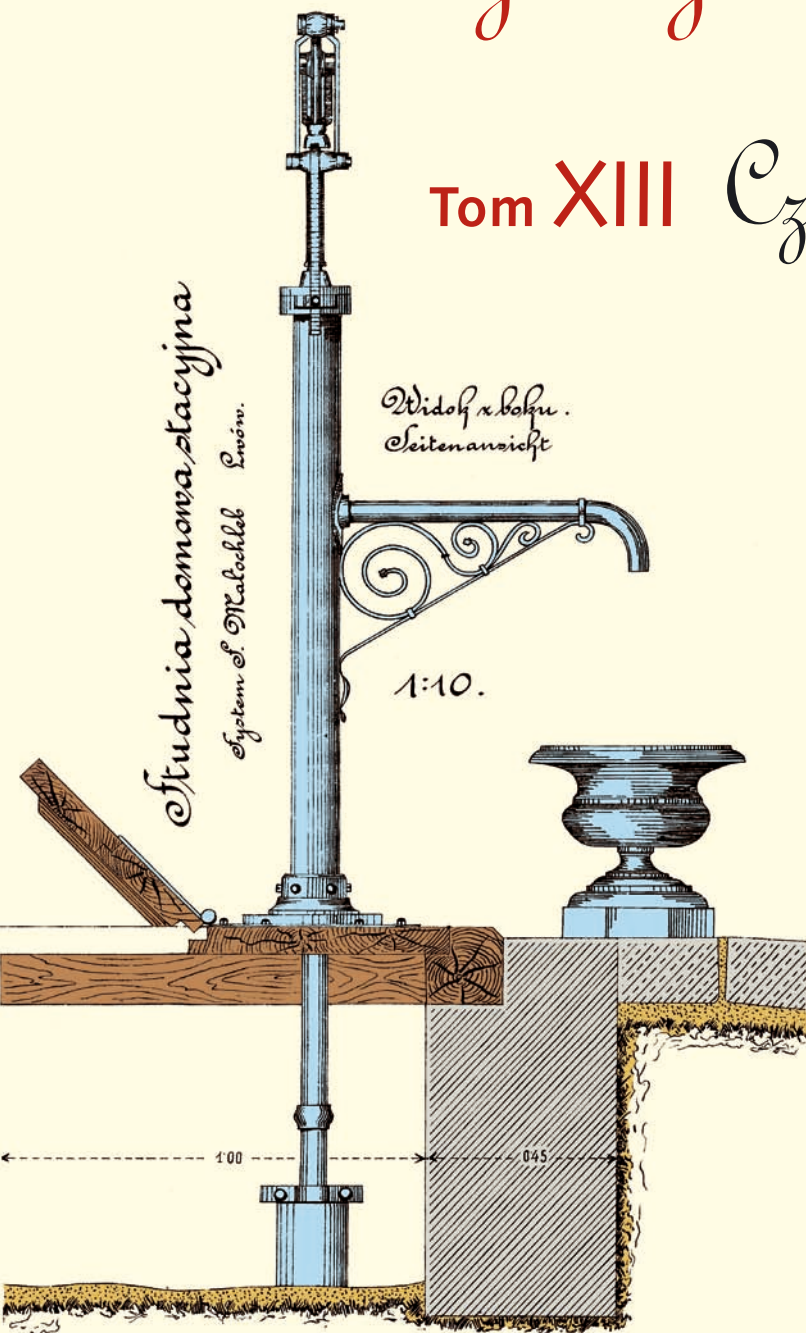


Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 3.



Copyright © Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Kraków 2007



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

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

**Model hydrogeologiczny rejonu wysadu
solnego „Dębina” (kopalnia Bełchatów)**

**Hydrogeological Conceptual Model of the “Dębina”
Salt Dome District (Bełchatów Open-Pit)**

Słowa kluczowe warunki hydrogeologiczne, hydrogeologiczny model konceptualny,
wysad solny Dębina, Bełchatów

Key words hydrogeological conditions, hydrogeological conceptual model,
Debina salt dome, Belchatow open-pit

Abstract The “Dębina” salt dome is situated in the central part of the Kleszczów graben, between the open-cast brown coal mines “Bełchatów” and “Szczerców”. “Dębina” salt dome is dewatered by individual barrier of the deep wells. Long lasting drainage of the Debina salt dome district is an disclosing factor for the geological and also hydrogeological units exhibition. The paper has been delineated on the introductory formulation of the new, hydrogeological conceptual model of the “Dębina” salt dome district.

