

WARUNKI ZASILANIA WÓD LECZNICZYCH W KOPALNI SOLI WIELICZKA

CONDITIONS OF MEDICINAL WATER SUPPLY IN THE WIELICZKA SALT MINE

STANISŁAW WITCZAK¹, KAJETAN D'OBYRN¹, MAREK DULIŃSKI², LUCYNA RAJCHEL¹

Abstrakt. Na podstawie wieloletnich badań aktualne rozpoznanie warunków hydrogeologicznych w rejonie Kopalni Soli Wieliczka wskazuje na złożony charakter udokumentowanych wód. Są one zróżnicowane zarówno pod względem zasolenia, jak i wieku. Z upływem czasu nastąpiła wymiana wód synsedymencyjnych na wody infiltracyjne. W dwóch wypływach kopalnianych: WVI-32 na poziomie VI oraz WVII-16 na poziomie VII są ujmowane solanki wykorzystywane w balneoterapii w Uzdrożeniu Kopalnia Soli Wieliczka. Wieloletnie pomiary wydatku wody potwierdzają stabilny charakter wypływów z łagodną tendencją malejącą, co świadczy o zróżnicowaniu obszarów zasilania i dróg dopływu wody do miejsc wypływu w kopalni. Skład izotopowy wody z wypływu WVI-32 jest zmienny w czasie, co nie pozwala na jednoznaczną interpretację wyników, w związku z czym konieczne są dalsze badania. Wypływ WVII-16 reprezentuje wody plejstoceńskie, pozbawione bezpośredniego kontaktu z wodami współczesnymi, jednak po czasie dłuższym niż 25 lat może pojawić się w tym wypływie domieszka wód współczesnych.

Słowa kluczowe: wody lecznicze, zasilanie, skład izotopowy, tryt, Wieliczka.

Abstract. Based on long-term research, the current hydrogeological conditions in the vicinity of the Wieliczka Salt Mine show a complex nature of documented water that is diverse in terms of salinity and age. Over time, there was an exchange of waters from those of the sedimentation period to infiltration waters. Brine used for balneotherapy in the spa of the Salt Mine Wieliczka is captured at two outflows: WVI-32 at level VI, and WVII-16 at level VII of the mine. Long-term measurements of water flow confirm the stable nature of the outflows with a mild descending trend. NaCl content in the WVI-32 leak has a clear increasing trend, while the WVII-16 leak did not show any significant trend, which reflects a diversification of supply areas and inflow routes to the outflow areas in the mine. The isotopic composition of water from the WVI-32 leak is variable and did not allow for an unambiguous interpretation of the results, and creates need for further research. The WVII-16 leak represents the Pleistocene water without a direct contact with the contemporary waters, however, after more than 25 years, addition of such waters may appear.

Key words: therapeutic water, groundwater recharge, isotopic composition, tritium, Wieliczka.

WSTĘP

Po 700 latach nieprzerwanej eksploatacji soli wielicka kopalnia to obecnie unikatowy obiekt zabytkowy o wartości historycznej, muzealnej, turystycznej oraz balneoterapeutycznej. Jest to również miejsce, gdzie są prowadzone nieustannie badania naukowe.

Aktualne rozpoznanie warunków hydrogeologicznych w rejonie Kopalni Soli Wieliczka, na podstawie wieloletnich badań, wskazuje na złożony charakter udokumentowanych wód, które są zróżnicowane pod względem zasolenia, jak również wieku. Od czasu powstania złoża (miocen,

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: witzak@agh.edu.pl.

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków.

wielician) nastąpiła wymiana wód synsedymencyjnych na wody infiltracyjne. Główny przepływ wód w warunkach naturalnych odbywał się z południa na północ, a Karpaty fliszowe stanowiły obszar infiltracji. Prawdopodobnie

wymiana wód następowała również ze wschodu na zachód, wzdłuż wychodni piaskowców chodenickich, które stanowią główny ośrodek wymiany wód na północnym przedpolu złoża wielickiego (Witczak i in., 2015).

KRAŻENIE WÓD W REJONIE WIELICKIEGO ZŁOŻA

W ciągu czterdziestoletniej historii badań izotopowych wycieków kopalnianych udokumentowano występowanie wód paleoinfiltracyjnych z okresu plejstocenu zarówno w ciele solnym, jak i w jego otoczeniu (Alexandrowicz i in., 2000; Zuber, Duliński, 2005; Zuber, Ciężkowski, 2007). Wyniki wieloletnich, multidyscyplinarnych obserwacji pozwoliły na stworzenie conceptualnego modelu krążenia wód podziemnych w rejonie złoża wielickiego w warunkach naturalnych (fig. 1).

