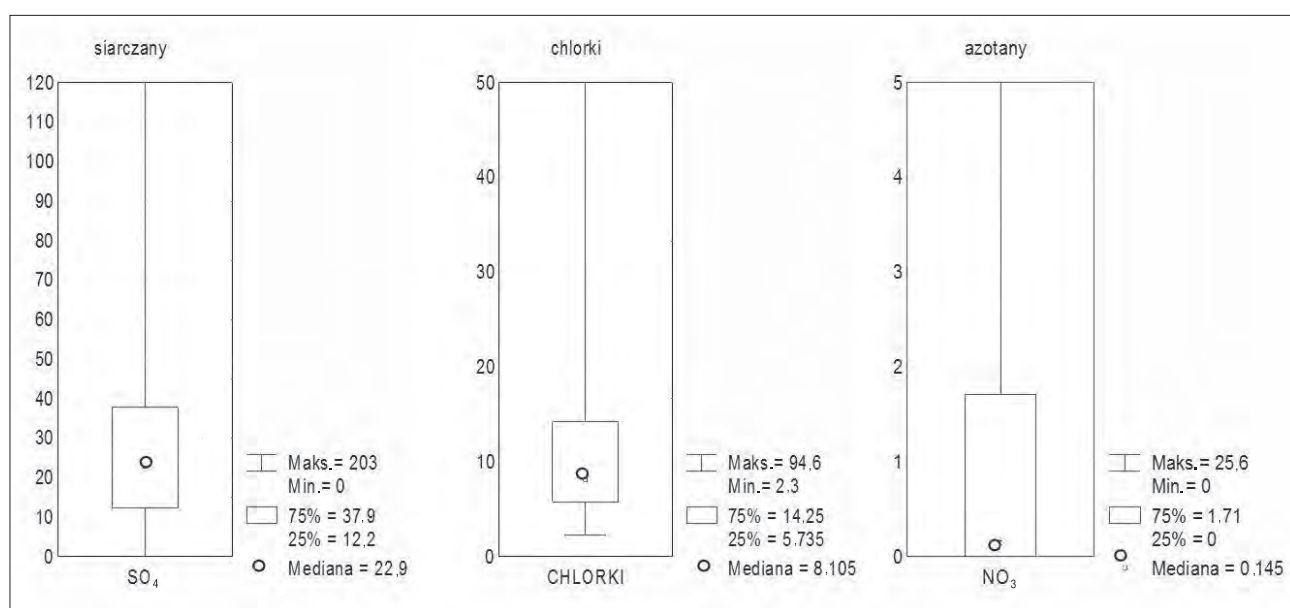
Przesunięcie zakresu tła hydrogeochemicznego zaobserwowano także w odniesieniu do jonów amonowych – od wartości 0,0–0,3 mg/dm³ do 0,0–0,8 mg/dm³. Stosunkowo niska jest tu mediana – 0,06 mg/dm³, z uwagi na liczne analizy wskazujące na brak tego składnika. Średnia wartość stężenia jonu amonowego wynosi aktualnie 0,313 mg/dm³, była więc taka jak górna granica tła w warunkach naturalnych. Zatem wzrost zakresu tła można wiązać z lokalnie występującymi zanieczyszczeniami z powierzchni.

Parametr, dla którego zaobserwowano poszerzenie zakresu tła, to sucha pozostałość – tło określone jako naturalne wyniosło 175–325 mg/dm³, natomiast aktualne: 150–450 mg/dm³, z medianą o wartości 253 mg/dm³ i rozpiętością między pierwszym i trzecim kwartylem: 230–359,78 mg/dm³. Wody poziomu sandrowego są więc nadal typowymi wodami słodkimi.

W przypadku stężeń żelaza tło cząstkowe zawężyło zakres od 0,0–2,5 mg/dm³ do 0,0–1,0 mg/dm³, co zapewne wiąże się z większą liczbą analiz tła współczesnego (111) niż dla obliczeń tła naturalnego (51). Stężenia żelaza w poziomie sandrowym są więc stosunkowo niskie.



Ryc. 3. Histogram rozkładu stężeń azotanów w wodach sandru Borów Tucholskich – warunki aktualne
 Fig. 3. Histogram showing the distribution of nitrate concentrations in groundwater of the Tucholskie Forest glacial outwash – current conditions



Ryc. 4. Podstawowe statystyki opisowe dla siarczanów, chlorków i azotanów
 Fig. 4. Basic descriptive statistics for sulphates, chlorides and nitrates

Wyższe koncentracje stwierdza się w badaniach poziomu podglinowego – wg Grdeń (1999) tło wynosi tam 0,1–3,0 mg/dm³.