Wstęp

Wysad solny „Dębina” stanowi najdalej w kierunku południowym wysuniętą strukturę tego typu w obrębie polskiej części basenu cechsztyńskiego. Zlokalizowany jest on w centralnej części trzeciorzędowego rowu Kleszczowa. Jest elementem strukturalnym rozdzielającym złoża węgla brunatnego „Bełchatów” na część wschodnią (Pole „Bełchatów”) i część zachodnią (Pole „Szczerców”). Występowanie wysadu solnego ma decydujące znaczenie dla przyjętego sposobu eksploatacji złoża. Już pod koniec lat 70-tych ubiegłego stulecia podkreślano kluczowe znaczenie wysadu solnego „Dębina” dla kształtowania warunków hydrogeologicznych Pola Bełchatów (Bieniewski i in., 1980).

W miarę przesuwania się frontów eksploatacyjnych w wyrobisku na Polu Bełchatów (ze wschodu na zachód), istnienie w bliskim sąsiedztwie wysadu solnego nabierało coraz większego znaczenia z punktu widzenia jakości wód pompowanych systemem odwodnienia węglanego Pola Bełchatów. Ze względu na zwiększanie głębokości drenażu oraz zasięgu wpływu odwodnienia istniało realne zagrożenie naruszenia struktury wysadu solnego, znajdującego się na kierunku wymuszonego przepływu wód podziemnych, przy znaczącym wzroście gradientów hydraulicznych. Rozpatrywane koncepcje miały przede wszystkim ograniczyć rozpuszczanie soli, wskutek intensyfikacji przepływu wód podziemnych.

Koncepcja ochrony wysadu solnego, opracowana przez Poltegor-Projekt, polegała na odwierceniu wokół wysadu bariery studni odwadniających. Zadaniem bariery miało być obniżenie zwierciadła wody w otoczeniu wysadu i utrzymywanie go na jednakowym poziomie, niższym od położenia zwierciadła wody w wyrobisku Pola Bełchatów. Poprzez eksploatację zaprojektowanych studni miały zostać zrealizowane następujące funkcje bariery ochronnej wysadu solnego :

- 1) ochrona wysadu solnego „Dębina” przed nadmiernym ługowaniem,
- 2) uniemożliwienie migracji zasolonych wód z otoczenia wysadu do systemu studni odwadniających Pole Bełchatów, a w dalszej perspektywie także Pola Szczerców.

Rejon wysadu solnego „Dębina” zaczęto odwadniać, przy pomocy pierścieniowej bariery studni, w 1992 roku. Eksploatacja studni o głębokościach wynoszących 200-300 m spowodowała obniżenie zwierciadła wody na obwodzie bariery do rzędnej ok.+20 m npm. Zgodnie z przyjętą zasadą odwadniania rejonu wysadu solnego, w nawiązaniu do eksploatacji węgla w rowie II rzędu, studnie istniejącej „starej” bariery miały zbyt małą głębokość. Od 2003 r. rozpoczęto przebudowę bariery, polegającą na wierceniu drugiego zewnętrznego pierścienia studni o głębokości 350-430 m. Podczas eksploatacji studni „nowej” bariery uwidoczniły się wokół wysadu solnego odrębne hydrostruktury, które wykazywały słabe wzajemne kontakty hydrauliczne. W oparciu o aktualny stan wiedzy na temat budowy geologicznej oraz eksploatacji bariery ochronnej należy zweryfikować główną zasadę funkcjonowania bariery mówiącą o jednakowym położeniu zwierciadła wód podziemnych w otoczeniu wysadu solnego.

W pracy przedstawiono nową propozycję modelu hydrogeologicznego rejonu wysadu solnego „Dębina”, uwzględniającą dotychczasowe rozpoznanie budowy geologicznej i warun-

ków hydrogeologicznych oraz wyniki monitorowania pracy starej i nowej bariery studni odwadniających wokół tego wysadu.