Na modelu conceptualnym przedstawionym na figurze 1 pokazano przypuszczalne warunki wymiany wód podziemnych od plejstocenu do początków eksploatacji soli. Klasy szybkości wymiany wód zaprezentowane na figurze do-

brano do warunków lokalnych w taki sposób, żeby zapewnić na północnym przedpolu złoża soli występowanie wód o wieku przekraczającym 10 000 lat, infiltrujących w plejstocenie w warunkach zimnego klimatu. Na obecność takich wód wskazują wyniki badań izotopowych. W warunkach naturalnych główny przepływ wód odbywał się z południa na północ, a obszarem infiltracji były fliszowe zbocza Karpat. Malejąca wraz z głębokością przepuszczalność utworów fliszowych powoduje, że z głębokością szybkość wymiany zmniejsza się. Strefa intensywnej wymiany sięga głębokości kilkudziesięciu metrów. Wymiana w głębszych strefach jest mniej intensywna (klasa szybkości II i III na figurze 1). W skali tysięcy lat i dłuższej wymiana wód może

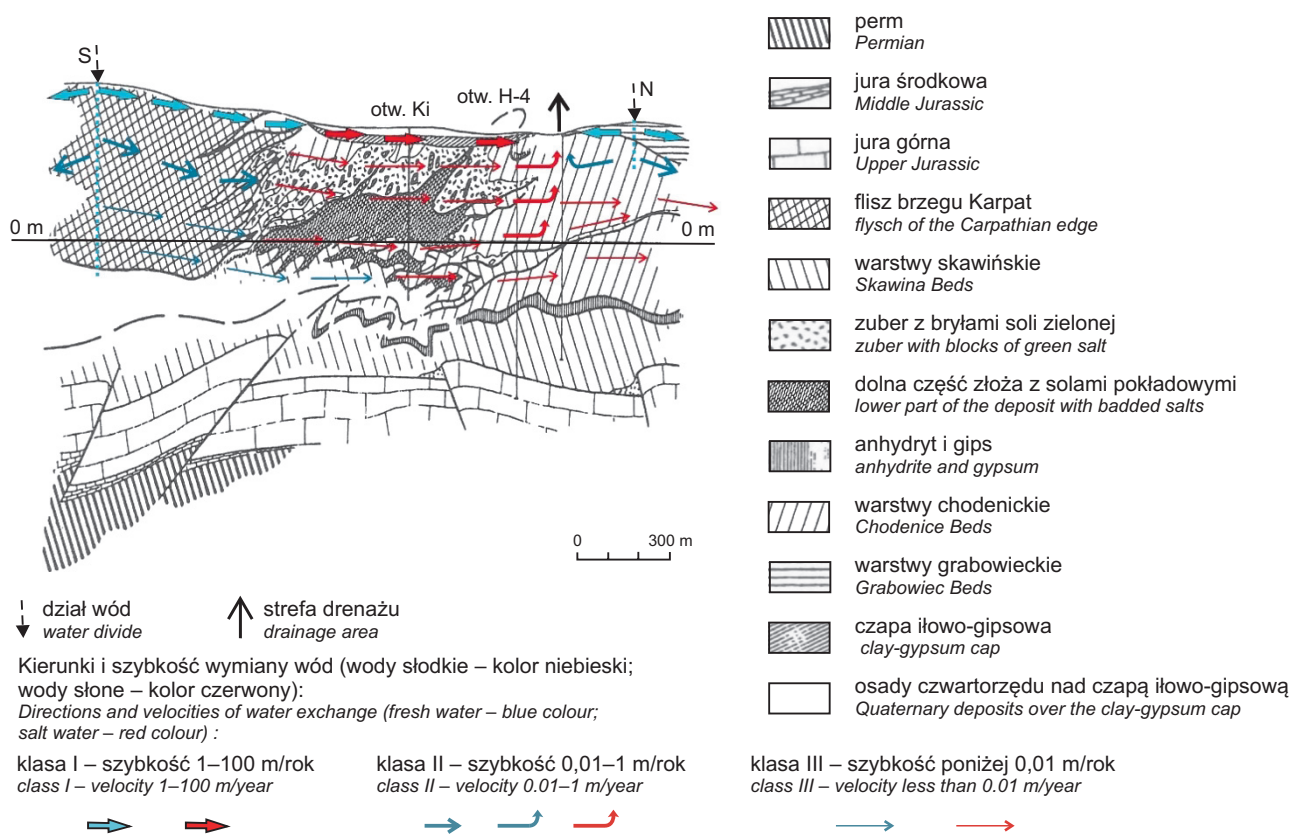


Fig. 1. Model conceptualny krążenia i wymiany wód podziemnych w otoczeniu wielickiego złoża soli w warunkach naturalnych (Witczak i in., 2015; budowa geologiczna wg Poborskiego i Skoczylas-Ciszewskiej, 1963)

Skala pionowa przewyższona 1,5 raza

Conceptual model of groundwater circulation and exchange in the vicinity of the Wieliczka salt deposit under natural conditions (Witczak *et al.*, 2015; geological setting after Poborski, Skoczylas-Ciszewska, 1963)

The vertical scale is magnified 1.5 times

obejmować te głębokie strefy, jak również nawet utwory solonośne.

