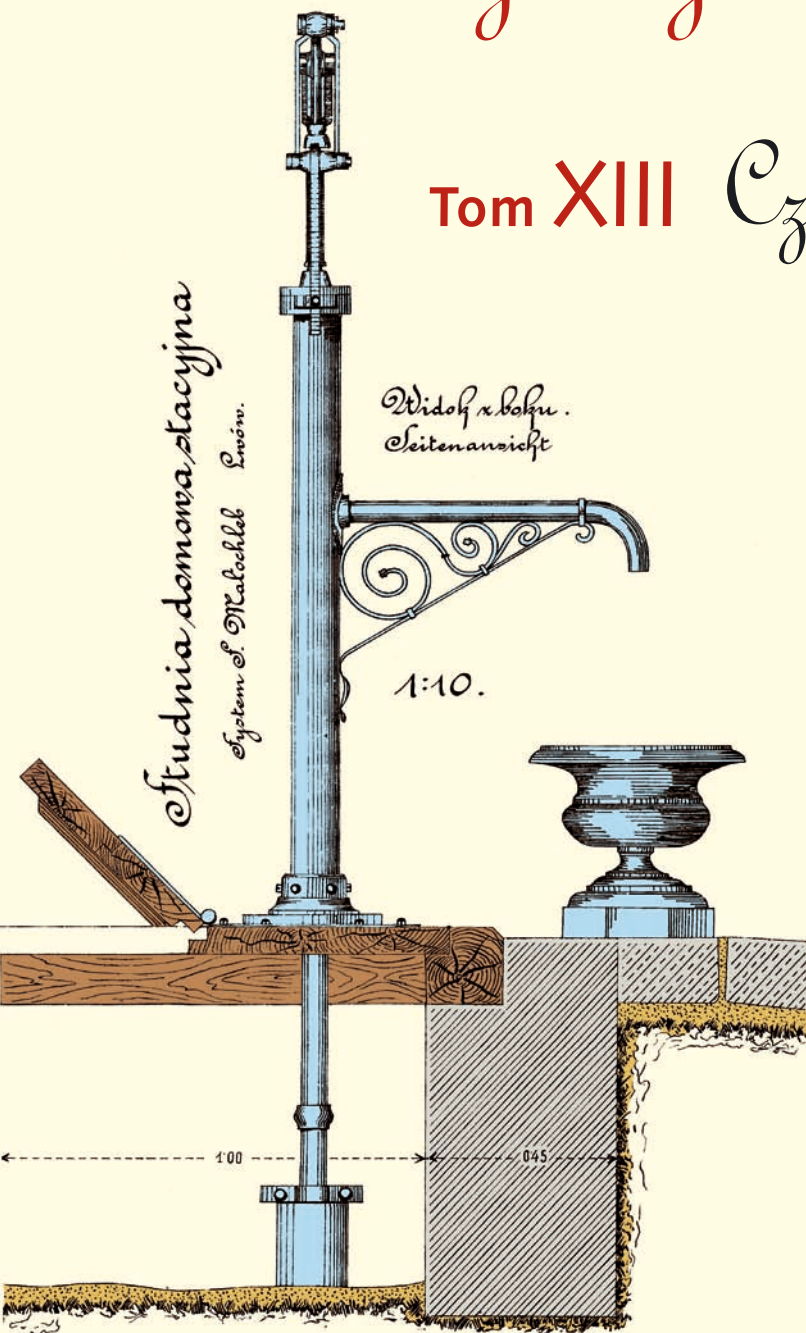


Współczesne problemy hydrogeologii

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 Staśko
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

Mariusz Czop, Jacek Motyka, Ilona Jończyk,
Marek W. Jończyk, Renata Martyniak

**Skład chemiczny wód podziemnych w rejonie
wysadu solnego „Dębina”
(kopalnia „Bełchatów”)**

**Groundwater Geochemistry in the Vicinity
of the “Dębina” Salt Dome (Bełchatów Open-Pit)**

Słowa kluczowe hydrogeochemia, wysad solny Dębina, Bełchatów

Key words geochemistry, Dębina salt dome, Bełchatów open-pit

Abstract Long-lasting drainage of the “Dębina” salt dome has caused of the TDS, chloride and sodium concentration increase in groundwater samples from dewatering wells. Spatial diversification of the groundwater geochemistry in the vicinity of the “Dębina” salt dome also occurred. Groundwater samples from wells located in the southern part of the dewatering barrier has a low concentrations of the sodium and chloride and also posses Ca-HCO₃ or Ca-Mg-HCO₃ hydrochemical type of groundwater. Groundwater samples from wells located within Kleszczów graben are characterised by relatively high concentration of the chloride (> 1000 mg/dm³) and also multi-ion hydrochemical types with distinct prevalence of the Na-Cl type.