Szkic warunków hydrogeologicznych w rejonie wysadu „Dębina”

Wysad solny „Dębina” występuje w rozległym rowie tektonicznym Kleszczowa, rozciągającym się w kierunku W-E, poprzecinany poprzecznymi dyslokacjami o kierunku zbliżonym do N-S (Ciuk, 1980; Hałaszcak, 2004). Integralną częścią wysadu jest czapa gipsowo-iłowa, zbudowana głównie z utworów siarczanowych, anhydrytowo-gipsowych, przemieszanych ze skałami ilastymi, mułowcowymi i węglanowymi. Morfologia stropu czapy jest bardzo urozmaicona, a lokalne deniwelacje głębokości jej występowania sięgają 20-30 m (Hałaszcak, 2004). Miąższość czapy jest bardzo zmienna. W środkowej części wysadu jest ona równa około 120 m, a na jego obrzeżach zmniejsza się do kilkunastu metrów. Według Szczepińskiego i in. (2002) współczynniki filtracji utworów budujących czapę mieszczą się w przedziale od $6,9 \times 10^{-9}$ do $1,5 \times 10^{-7}$ m/s. Sam wysad solny jest nieprzepuszczalny i stanowi przegrodę dla strumienia wód podziemnych, zarówno w warunkach naturalnych, jak i zakłóconych odwadnianiem Pola „Bełchatów”.

Tektonika w otoczeniu wysadu jest bardzo skomplikowana. Strukturą pierwszego rzędu jest asymetryczny rów Kleszczowa o przebiegu W-E, w którym zalega złożę węgla brunatnego. W rejonie wysadu solnego występują liczne uskoki poprzeczne o przebiegu NW-SE oraz SW-NE. Asymetria rowu polega na tym, że w jego południowym skrzydle wiszącym utwory mezozoiczne występują znacznie płycej niż w jego północnym skrzydle wiszącym.

W otoczeniu wysadu solnego „Dębina” wyodrębnia się następujące kompleksy wodonośne: czwartorzędowy, trzeciorzędowy, i mezozoiczny(kredowo – jurajski). Lokalnym zbiornikiem wód podziemnych, o niewielkim rozprzestrzenieniu jest wspomniana czapa gipsowo-iłowa.

Utwory kenozoiczne występują na całym obszarze wysadu, a ich miąższość zależy od ukształtowania morfologii stropu skał podłoża. Powierzchnia stropowa mezozoiku zalega na różnych głębokościach, w południowym skrzydle wiszącym znajduje się na rzędnych 100-140 m npm, we wschodniej części od -400 do -100 m npm (na Polu Bełchatów), na zachodzie od -360 m npm do -180 m npm na Polu Szczerców), a w północnym skrzydle wiszącym rowu tektonicznego Kleszczowa na rzędnych od -10 do +50 m npm. Miąższość czwartorzędu sięga 90 m. Czwartorzędowy kompleks wodonośny budują w przewodze piaski średnioziarniste, a podrzędnie także pospółki (Bieniewski i in., 1980). Według Szczepińskiego (2000) i Sawickiego (2003) przeciętna wartość współczynnika filtracji piasków i żwirów czwartorzędowych wynosi około $2,3 \times 10^{-4}$ m/s.

Trzeciorzędowy kompleks wodonośny jest zróżnicowany pod względem litologicznym. Bieniewski i in. (1980) wyróżniają w jego profilu trzy poziomy wodonośne: nadwęglowy, węglowy i podwęglowy. Miąższość poziomu nadwęglowego zmienia się przeważnie w przedziale od 0 do 50 m, a lokalnie osiąga prawie 90 m. Poziom węglowy tworzą wkład-

ki piasków drobnoziarnistych, występujących sporadycznie w obrębie pokładów lub między pokładami węgla. W poziomie podwęglowym warstwami wodonośnymi są piaski drobnoziarniste z pyłami i pyłem węglowym, które lokalnie są scementowane (Bieniewski i in., 1980). Miąższość poziomu podwęglowego, według cytowanych autorów, wynosi przeważnie 50-100 m, maksymalnie osiągając około 200 m. Łączna miąższość trzeciorzędowego kompleksu wodonośnego wynosi od 90 do 400 m, przy czym warstwy wodonośne stanowią około 50% profilu utworów trzeciorzędowych. Współczynniki filtracji tych warstw mieszczą się najczęściej w przedziale od $1,2 \times 10^{-5}$ do $3,5 \times 10^{-5}$ m/s (Szczepiński, 2000).