Z uwagi na złożoną budowę złoża wielickiego (fig. 1) drogi krążenia wód na kierunku północ-południe są w rzeczywistości bardziej skomplikowane, co spowodowało, że po północnej stronie złoża soli pojawiły się wody o zróżnicowanym zasoleniu, zależnym od składu skał, z którymi miały kontakt na różnych drogach przepływu. Prawdopodobnie drugim kierunkiem wymiany wód był kierunek wschód-zachód, wzdłuż wychodni piaskowców chodenickich (prostopadły do przekroju przedstawionego na figurze 1). Bloki piaskowców warstw chodenickich

stanowiły w przeszłości i nadal stanowią główny ośrodek wymiany wód na północnym przedpolu złoża wielickiego.

Eksploatacja soli naruszyła naturalny system ich krążenia. Szczególnie uwidacznia się to w rejonach, gdzie wyrobiska górnicze kontaktują się z warstwami chodenickimi. Doprowadziło to do wykształcenia nowych dróg przepływu wody i uczyniło ujęcia wypływów centrami drenażu. Działają one jak swoiste kolektory ujmujące wody z otoczenia złoża. Sytuacja taka ma miejsce w przypadku dwóch ujęć wód leczniczych – WVII-16 i WVI-32, których pojawienie się wymusiło spływ w kierunku odwrotnym do naturalnego, tzn. z północy na południe.

UJĘCIA WÓD LECZNICZYCH

Współczesnym atutem wielickiej kopalni jest jej ogromny potencjał balneoterapeutyczny. Już w XIX w. dzięki działalności dr. Feliksa Boczkowskiego i prof. Mieczysława Skulimowskiego powstała nowoczesna metoda lecznicza – subterraneanoterapia, wykorzystująca specyficzny mikroklimat w nieczynnych wyrobiskach. Możliwości wykorzystania wielickich solanek do celów leczniczych były rozważane od wielu lat, a formalnie zastosowano je dopiero w 2014 r. (d’Obyrn, Postawa, 2014; d’Obyrn, Rajchel, 2014, 2015) w nowo powstałej tężni solankowej oraz w Uzdrowisku Kopalnia Soli Wieliczka.

Wypływ WVI-32 ujawnił się w 1966 r. w komorze ługowniczej Z-32, gdzie doszło do odsłonięcia utworów serii siarczanowej w spągowej części komory, przez dodatkowe rozługowanie chodnikami natryskowymi ociosów komory. Odsłonięcie tych osadów spowodowało ruch wód z utworów serii siarczanowej do wyrobiska oraz udroźnienie kontaktów hydraulicznych z przyległymi utworami chodenickimi. Lokalizację komory wyznaczono bez zachowania odpowiedniego filara brzeżnego od warstw granicznych złoża soli kamiennej. Było to prawdopodobnie wynikiem niedostatecznego rozpoznania północnej granicy złoża na skutek rzadkiej w tym rejonie sieci otworów rozpoznawczych. Woda z wypływu WVI-32 jest ujęta w czole pochylni tubingowej. Z czola pochylni jest wyprowadzony metalowy rurociąg, który odbiera wodę bezpośrednio z utworów wodonośnych. Woda spływa rurociągami na poziom VIII do zbiorników w komorze VIII/15, skąd jest pompowana na powierzchnię przez szyb Kościuszko. Przy mokrym sposobie eksploatacji wypływ początkowo był niezauważalny. Dodatkowo w pozostawionej bez podsadzenia komorze Z-32, na skutek oddziaływania wilgoci, doszło do obniżenia parametrów wytrzymałościowych skał i ujawniły się procesy destrukcji. Początkowa orientacyjna wydajność wypływu wynosiła 0,84 m³/h przy zawartości NaCl ok. 240 g/dm³. W okresie 1973–1978 było to 0,102–0,108 m³/h. W 1979 r. wydajność wzrosła do 0,15 m³/h, przy zawartości NaCl 135–160 g/dm³. W 1985 r. wydajność wzrosła do 3,9 m³/h, a następnie zmalała do 2,52 m³/h, przy nasyceniu 117–135 g/dm³ NaCl. Po nieudanych próbach ujęcia wy-

plywu w obrębie komory, a następnie otworem wiertniczym z poziomu VI, wypływ ujęto poza złożem specjalnie w tym celu wydrążoną w 1984 r. pochylnią badawczo-odwadniającą. W 1990 r. wykonano pochylnię odwadniającą o wodoszczelnej obudowie tubingowej skierowaną najkrótszą drogą z poziomu VI do miejsca wypływu. W czole pochylni wykonano pięć przedwiertów. Cały wypływ został przejęty przez otwór przy zachodnim ociosie. Obecnie komora Z-32 została w całości podsadzona piaskiem, a wypływ został ujęty rurą, osadzoną w betonie, o długości 0,5 m i średnicy 100 mm. Ujęcie to zostało wykonane w 1993 r. Przebieg zmian wydatku i zasolenia wód wypływu WVI-32 do 2014 r. wraz z 25-letnią prognozą przedstawiono na figurach 2 i 3. Prognozę wydatku oraz zmian zasolenia wód przyjęto na okres 25 lat jako ekonomicznie uzasadnioną dla amortyzacji inwestycji w zakresie lecznictwa uzdrowiskowego (Witczak i in., 2014).