Wprowadzenie

Wysad solny „Dębina” uznany został w przeszłości, na podstawie licznych analiz i opracowań specjalistycznych, za strukturę wymagającą ochrony. Główne znaczenie w tym względzie miało przybliżanie się do wysadu frontu odwadniania wyrobiska KWB „Bełchatów” i w konsekwencji strefy bardzo silnego przeobrażenia naturalnych warunków hydrodynamicznych. Bariera ochronna wysadu solnego „Dębina” miała na celu przeciwdziałanie niekorzystnym skutkom intensyfikacji przepływu wód podziemnych w jego rejonie, tj. procesowi rozpuszczania budującej diapir soli kamiennej oraz migracji zasolonych wód do studni odwadniających odkrywkę „Bełchatów”. Zadania te miały zostać osiągnięte poprzez obniżenie ciśnienia wód podziemnych w otoczeniu wysadu do poziomu niższego od stanu, wytworzonego przez pracę studni odwadniających odkrywkę „Bełchatów”.

Owadnianie wysadu solnego „Dębina” jest realizowane od ponad 15 lat. Początkowo, od 1992 r., funkcję odwadniania wysadu pełniły studnie tzw. „starej” bariery, stosunkowo równomiernie okonturowywujące omawiane ciało solne. W związku z podjęciem przez KWB „Bełchatów” decyzji o eksploatacji złoża węgla brunatnego w głębokim rowie II rzędu, w myśl przyjętej strategii odwadniania wysadu, konieczne stało się również pogłębienie bazy drenażu wysadu „Dębina”. Celowi temu służy „nowa” bariera studni odwadniających, odwierconych na zewnątrz wspomnianej „starej” bariery. Dla oceny funkcjonalności bariery oraz efektów pracy studni odwadniających wysad solny „Dębina”, w jego otoczeniu odwiercono również liczną sieć otworów piezometrycznych (rys. 1).

Owadnianie wysadu solnego „Dębina”, realizowane przez KWB „Bełchatów”, z racji bardzo dobrego rozpoznania warunków geologicznych i hydrogeologicznych oraz dużej liczby głębokich otworów hydrogeologicznych, stanowi unikalny w skali światowej przypadek, dający możliwość obserwacji zmian składu chemicznego wód podziemnych w otoczeniu diapiru w związku z pracą studni odwadniających. W niniejszej pracy, na podstawie zbioru danych z badań monitoringowych dla bariery odwadniającej wysad za lata 2004-2006, przedstawiono syntetyczny opis aktualnego stanu środowiska hydrogeochemicznego w rejonie wysadu solnego „Dębina”.

Charakterystyka geologiczna i hydrogeologiczna rejonu odwadnianego wysadu solnego „Dębina”

Wysad solny „Dębina” jest najdalej na południe wysuniętym diapirem w polskiej części basenu cechsztyńskiego. Aktywność tektoniczna wysadu stworzyła dogodne warunki dla depozycji złoża węgla brunatnego „Bełchatów”. Diapir dzieli złożę na dwie części pole „Bełchatów” oraz pole „Szczerców” (Hałuszczak, 2004).

W świetle najnowszych danych geologicznych wysad solny „Dębina” ma formę stromo wypiętrzonego pnia o przekroju elipsoidy i wymiarach 400 m × 600 m. Wysad jest zalega o około 350-400 m wyżej w stosunku do dna Rowu Kleszczowa i około 60-100 m wyżej od jego skrzydeł. Sól kamienna została nawiercona na głębokościach rzędu 170-200 metrów, co odpowiada rzędnym z przedziału +30 m n.p.m. do +10 m n.p.m. Ponad wysadem zalega