Mezozoiczny kompleks wodonośny (kredowo - jurajski) budują spękane margle i wapienie, a lokalnie także piaskowce kredowe. Jest to zbiornik wód podziemnych typu mieszanego, częściowo szczelinowego (margle), szczelinowo-krasowego (wapienie) lub porowo-szczelinowego (piaskowce). Miąższość utworów kredy jest bardzo zmienna, na co wpływa urozmaicona tektonika mezozoicznego podłoża. W południowym skrzydle wiszącym rowu Kleszczowa, na południowy wschód od wysadu „Dębina” utwory kredy nie występują. Na pozostałym obszarze ich miąższość sięga paruset metrów. Współczynniki filtracji utworów kredowych są najczęściej rzędu 10^{-5} m/s, ale ich rozrzut ze względu na szczelinowy lub szczelinowo-krasowy charakter zbiornika jest bardzo duży (Sawicki, 2000).

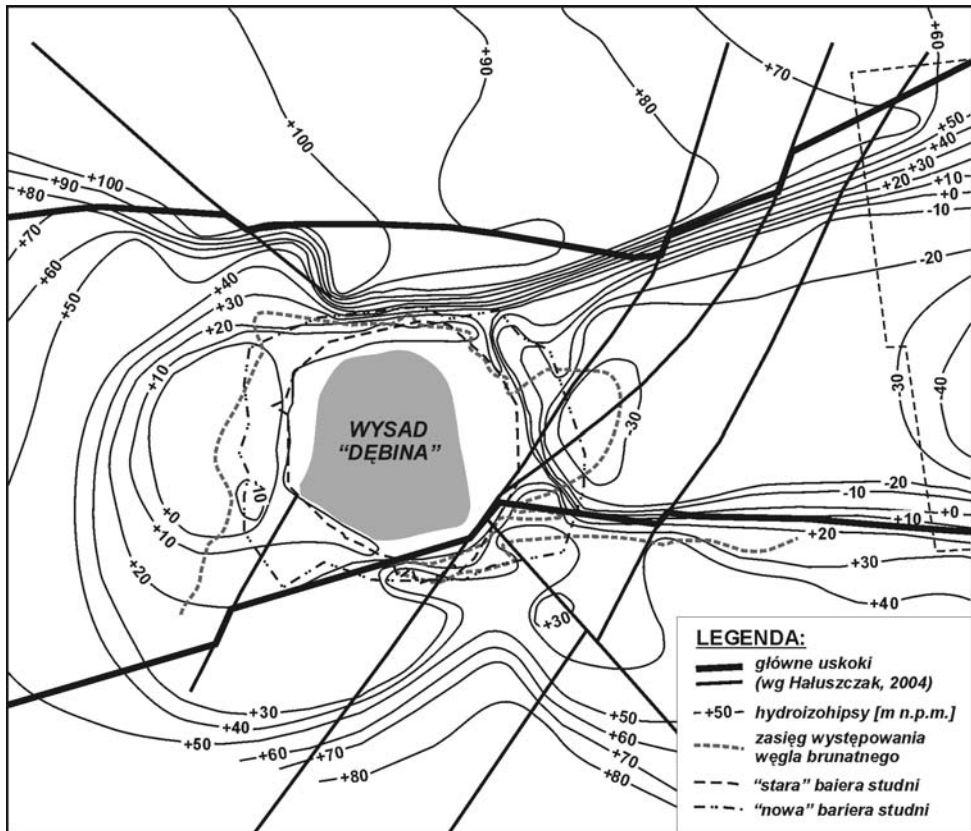
Do utworów wodonośnych jury zalicza się: wapienie, wapienie margliste i margle, lokalnie także piaski i piaskowce. W profilu jury występują także mułowce i iłowce, które są warstwami izolującymi (Sawicki, 2003). W wapieniach jurajskich, szczególnie w ich stropowej części, nawiercono liczne formy krasowe. Kawerny były przeważnie wypełnione utworami ilasto-piaszczystymi. Wapienie jurajskie należy uznać za zbiornik wód podziemnych typu szczelinowo-krasowego. Dla tego rodzaju zbiorników charakterystyczny jest duży rozrzut wartości współczynników filtracji, mieszczących się w paru rzędach wielkości. Według Sawickiego (2003) wartości współczynników filtracji wodonośnych utworów jurajskich najczęściej zawierają się w przedziale od $9,2 \times 10^{-5}$ do $1,2 \times 10^{-4}$ m/s, a według Szczepińskiego i in. (2002) wynoszą najczęściej kilka m/d, a średnio $3,9 \times 10^{-5}$ m/s.