Wypływ WVII-16 pojawił się w 1972 r., jednak z uwagi na funkcję komory dopiero 20 grudnia 1973 r. w środkowej partii komory, przy jej północnym ociosie, stwierdzono nurt napływającej cieczy, w której zawartość NaCl wynosiła ok. 60 g/dm³. Zespół komór Fornalska wyeksploatowano metodą na sucho w latach czterdziestych XX w. Prawdopodobnie już w czasie eksploatacji nastąpiły problemy związane z dopływem wód z utworów granicznych złoża solnego. Po zakończeniu wydobywania zespół komór przeznaczono na zbiorniki solanki, łącząc je podpoziomowo chodnikiem umożliwiającym utrzymanie jednakowego poziomu solanki. Przez pewien czas komory były również wykorzystane jako zbiorniki dosalające. Wskutek tych działań filary komór rozługowano, tworząc rozległy zbiornik o długości ok. 160 m, szerokości 30–50 m i wysokości 3,3 m. Ujęcie wypływu WVII-16 jest położone na poziomie VII, w zachodniej części kopalni, w chodniku tubingowym przechodzącym przez tamę podporową w komorze Layer (dawniej Fornalska 2). Komora Layer jest usytuowana w odległości ok. 350 m na zachód od szybu Kinga. Została wyeksploatowana w kompleksie soli spizowych. Otoczenie złoża stanowią tu utwory serii siarczanowej oraz warstw chodenickich. Utwory chodenickie w rejonie komo-

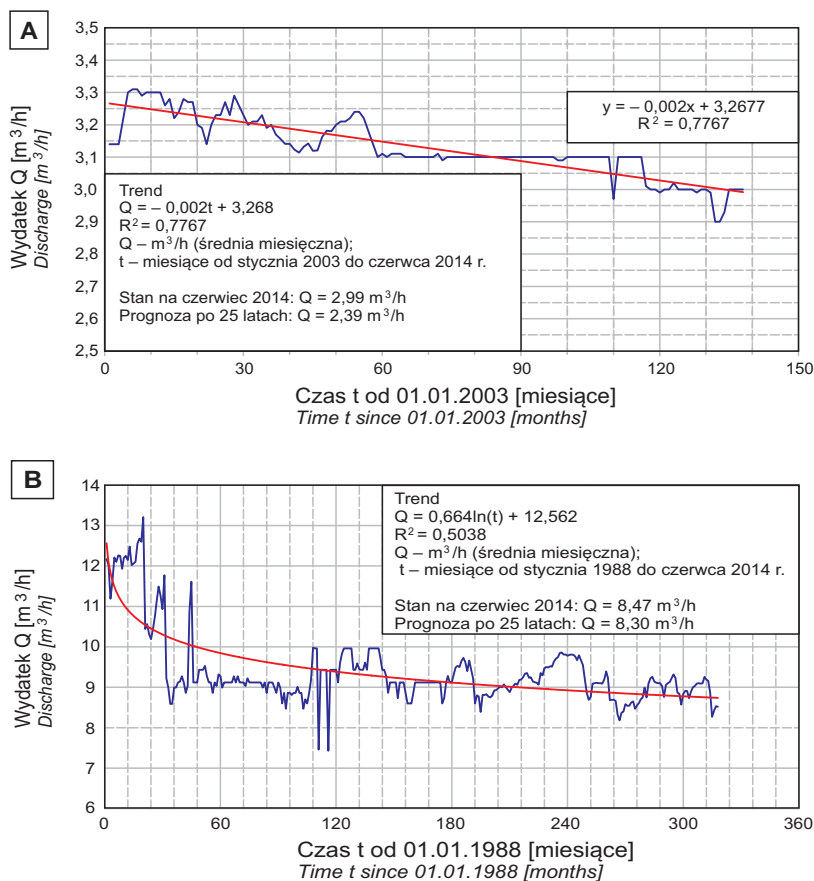


Fig. 2. Wydatki wypływów WVI-32 i WVII-16 wraz z prognozą wydatku za 25 lat

A – wydatek wypływu WVI-32 (komora Z-32) w okresie od stycznia 2003 do czerwca 2014 r.; **B** – wydatek wypływu WVII-16 (komora Layer, d. Fornalska 2) w okresie od stycznia 1988 do czerwca 2014 r.