czapa gipsowo-anhydrytowa z przewarstwieniami brekcji utworów jurajskich i kredowych, o miąższość około 120 m. Masy solne wysadu „Dębina”, przemieszczając się ku powierzchni, silnie zuskokowały skały mezozoiczne w nadkładzie solonośnej formacji cechsztyńskiej. W sąsiedztwie diapiru bloki skał mezozoicznych są wyraźnie podniesione w stosunku do fragmentów znajdujących się w większej odległości. Utwory trzeciorzędowe w otoczeniu wysadu mają największe miąższości w obrębie Rowu Kleszczowa. Wskutek przemieszczania się mas solnych ku powierzchni, zostały one uformowane w rozległą, asymetryczną antyklinę. Jej skrzydło zachodnie jest wyraźnie silniej nachylone, pod kątem 50-60°, w stosunku do łagodniejszego (około 25°) skrzydła wschodniego. Miąższość utworów czwartorzędowych w otoczeniu wysadu solnego „Dębina” waha się w granicach od około 20-30 m do nawet kilkuset m (Hałuszczak, 2004).

W związku z silnym zaangażowaniem tektonicznym rejonu wysadu solnego „Dębina” także warunki hydrogeologiczne w jego otoczeniu są bardzo skomplikowane. Przy czym, w świetle najnowszych danych, główne znaczenie w tym względzie mają uskoki ograniczające wysad od północy i południa Rów Kleszczowa oraz seria poprzecznych do nich dyslokacji w obrębie podłoża mezozoicznego oraz antykliny uformowanej z utworów trzeciorzędowych (Motyka i in., 2007).

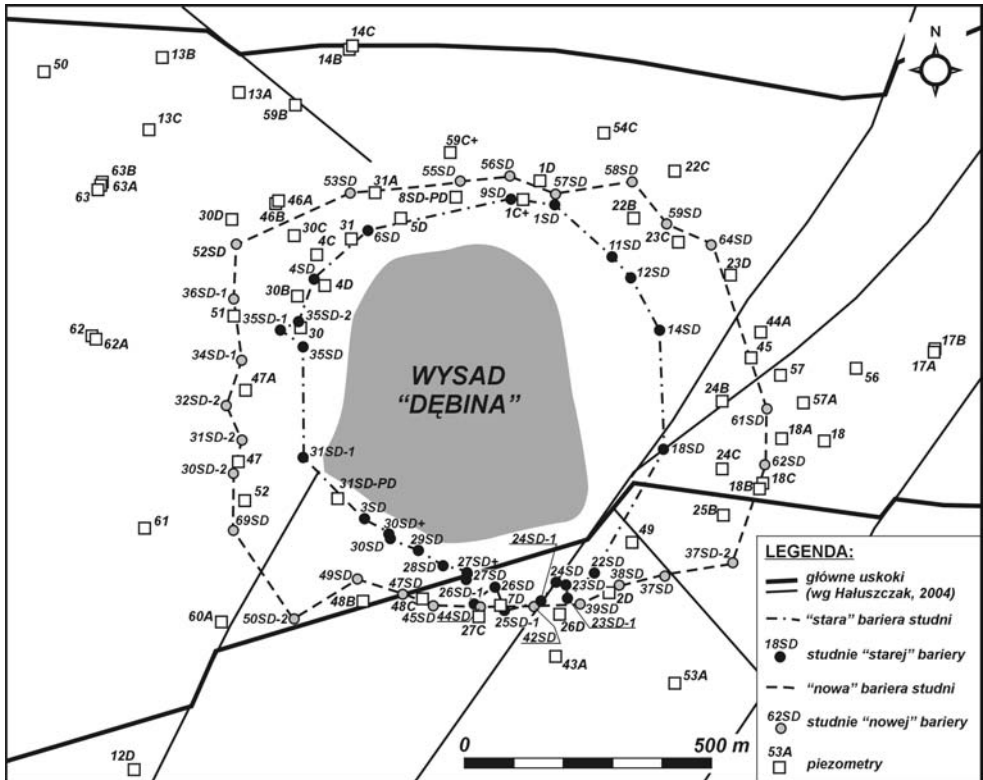
W rejonie wysadu solnego „Dębina” występują cztery kompleksy wodonośne: czwartorzędowy, trzeciorzędowy oraz dwa mezozoiczne - kredowy i jurajski.

Czwartorzędowy kompleks wodonośny tworzą utwory piaszczyste o miąższościach rzędu kilkudziesięciu do nawet kilkuset m, dla których współczynniki filtracji wynoszą średnio około $2,3 \times 10^{-4}$ m/s (Szczepiński, 2000; Sawicki, 2003). W najbliższym sąsiedztwie wysadu utwory tego kompleksu są praktycznie zdrenowane w wyniku oddziaływania barier studni odwadniających wyrobiska „Bełchatów” i „Szczerców”, jak również otoczenie samego diapiru.