Warunki przepływu wód podziemnych w rejonie wysadu „Dębina”

Eksploatacja studni odwadniających Pole „Bełchatów” oraz studni bariery rejonu wysadu solnego „Dębina” ujawniła znaczącą rolę struktur tektonicznych w kształtowaniu warunków przepływu wód podziemnych. Aktualne położenie zwierciadła wód podziemnych w rowie Kleszczowa i w jego bezpośrednim otoczeniu (rys. 1) uwidacznia pewną hierarchizację tych struktur, kształtujących warunki przepływu wód podziemnych w różnej skali.

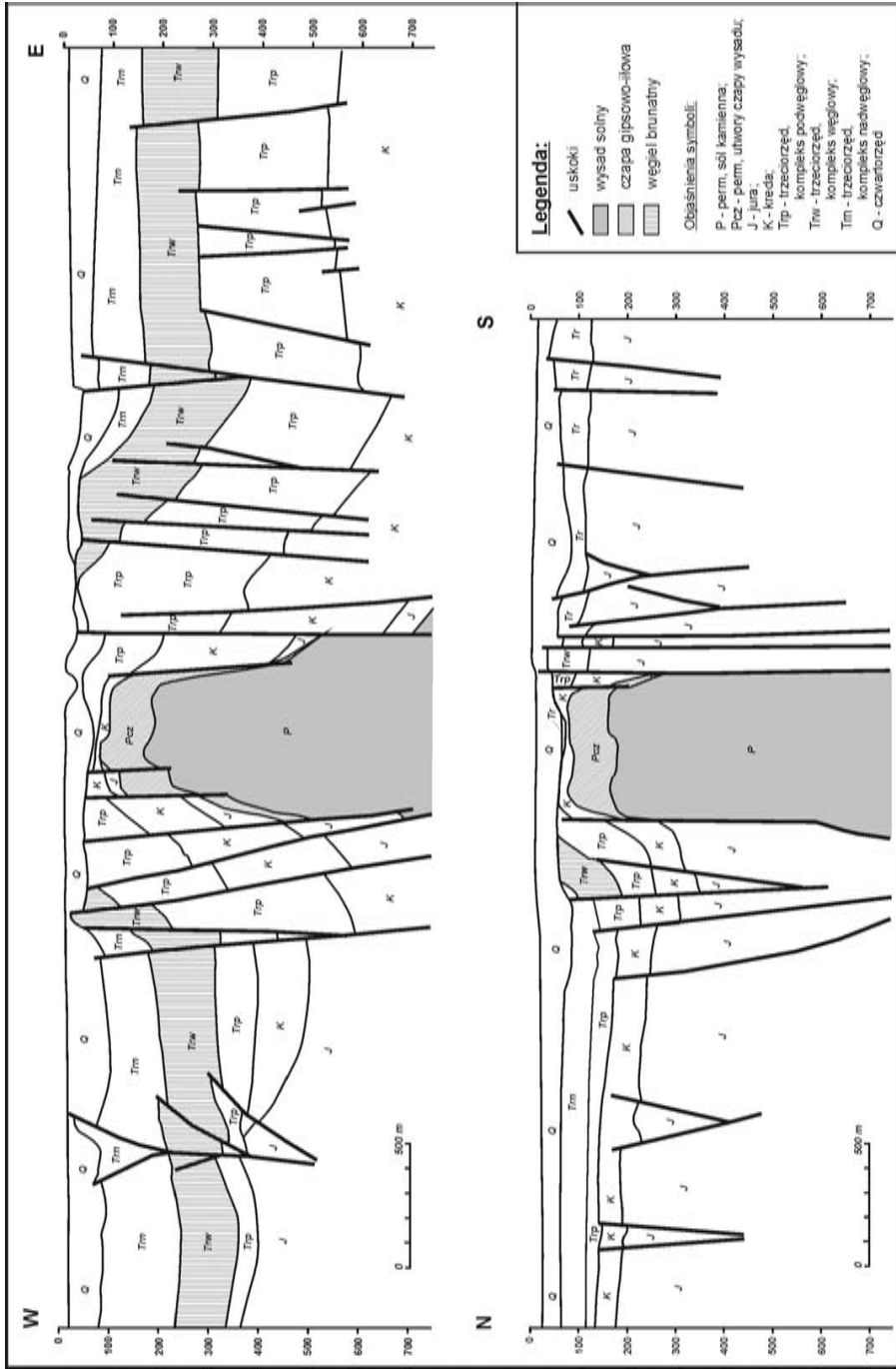
Niewątpliwie strukturami pierwszego rzędu są systemy dyslokacji, ograniczające rów Kleszczowa od północy i od południa, które bardzo wyraźnie hamują przepływy wód podziemnych w kierunku poprzecznym do ich biegu (rys. 1).