Discharges of the WVI-32 and WVII-16 outflows with the prognosis for 25 years

A – Discharge of the WVI-32 outflow since January 2003 to June 2014; **B** – discharge of the WVII-16 outflow since January 1988 to June 2014

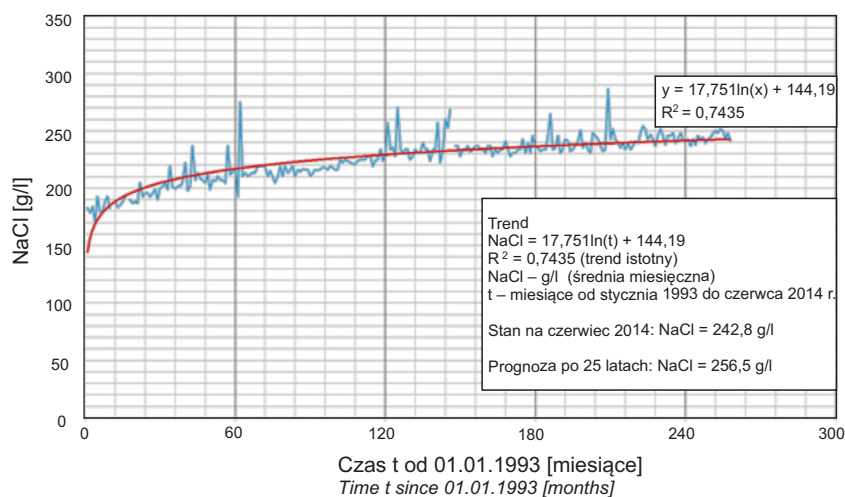


Fig. 3. Zmienność zasolenia wody z wypływu WVI-32

Zasolenie obliczono na podstawie zawartości chlorków i sodu

Variation of water salinity from WVI-32 outflow

Salinity calculated based on chloride and sodium contents

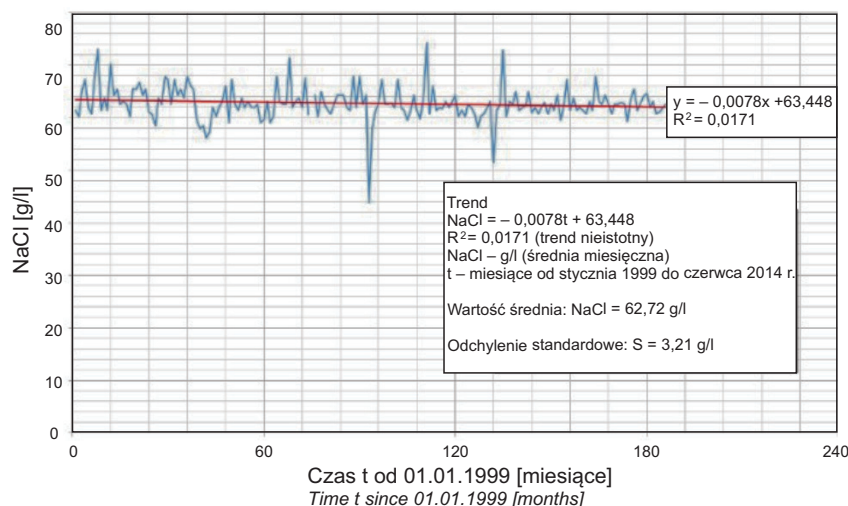


Fig. 4. Zmienność zasolenia wody z wypływu WVII-16

Zasolenie obliczono na podstawie zawartości chlorków i sodu

Variation of water salinity from WVII-16 outflow

Salinity calculated based on chloride and sodium contents

ry Layer są wykształcone w facji piaszczystej ze skupieniami utworów zlepieńcowatych i okruchowych. Wypływ WVII-16 jest zlokalizowany w obrębie utworów serii siarczanowej, przylegających od strony północnej do utworów serii złożowej. Woda wypływa w sposób swobodny zza obudowy chodnika do metalowego leja, a następnie rurociągami do zbiorników w poprzeczni Biliński 3 na poziomie VIII. Stamtąd następuje pompowanie wód na powierzchnię przez szyb Kościuszko. W celu wzmocnienia strefy czoła i spągu komory wybudowano tamę podporową. W środkowej części tamy wykonano chodnik o szerokości 1,5 m, wysokości 2 m i długości 10 m prowadzący do wypływu. Próby zatamowania wypływu nie powiodły się i ostatecznie wykonano trwałe ujęcie wypływu w chodniku. Następnie w 1991 r. wykonano przebudowę chodnika przez tamę podporową, zabezpieczając go ostateczną obudową tubingową i wykonując obecne ujęcie. Komory w otoczeniu komory Layer posadzono piaskiem. Przebieg zmian wydatku i zasolenia wód wypływu WVII-16 przedstawiono na [figurach 2 B i 4](#).

Oba wypływy mają wyraźny związek z nagromadzonymi zasobami wody w serii piaszczystej warstw chodenickich.