Pozostałe parametry chemiczne wykazały podobieństwo współczesnego i naturalnego tła hydrogeochemicznego. W przypadku chlorków i siarczanów zakresy tła były niemal identyczne, jednak można aktualnie zauważyć większy udział anomalii dodatnich niż w warunkach naturalnych. Tło siarczanów określono jako zakres 0,0–45,0 mg/dm³ przy naturalnym tle 10–40 mg/dm³, natomiast maksymalna wartość w populacji wyniosła 203 mg/dm³. W przypadku chlorków górna granica tła wynosi zarówno w warunkach naturalnych, jak i aktualnie 25 mg/dm³. Stężenia są niewielkie; mediana wynosi 8,105 mg/dm³, a rozpiętość między pierwszym i trzecim kwartylem 5,74–14,25 mg/dm³. Zaobserwowano jedynie pojedyncze zawartości chlorków odstające, związane zapewne z lokalnymi zanieczyszczeniami z powierzchni.

PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki badań składu chemicznego wód poziomu sandrowego na obszarze Borów Tucholskich wykazują niewielkie zmiany w stosunku do stanu uznanego jako naturalny. Najbardziej wyraźny był lokalny wzrost stężeń azotanów, a także jonów amonowych, ale przejawiający się przesunięciem górnej granicy tła hydrogeochemicznego. W mniejszym zakresie zaobserwowano wzrost wartości suchej pozostałości oraz stężeń siarczanów i chlorków. Według Górskiego (2001) są to typowe wskaźniki zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego. Taka jest prawdopodobna geneza zaobserwowanych zmian jakości wód poziomu sandrowego Borów Tucholskich. Warstwa wodonośna, ze względu na brak pokrycia utworami nieprzepuszczalnymi, wykazuje wysoką podatność na zanieczyszczenie. Jednak sposób zagospodarowania obszaru pokrytego w znacznej mierze lasami sosnowymi sprawia, że ogniska zanieczyszczeń występują tu tylko lokalnie. Dalsze badania pozwolą na ocenę przemian fizykoche-

micznych wód opadowych zasilających poziom sandrowy i identyfikację procesów kształtujących skład wód poziomu sandrowego.

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego Narodowego Centrum Nauki nr 2015/17/B/ST10/03233.

Autorzy pragną podziękować Recenzentom za cenne uwagi i sugestie.

BIBLIOGRAFIA

- BUTRYMOWICZ N., MURAWSKI T., PASIERBSKI M. 1978 – Objasnienia i Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000, arkusz Chojnice. IG, Warszawa.
- GALON R. 1953 – Morfologia doliny i sandru Brdy. Stud. Soc. Scient. Torun., Toruń–Polonia, 1(6): Sectio C: 1–55.
- GÓRSKI J. 2001 – Propozycja oceny antropogenicznego zanieczyszczenia wód podziemnych na podstawie wybranych wskaźników hydrochemicznych. [W:] Współczesne Problemy Hydrogeologii, X, Wrocław: 309–313.
- GRDEŃ J. 1999 – Chemizm wód podziemnych użytkowych poziomów wodonośnych w obszarach zalesionych na przykładzie Borów Tucholskich. [W:] Mat. IX Ogólnopolskiego Sympozjum Hydrogeologicznego – Kielce: 73–80.
- KONDRACKI J. 2002 – Geografia Regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- KOZERSKI B. 1986 – Ocena aktualnego tła hydrogeochemicznego i prognoza jego zmian w projektowanych obszarach chronionych regionów III, IV, V. Arch. Wyzd. Inżynierii Środowiska PG, Gdańsk.
- KOZERSKI B., WOJTKIEWICZ P., PRZEWŁÓCKA M. 1987 – Wyznaczenie tła hydrochemicznego wybranych obszarów regionu V i III. Arch. Wyzd. Inżynierii Środowiska PG, Gdańsk.
- MAKOWSKA A. 1975 – Objasnienia i Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000, arkusz Grudziądz. IG, Warszawa.
- MARKS L., BER A., GOGOLEK W., PIOTROWSKA K. 2006 – Mapa Geologiczna Polski 1 : 500 000. PIG, Warszawa.
- OZON-GOSTKOWSKA E. 1987 – Objasnienia i Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 200000, arkusz Chojnice. IG, Warszawa.
- PRZEWŁÓCKA M. 1988 – Chemizm wód podziemnych utworów sandrowych Równiny Tucholskiej. [W:] 4 Ogólnopolskie Sympozjum Aktualne Problemy Hydrogeologii cz. II, Gdańsk: 139–146.
- ROLKA A.M. 1997 – Charakterystyka obszarów sandrowych północnej części dorzecza Wdy. Roczn. Fizycznogeogr. UG, 2: 5–18.
- ROSZKÓWNA L. 1968 – Recesja ostatniego lądolodu z terenu Polski. [W:] Galon R. (red.), Ostatnie Zlodowacenie Skandynawskie w Polsce, Pr. Geogr. IG PAN, 74: 65–96.
- SUKOWSKA K., UŚCINOWICZ S., NAUWALDT E. 1987 – Objasnienia i Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:200000, arkusz Chojnice. IG, Warszawa.