Kolejną znaczącą strukturą jest wysad solny „Dębina”, który stanowi nieprzepuszczalną barierę dla przepływu wód podziemnych. Taki układ wpływa w sposób decydujący na formowanie się ciśnień hydrodynamicznych w jego bezpośrednim otoczeniu w warunkach sztucznego, głębokiego drenażu. Stąd też rysowanie w obrębie wysadu, nawet hipotetycznej linii ciśnień hydrodynamicznych (Seweryn, Wojtkowiak, 1995; Żak S., Sobociński C., 2002 oraz Zdechlik, 2004) jest bezzasadne. Gdyby woda podziemna mogła przepływać przez wysad solny, diapir solny uległaby znacznej redukcji, powodując duże deformacje na powierzchni terenu. Do następnej kategorii struktur należy także zaliczyć uskoki poprzeczne do rowu Kleszczowa o przebiegu południkowym, choć ich rola w kształtowaniu warunków przepływu wód podziemnych jest mniej widoczna.



Rysunek 1. Mapa hydrogeologiczna rejonu wysadu solnego „Dębina”
Figure 1. Map of the groundwater contours in the Dębina salt dome district

Strukturą tektoniczną niższego rzędu jest bezpośrednie otoczenie wysadu „Dębina”. Diapir ten, przebijając się przez młodsze utwory mezozoiczne i kenozoiczne zdeformował je, a skały sżytywne dodatkowo pokruszył, tworząc strefę mezobrekcji tektonicznej w jego bezpośrednim otoczeniu (Szewczyk, 1999). Poszczególne elementy brekcji są na tyle duże, że ma to znaczenie w skali odwadniania tej struktury pojedynczą studnią.



Rysunek 2. Przekroje geologiczne przez rejon wysadu solnego „Dębina” (wg Kasiński i in., 2002)
 Figure 2. Geological cross-sections of the Debina salt dome district (after Kasiński et al., 2002)

Przestrzenny układ wymienionych elementów tektonicznych, zróżnicowanie litologiczne utworów oraz analiza dotychczasowego postępu odwodnienia w poszczególnych częściach bariery dają podstawę do stwierdzenia, że w rejonie wysadu solnego występują cztery odrębne struktury hydrogeologiczne.

Część zachodnia

W najbliższym otoczeniu wysadu znajduje się strefa poddartego skłonu mezozoicznego zbudowanego z mułowców, margli i piaskowców. Studnie starej bariery zafiltrowane w tych utworach osiągały duże wydajności, a efekty odwodnienia dawały bardzo zróżnicowany układ ciśnień piezometrycznych. Studnie nowej bariery zostały odsunięte na zachód i odwiercone w kompleksie trzeciorzędowych osadów piaszczystych. Utwory mezozoiczne (kredowe) zostały nawiercone (rys. 2) na rzędnej od około -240m n.p.m. w partii południowej do -115 m n.p.m. w partii północnej. W początkowej fazie pompowania wydajności pojedynczych studni dochodziły do 2 m³/min. Aktualnie łączna wydajność studni bariery w części zachodniej wynosi ok. 3 m³/min. Położenie zwierciadła wody w otworach obserwacyjnych wskazuje na dobre kontakty hydrauliczne w obrębie serii piaszczystej, mimo że poziom dynamicznego zwierciadła wód podziemnych w poszczególnych studniach układa się na zróżnicowanych rzędnych od -50,4 do -6,5 m n.p.m. (wg stanu na 04.2006). W tej części bariery obserwuje się wzrost stężenia jonu chlorkowego w wodzie pompowanej studniami nowej bariery, które aktualnie dochodzi do 4000 mg/l.