Wypływy te występują wzdłuż południowego zasięgu serii piaszczystej. Na podstawie wielkości (wydajności) dopływu zaliczono je (Brudnik, 1993; d'Obyrn, Brudnik, 2011) do czwartej grupy wypływów kopalnianych, o dużej wydajności, przekraczającej 10 l/min, tj. 0,6 m³/h. Są one największymi wypływami w kopalni. Z analizy zmienności wydatku wypływów WVI-32 i WVII-16 wynika, że wykazują one łagodną tendencję malejącą. Zarejestrowane w 2014 r. wydatki wyniosły ok.: 2,99 m³/h – WVI-32 i 8,74 m³/h – WVII-16. Pod względem składu chemicznego wypływy WVI-32 i WVII-16 różnią się zdecydowanie zawartością głównego składnika wody (NaCl), który dla wypływu WVI-32 ma wyraźną tendencję rosnącą z zawartością średnią w czerwcu 2014 r. na poziomie 242,8 g/l, natomiast dla wypływu WVII-16 zawartość NaCl nie wykazuje istotnej tendencji, a wartość średnia z lat 1999–2014 wynosi 62,72 g/l. Tak zdecydowane różnice w zawartości rozpuszczonych składników stałych wyrażone przez zawartość NaCl świadczą o tym, że wypływy są od siebie izolowane, a obszary ich zasilania i drogi dopływającej do nich wody są również zróżnicowane (Witczak i in., 2015).

IZOTOPOWA CHARAKTERYSTYKA WÓD LECZNICZYCH

Przebieg zmian czasowych składu izotopowego tlenu i stężenia trytu w wodzie z ujęcia WVI-32 przedstawiono na [figurze 5](#). W rejonie Wieliczki dobrym układem odniesienia do interpretacji składu izotopowego tlenu w wodach podziemnych są wody współczesnej infiltracji na obszarze zbiornika Bogucice (GZWP nr 451), sąsiadującego od północy z badanym obszarem. Na podstawie wieloletnich badań tego zbiornika można stwierdzić, że wody GZWP

nr 451 wykazujące duże stężenie trytu charakteryzują się wartościami $\delta^{18}\text{O}$ w granicach pomiędzy $-9,6$ a $-10,1\%$, przy czym wartość średnia wynosi $-9,84 \pm 0,03\%$.

W latach 70. ub. w. do ujęcia dopływała woda zasilana w plejstocenie, w warunkach klimatu znacznie chłodniejszego niż współczesny, prawdopodobnie z domieszką wody holocenijskiej, w ramach niepewności pomiarowej pozbawiona trytu. Mniej więcej do 1980 r.

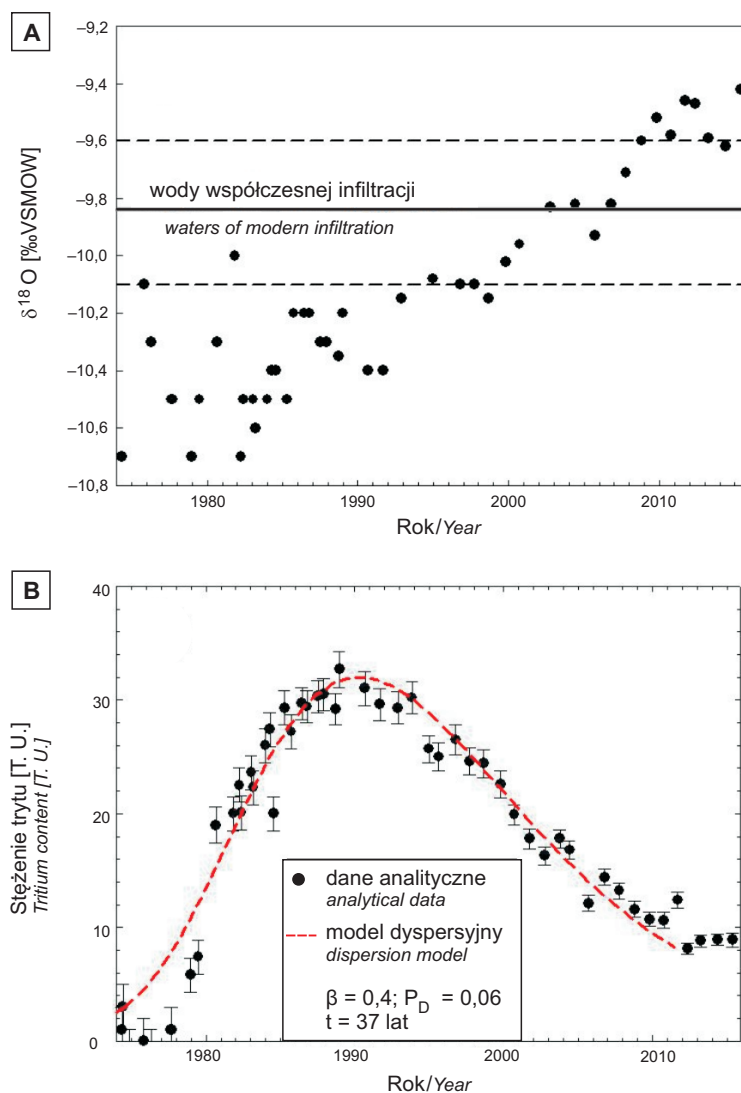


Fig. 5. Zmienność czasowa składu izotopowego tlenu (A) oraz stężenia trytu (B) w wycieku WVI-32