Trzeciorzędowy kompleks wodonośny charakteryzuje się bardzo dużą zmiennością miąższości od kilkudziesięciu do kilkuset m. Największe miąższości utworów wodonośnych występują, co oczywiste, w obrębie Rowu Kleszczowa, mniejsze na południe i północ od niego. W obrębie Rowu Kleszczowa w piętrze trzeciorzędowym wyróżnia się trzy poziomy: nadwęglowy (piaski różnoziarniste), węglowy (wkładki piaszczyste w pokładach węgla) i podwęglowy (piaski drobnoziarniste) (Bieniewski i in., 1980). Współczynniki filtracji dla całego kompleksu trzeciorzędowego najczęściej wahają się w przedziale od $1,2 \times 10^{-5}$ m/s do $3,5 \times 10^{-5}$ m/s (Szczepiński, 2000).

Mezozoiczny (kredowo-jurajski) kompleks wodonośny obejmuje swoim zasięgiem rejon Rowu Kleszczowa oraz strefę na północ od niego. Wody podziemne w utworach kredowych występują w obrębie spekanych margli i wapieni oraz lokalnie piaskowców. Miąższość wodonośnych skał kredowych waha się w granicach rzędu kilkuset m. Współczynniki filtracji dla wspomnianych skał przyjmują wartości rzędu 10^{-5} m/s (Sawicki, 2003). Utwory wodonośne jury związane są głównie ze spekanymi wapieniami, wapieniami marglistymi, marglami a lokalnie także piaskowcami. W obrębie partii utworów jurajskich wyróżniono warstwy skał nieprzepuszczalnych: mułowce i iłowce. W stropowej części skał jurajskich występują dobrze rozwinięte formy krasowe, które podnoszą wodoprzepuszczalność tej

formacji geologicznej. Miąższość utworów jurajskich w rejonie wysadu „Dębina” osiąga kilkaset metrów. Typowe wartości współczynników filtracji dla wodonośnych skał piętra jurajskiego wynoszą od $9,2 \times 10^{-5}$ m/s do $1,2 \times 10^{-4}$ m/s (Sawicki, 2003), a średnio około $3,9 \times 10^{-5}$ m/s (Szczepiński, 2000).



Rysunek 1. Lokalizacja studni odwadniających i piezometrów w otoczeniu wysadu „Dębina”
Figure 1. Location of the pumping and monitoring wells in the vicinity of the Debina salt dome (Belchatow open-pit)

Charakterystyka danych hydrochemicznych

W publikacji wykorzystane zostały dane hydrochemiczne pochodzące z badań monitorin-gowych rejonu wysadu solnego „Dębina”, uzyskane poprzez pomiary wykonywane przez BOT KWB „Bełchatów” S.A. w latach 2004-2006. Obejmują one wyniki 311 analiz składu chemicznego w studniach odwadniających, wchodzących w skład zarówno „starej” jak i „nowej” bariery oraz pochodzące z sieci piezometrów (rys. 1).

Monitoring hydrochemiczny otoczenia wysadu „Dębina” jest prowadzony w miarę możliwości 2 razy w roku, we wszystkich czynnych studniach i w wybranych piezometrach.

Obejmuje on swym zakresem pomiary podstawowych cech fizycznych wody, tj. odczynu pH, temperatury, przewodności elektrolitycznej właściwej (PEW) oraz oznaczenia stężeń wszystkich jonów głównych: Ca^{2+} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- i SO_4^{2-} a także wybranych jonów podrzędnych - Fe^{2+} , Mn^{2+} i NH_4^+ .

Wyniki wszystkich analiz składu chemicznego wód podziemnych z rejonu wysadu „Dębina” zostały zarchiwizowane w bazie danych stworzonej za pomocą programu AquaChem, firmy Waterloo Hydrogeologic. Aplikacja ta łączy zalety typowej bazy danych z zaawansowanymi narzędziami do ich graficznej i statystycznej analizy oraz dodatkowo modelowania geochemicznego przy użyciu programu PHREEQC.