Część północna

W rejonie północnym warunki hydrogeologiczne są bardzo niekorzystne z punktu widzenia odwadniania. Warstwy stropowe mezozoiku (zalegające na rzędnej średnio ok. ±0 m n.p.m.) stanowią słabo przepuszczalne utwory kredy wykształcone w postaci mułowców, margli i piaskowców. Występują one do głębokości ok. 300-350 m ppt. (rys. 2). Kontakty hydrauliczne w obrębie takiego kompleksu są ograniczone przy warunkach słabej wymiany wód. Potwierdzają to efekty pracy studni odwadniających oraz badania chemiczne wód w zakresie stężeń jonów głównych oraz pierwiastków śladowych. Studnie nowej bariery, nieznacznie odsunięte od starszych, zafiltrowane są zarówno w utworach trzeciorzędowych, jak i mezozoicznych. Wydatki pojedynczych studni są niewielkie, osiągając maksymalnie 0,3 m³/min, przy łącznym wydatku bariery studni ok. 1,3 m³/min, co stanowi 3,2% łącznego wydatku całej bariery ochronnej. Zwierciadło wód podziemnych obniża się powoli i nierównomiernie. Występują wyraźne kierunki przepływu wód, co obserwowane jest przy regulacji pracy poszczególnych studni. Dynamiczne zwierciadło wody w tym rejonie układało się na rzędnych od -59,7 do +9,5 m n.p.m. (stan na 04.2006 r.).

Część wschodnia

W części wschodniej otoczenia wysadu solnego „Dębina” sytuacja hydrogeologiczna jest zbliżona do występującej po stronie zachodniej. W najbliższym otoczeniu wysadu występuje strefa brekcji, w obrębie której kontakty hydrauliczne są ograniczone. W kierunku do

wyrobiska Pola Bełchatów znajduje się kompleks trzeciorzędowych osadów piaszczystych o dużej miąższości. Zwierciadło wód podziemnych w tym rejonie jest nachylone od wysadu do bariery studni odwadniających spągową część odkrywki Pola Bełchatów (sektor P-1). Układ izolinii zwierciadła wód podziemnych (rys. 1) odzwierciedla wpływ studni podstawowego systemu odwadniania Pola „Bełchatów” na postępowanie odwodnienia we wschodniej części wysadu solnego. Eksploatacja studni wykonanych w bliskim sąsiedztwie wysadu solnego wywołuje nieznaczne obniżenie zwierciadła wody w piezometrach, co wskazuje na słaby przepływ w profilu pionowym kompleksu wodonośnego. Wydatki studni w tej części bariery odwadniającej są aktualnie najmniejsze. Średnia wydajność bariery studni, kwietniu 2006 roku, była równa $0,65 \text{ m}^3/\text{min}$. W kwietniu 2006 roku znajdowało się ono na rzędnych od $-81,2$ do około $-17,5 \text{ m n.p.m.}$, co wskazuje na dużą zmienność warunków hydrogeologicznych.

Część południowa

Najtrudniejsze warunki hydrogeologiczne występują w południowym otoczeniu wysadu „Dębina”, gdzie wapienie jurajskie występują na głębokości około 150 m pod utworami czwartorzędowymi i trzeciorzędowymi, a sam diapir opiera się o główny system dyslokacji, ograniczający rów Kleszczowa od południa. Stąd też studnie bariery odwadniającej otoczenie wysadu na południu muszą silnie drenować wapienie jurajskie, aby została spełniona jedna z zakładanych funkcji tej bariery, tzn. utrzymywanie mniej więcej jednakowego poziomu zwierciadła wód podziemnych wokół wysadu. Odwadnianie otoczenia wysadu w tym rejonie poważnie utrudnia nieciągła warstwa margli, która lokalnie rozdziela piętro jurajskie na dwa poziomy wodonośne o różnych ciśnieniach hydrodynamicznych.

Łączna wydajność bariery studni w południowym otoczeniu wysadu „Dębina” jest na poziomie ok. $38 \text{ m}^3/\text{min}$, co stanowi 90% wydatku całej bariery ochronnej. Mimo tak dużych ilości pompowanej wody podziemnej zwierciadło wody w utworach jurajskich utrzymywało się w tym czasie na rzędnych od $-54,8$ do $+51 \text{ m n.p.m.}$ Należy podkreślić, że mimo pompowania znacznie większej ilości wody z wapieni jurajskich, niż zakładano w obliczeniach prognostycznych, średni poziom wód podziemnych w tym rejonie obniża się bardzo powoli. Świadczy to o dużej wydajności strumienia wód podziemnych, napływającego od południa. Dla konstrukcji modelu hydrogeologicznego otoczenia wysadu „Dębina” ważne jest, że wody pompowane z wapieni jurajskich w jego południowej części są najmniej zmineralizowane, a ich temperatura na wylocie studni sięga 21°C , co świadczy o ich głębokim krążeniu (Walendziak, Sołtyk i in., 2005).