Na figurze A liniami przerywanymi zaznaczono maksymalne i minimalne wartości $\delta^{18}\text{O}$ zarejestrowane w młodych wodach podziemnych na obszarze GZWP nr 451

Temporal changes of the oxygen isotope composition (A) and tritium concentration (B) in outflow WVI-32

Dashed lines on Figure A denote maximum and minimum values of $\delta^{18}\text{O}$ found in young groundwater of the MGB No. 451 area

obserwowano wzrost wartości $\delta^{18}\text{O}$ i stężenia trytu, świadczący o zwiększającym się udziale wód współczesnych. W późniejszych latach zarejestrowano spadek stężenia trytu, związany z naturalnym rozpadem tego izotopu. Natomiast skład izotopowy tlenu dalej wzrastał (fig. 5A), osiągając ok. 2002 r. skład porównywalny ze średnim składem obserwowanym we współczesnych wodach infiltracyjnych z tego rejonu. Stwarza to wrażenie, że obecnie do ujęcia dopływają wody współczesnej infiltracji, co znajduje poparcie w obserwowanych w ostatnich latach podwyższonych stężeniach trytu, odchodzących w prawo od krzywej modelu dyspersyjnego (fig. 5B). W 2008 r. skład izotopowy tlenu przekroczył jednak maksymalną wartość spodziewaną dla młodych wód infiltracyjnych, co wymaga dodatkowej oceny przyczyn takiej modyfikacji składu izotopowego.

Na figurze 6 przedstawiono skład izotopowy tlenu i wodoru w wycieku WVI-32 w całym okresie obserwacyjnym. Układ części punktów pomiarowych odbiega na prawo od Światowej Linii Wód Meteorycznych (GMWL), co sugeruje, że badane próbki podlegały częściowemu odparowaniu. Szczególnie dotyczy to próbek z okresu 2008–2015, które pokrywają się z próbkami przewyższającymi skład izotopowy tlenu wód współczesnej infiltracji na figurze 7. Oznacza to, że obserwowane wysokie wartości $\delta^{18}\text{O}$ są zatem odzwierciedleniem modyfikacji składu izotopowego wody.

Figura 7 ilustruje teoretycznie możliwą, dwuwariantową interpretację obserwowanej ewolucji składu izotopowego wody z wycieku WVI-32. W pierwszym wariantcie (fig. 7A) zakładamy, że wody infiltracji współczesnej mieszają się

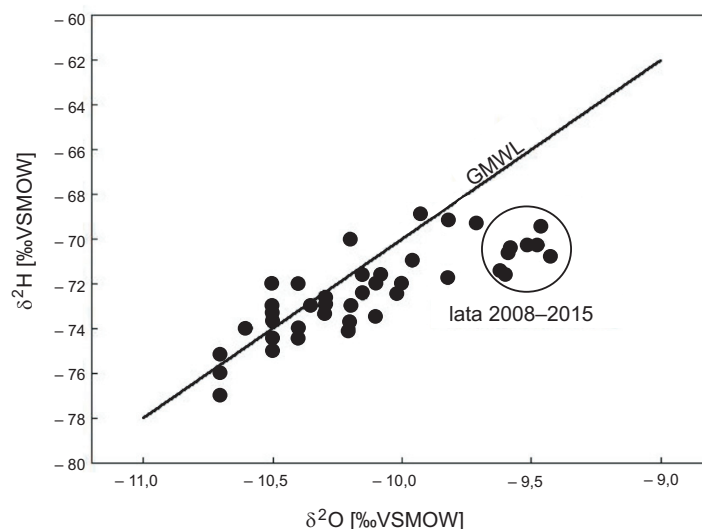


Fig. 6. Skład izotopowy tlenu i wodoru obserwowany w wycieku WVI-32

Stable isotope composition of water in outflow WVI-32

z wodami plejstoceniowymi klimatu chłodnego, po czym zachodzi proces parowania. W tym przypadku różnica między składem izotopowym tlenu wody mieszanej i odparowanej wynosi ok. 1‰. Takiego efektu izotopowego należy się spodziewać po odparowaniu kilku procent wody (powyżej 5%). Parowanie to musiałoby zachodzić w obrębie górotworu – po zmieszaniu wód. Trudno jednak wyobrazić sobie taki proces w warunkach naturalnych. Jeśli bowiem woda dopływa systemem szczelin i ich przekrój nie jest w całości wypełniony wodą to względna wilgotność w takim systemie powinna być bliska 100%, co skutecznie chroni przed odparowaniem.