Przestrzenne zróżnicowanie stężeń chlorków w wodach podziemnych ujmowanych przez studnie odwadniające

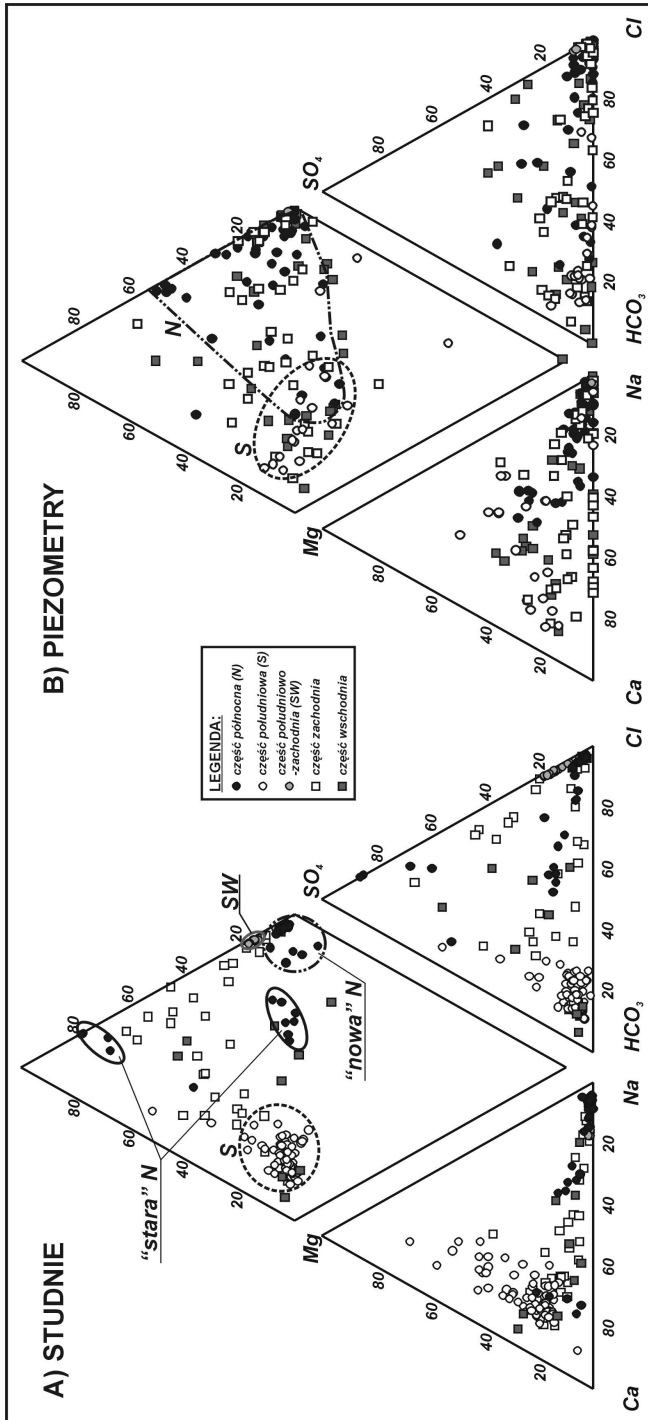
Wody podziemne w otoczeniu wysadu solnego „Dębina”, w świetle opróbowania studni bariery odwadniającej, wykazują bardzo silne zróżnicowanie pod względem składu chemicznego. Głównym wskaźnikiem różnicującym wspomniane wody jest zawartość jonu chlorkowego (Cl^-).

Aktualne dane monitoringowe z połowy 2006 r. wskazują, że chlorki w wodach studni odwadniających wahają się w dosyć szerokim zakresie od 9,21 mg/dm^3 (61SD) do blisko 8500 mg/dm^3 (3SD).

Wyraźnie zaznacza się także przestrzenne zróżnicowanie stężeń jonów chlorkowych w poszczególnych fragmentach barier odwadniających (rys. 2). Wody o najniższych zawartościach jonu Cl^- z przedziału 15,99-42,92 mg/dm^3 , dopływają do południowej części „starej” i „nowej” bariery. Podobnie niskie wartości chlorków stwierdza się we wschodniej części „nowej” bariery, gdzie w studniach 61SD i 62SD występują one na poziomie odpowiednio 9,21 mg/dm^3 oraz 69,69 mg/dm^3 .