Podsumowanie

W świetle doświadczeń oraz wyników pracy starej i nowej bariery studni odwadniających rejon wysadu solnego „Dębina”, wyraźnie uwidaczniają się odrębne hydrostruktury, o ograniczonych wzajemnych kontaktach hydraulicznych (rys. 1 i 2): zachodnia, północna, wschodnia i południowa.

Osobną hydrostrukturą jest czapa gipsowa w stropie wysadu, w której stwierdza się występowanie wód podziemnych o niewielkich zasobach.

W związku z różnorodnością struktur hydrogeologicznych w rejonie wysadu solnego „Dębina” niezasadne jest utrzymywanie zasady tzw. zrównoważonych ciśnień hydrodynamicznych wokół wysadu (tj. różnicy ciśnień w granicach 15 m w poszczególnych sektorach jego otoczenia). Większe różnice ciśnień hydrodynamicznych występujące w poszczególnych częściach wysadu są bowiem uzasadnione hydrogeologicznie. Szczególnie dotyczy to sektora południowego, gdzie pompuje się duże ilości wody z wapieni jurajskich. Układ pola hydrodynamicznego wskazuje, że ciśnienie piezometryczne na południu wysadu nie ma większego wpływu na kształtowanie poziomu zwierciadła wody podziemnej w pozostałych sektorach.

Obserwowane zjawiska hydrodynamiczne i hydrochemiczne, zachodzące pod wpływem pracy studni bariery ochronnej wskazują na zmianę jakości pompowanych wód w poszczególnych częściach bariery. Wzrost jonów chlorkowych, sodowych oraz w mniejszym stopniu siarczanowych w pompowanych wodach jest wynikiem kontaktów z wodami okołowysockimi oraz w wyniku naturalnej zmienności typów hydrochemicznych wód podziemnych. W przyszłości należałoby podjąć próbę oszacowania proporcji składników rozpuszczonych pochodzących ze wspomnianych źródeł.

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.
- Ciuk E., 1980: *Tektonika rowu Kleszczowa i jej wpływ na warunki powstania złoża węgla brunatnego*. W: Barczyk W. (red.) – Przew. LII PTG, Bełchatów, 38-56.
- Hałaszcak A., 2004: *Cenozic 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.
- Kasiński J. i in., 2002: *Kompleksowa analiza geofizyczno – geologiczna wysadu solnego „Dębina” i jego najbliższego otoczenia*. Zakł. Geol. Region. i Geofiz. PiG Warszawa (oprac. niepubl.).
- Sawicki J., 2000: *Zmiany naturalnej infiltracji opadów do warstw wodonośnych pod wpływem głębokiego, górniczego drenażu*. Oficyna Wyd. Politech. Wroc., s. 174.
- Sawicki J., 2003: *Złoże i kopalnia Bełchatów*. W: Wilk Z. (red.) – Hydrogeologia polskich złóż kopalin i problemy wodne górnictwa. Wyd. AGH, Kraków, 536-570.
- Seweryn L., Wojtkowiak B., 1995: *Zagrożenia jakości i ochrona wód w rejonie kopalni Bełchatów*. Współ. prob. hydrogeol., T. VII, cz. 2, Kraków-Krynica, 193-200.
- 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.
- Szczepiński i in., 2002: *Koncepcja nowej bariery ochronnej wysadu solnego Dębina wraz z uwarunkowaniami eksploatacyjnymi*. Poltegor-Projekt Sp. z o.o. we Wrocławiu (oprac. niepubl.).

- Szewczyk E., 1999: *Tektonika wysadu solnego Dębina*. W: Mat. XX Konf. Teren. Sekcji Tekton., PTG „Młodoalpejski rów Kleszczowa; rozwój i uwarunkowania w tektonice regionu. Wrocław, 77-87.
- Walendziak J., Sołtyk W. i in., 2005: *Badania i ocena chemizmu wód odprowadzanych z systemu odwodnienia O/Belchatów 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, Warszawa (oprac. niepubl.).
- Zdechlik R., 2004: *Wpływ odwadniania KWB Belchatów na zmiany warunków hydrogeologicznych w rejonie wysadu solnego Dębina*. Agencja Wydaw.-Poligraf. „ART.-TEKST”, Kraków, s. 115.
- 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.