W pozostałych częściach barier odwadniających, tj. północnej i zachodniej oraz w narożniku południowo-zachodnim obserwuje się bardzo wysokie stężenia jonów chlorkowych. W 11 studniach odwadniających stwierdza się występowanie chlorków na poziomie przekraczającym 2500 mg/dm^3 (rys. 2). Interesujący jest również fakt, że płytsze studnie tzw. „starej” bariery odprowadzają wody o wyraźnie niższych stężeniach chlorków od głębszych studni „nowej” bariery.

Zróżnicowanie zawartości jonów chlorkowych w wodach podziemnych odpompowywanych z rejonu wysadu solnego „Dębina” wynika bezpośrednio z ich występowania w odmiennym środowisku hydrogeochemicznym. Charakterystyczne jest, że studnie z wodą o niskiej zawartości chlorków położone są poza Rowem Kleszczowa lub też w sąsiedztwie jego południowej granicy. Studnie, w których stwierdza się wysokie stężenia jonu chlorkowego, znajdują się w obrębie rowu tektonicznego, a dopływające do nich wody mają możliwość kontaktu nie tyle z samym wysadem, który najprawdopodobniej jest strukturą szczelną, lecz z solą kamienną rozproszoną w strefie brekcji tektonicznej (rys. 1). Powyższa hipoteza wyjaśnia przypadek studni 29SD, 30SD+ oraz 3SD, położonych w narożniku



Rysunek 3. Diagramy Piper dla wód podziemnych z rejonu wysadu solnego „Dębina”
 Figure 3. Piper diagrams for groundwater samples in the vicinity of the Debina salt dome

Bardzo wyraźna jest odmienność typów hydrochemicznych wód w studniach odwadniających wysad solny „Dębina” od strony południowej (rys. 3a). Wody te charakteryzują się najczęściej typem hydrochemicznych Ca-HCO_3 i Ca-Mg-HCO_3 przy czym obecność wysadu solnego sprawia, że bardzo często w istotnych stężeniach ($>20\%$ sumy kationów lub anionów w mval/dm^3) występuje sól (Na) oraz chlorki (Cl). Mineralizacja ogólna wód w studniach południowej części bariery waha się w granicach od $231,7 \text{ mg/dm}^3$ do $615,6 \text{ mg/dm}^3$, przy średniej na poziomie $334,4 \text{ mg/dm}^3$.

Do drugiej grupy o wyraźnie odmiennym składzie chemicznym zaliczają się wody podziemne ujmowane przez studnie północnej części „nowej” bariery oraz południowo – zachodniego narożnika „starej” bariery (rys. 3a). Wody te charakteryzują się typem hydrochemicznym Na-Cl i jak przedstawiono wcześniej zawartościami chlorków powyżej 1000 mg/dm^3 . Mineralizacja wód podziemnych ze studni z narożnika SW „starej bariery” waha się w granicach $12,3 - 16,6 \text{ g/dm}^3$, przy średniej $14,4 \text{ g/dm}^3$. Z kolei mineralizacja w studniach północnej części „nowej” bariery zawiera się w granicach $1,7 \text{ g/dm}^3$ do $15,8 \text{ g/dm}^3$, przy średniej $9,1 \text{ g/dm}^3$.

Pozostałe fragmenty bariery studni odwadniających wysad Dębina, tj. północna część „starej” oraz części wschodnia i zachodnia charakteryzują się występowaniem wód podziemnych o złożonych typach hydrochemicznych (rys. 3a). Część z tych wód ukształtowała się w warunkach mieszania wód „słodkich” typu Ca-HCO_3 lub Ca-Mg-HCO_3 z wodami silnie zmineralizowanymi typu Na-Cl, związanymi z otoczeniem wysadu. Zauważalny jest również wpływ na skład chemiczny wód podziemnych, szczególnie w studniach północnej części „starej” bariery, komponenty zawierającej podwyższone stężenia jonu SO_4 , co należy wiązać z dopływem wód z czapy wysadu lub posiadających możliwość kontaktu z nią (rys. 3).

Typy hydrochemiczne w piezometrach sieci obserwacyjnej wysadu solnego „Dębina” wykazują znacznie mniej czytelne zróżnicowanie (rys. 3b). Fakt ten jest związany z metodyką czyszczenia otworów z zasypów, sposobem poboru próbki wody z piezometrów (przy pomocy próbnika, po czyszczeniu airliftem) oraz z różnym okresem ich eksploatacji.

Pozostałe fragmenty bariery studni odwadniających wysad Dębina, tj. północna część „starej” oraz części wschodnia i zachodnia charakteryzują się występowaniem wód podziemnych o złożonych typach hydrochemicznych (rys. 3a). Część z tych wód ukształtowała się w warunkach mieszania wód „słodkich” typu Ca-HCO_3 lub Ca-Mg-HCO_3 z wodami silnie zmineralizowanymi typu Na-Cl, związanymi z otoczeniem wysadu. Zauważalny jest również wpływ na skład chemiczny wód podziemnych, szczególnie w studniach północnej części „starej” bariery, komponenty zawierającej podwyższone stężenia jonu SO_4 , co należy wiązać z dopływem wód z czapy wysadu lub posiadających możliwość kontaktu z nią (rys. 3).

Typy hydrochemiczne w piezometrach sieci obserwacyjnej wysadu solnego „Dębina” wykazują znacznie mniej czytelne zróżnicowanie (rys. 3b). Fakt ten jest związany z metodyką czyszczenia otworów z zasypów, różnym sposobem poboru próbki wody z piezometrów (przy pomocy próbnika, po czyszczeniu airliftem) oraz z różnym okresem ich eksploatacji.

Podsumowanie

Wody podziemne w rejonie wysadu solnego „Dębina” wykazują istotne zróżnicowanie składu chemicznego i w konsekwencji typu hydrochemicznego, w zależności od lokalizacji studni odwadniających. Studnie południowej części bariery przejmują strumień wód podziemnych o małej mineralizacji związanych z silnie zawodnionymi utworami jurajskimi. Studnie zlokalizowane w obrębie rowu Kleszczowa odprowadzają wody o dużym udziale jonów: sodowego i chlorkowego. Źródłem tych składników jest ciało solne wysadu „Dębina”, przy czym pochodzą one z zasolonych wód otaczających diapir. Istnieją również przesłanki występowania stref predysponowanych do uruchomienia ascenzyjnego dopływu wód głębokiego krążenia, czemu sprzyja silnie zaangażowany tektonicznie górotwór w rejonie wysadu solnego „Dębina” (Żak, Sobociński, 2002; Walendziak, Sołtyk i in., 2005).

Literatura

- Bieniewski J., Kleczkowski A.S., Seweryn L., 1980: *Hydrogeologiczne warunki i odwadnianie złoża Bełchatów*. W: Barczyk W. (red.) – Przew. LII PTG, Bełchatów, 124-144.
- Hałaszczak A., 2004: *Cenozoic dynamics of the Dębina Salt Dome, Kleszczów Graben, inferred from structural features of the Tertiary–Quaternary cover*. Ann. Soc. Geol. Polon. 74, 3, 311-319.
- Motyka J., Czop M., Jończyk I., Jończyk M. W., Martyniak R., 2007: *Model hydrogeologiczny rejonu wysadu solnego „Dębina”*. W: Mat. XIII Konf. Współ. Probl. Hydrogeol., Krynica – Kraków.
- Sawicki J., 2003: *Złoże i kopalnia Bełchatów*. W: Wilk Z. (red.) – *Hydrogeologia polskich złóż kopalin i problemy wodne górnictwa*. Wyd. AGH, Kraków, 536-570.
- Szczepiński J., 2000: *Predictive modeling of filling with water the Bełchatów Lignite Mine final excavations*. In: Rózkowski A., Rogoż M. (eds.) – *Mine water and the environment*. 7th Intern. Mine Water Assoc. Congress, Ustroń, Poland, 331-341.
- Walendziak J., Sołtyk W. i in., 2005: *Badania i ocena chemizmu wód odprowadzanych z systemu odwodnienia O/Bełchatów i bariery ochronnej wysadu solnego do rzeki Widawki i ich wpływ na wody w rzece, poniżej Kopalni z uwzględnieniem wpływu składowisk popiołów i zwałowiska wewnętrznego*. Instytut Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie (oprac. niepubl.).
- Żak S., Sobociński C., 2002: *Zawartość jonów chlorkowych w wodach podziemnych w rejonie wysadu solnego „Dębina”*. *Górnictwo Odkrywkowe*, 4: 19-23.

Praca powstała w Katedrze Górnictwa Odkrywkowego na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii AGH, w ramach realizacji badań statutowych nr 11.11.100.270.