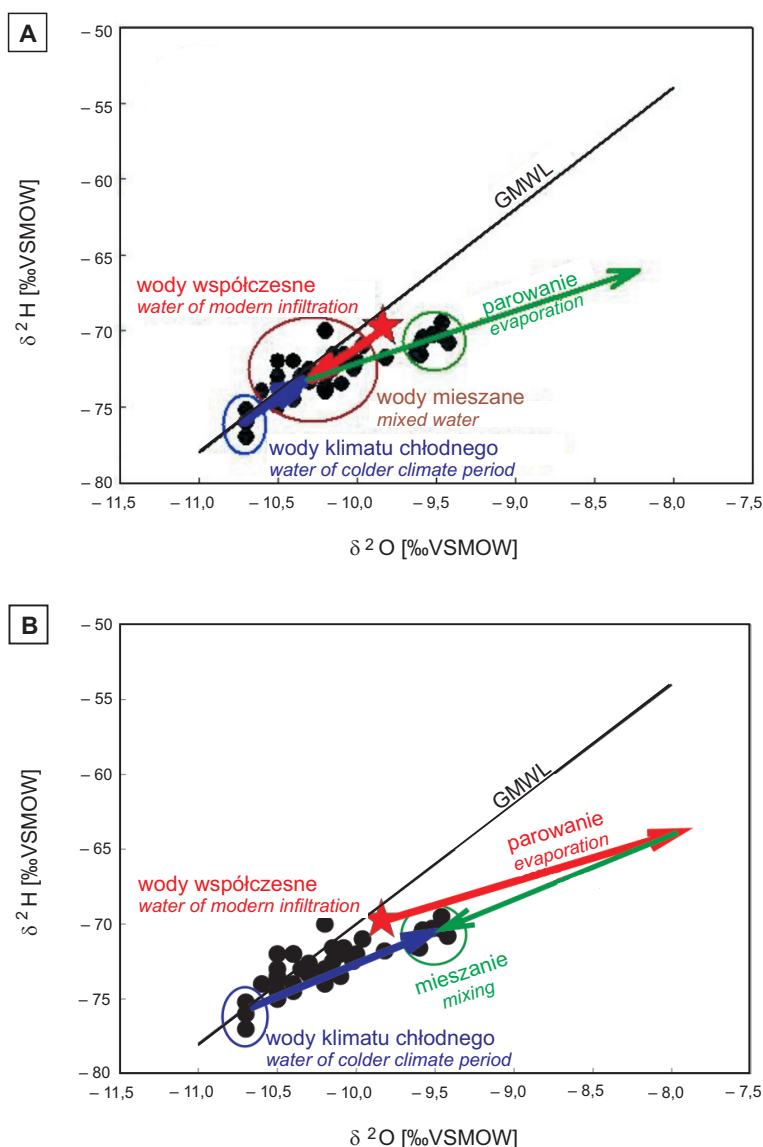
Drugi wariant zakłada, że w skład wycieku wchodzi odparowana uprzednio woda współczesna, która zmieszana z wodą zasilaną w klimacie chłodnym generuje obserwowane składy izotopowe (fig. 7B). W tym przypadku pojawia się problem dopływającej wody współczesnej, której ilość powinna być prawie równa wielkości wypływu. W najbliższym otoczeniu kopalni nie ma rezerwarów wody, które przez infiltrację mogłyby w znaczącym stopniu zasilać wycieki kopalniane i wpływać na ich skład izotopowy.

W latach 1995–2002 w wycieku WVI-32 obserwowano równoległy wzrost wydatku wody



Fig. 7. Teoretyczne warianty interpretacji obserwowanych wartości składu izotopowego wody z wycieku WVI-32

Theoretical explanation of observed values of stable isotope composition in outflow WVI-32



i jej składu izotopowego. Po 2002 r. wzrosła wartość $\delta^{18}\text{O}$ towarzyszył spadek wydatku wody. Istniejące dane wskazują, że zasolenie wody (w przeliczeniu na NaCl) systematycznie wzrastało w ciągu całego okresu obserwacji. Fakty te świadczą z jednej strony o wyczerpaniu zasobów wód pleistocenijskich, z drugiej – o zwiększającym się stopniu ługowania minerałów solnych niezależnie od drogi dopływu wody, prawdopodobnie w pobliżu wycieku.

Na figurze 8 przedstawiono zmiany w czasie wydatku wody, składu izotopowego tlenu i zasolenia wycieku WVII-16. Do wycieku cały czas dopływa woda pozbawiona trytu, o niskich wartościach $\delta^{18}\text{O}$, świadczących o jej pochodzeniu z chłodniejszego okresu klimatycznego. Niewielka tendencja wzrostowa wartości $\delta^{18}\text{O}$ w czasie, jakiej można by się

dopatrywać w okresie po 1997 r. jest, jak na razie, statystycznie mało istotna. W prezentowanym okresie obserwuje się niewielką tendencję spadkową wydatku, sugerującą, że mamy do czynienia z systemem o dość dużej objętości. Zasolenie, poza sporadycznymi epizodami, pozostaje na przeciętnym poziomie rzędu 60–64 g/dm³. Wody dopływające do wycieku WVII-16 reprezentują zatem zasoby wód pleistocenijskich, zgromadzonych w piaskach chodenickich, na razie pozbawionych bezpośredniego kontaktu hydraulicznego z wodami współczesnymi. Niemniej jednak odwrócenie kierunku przepływu i spadek ciśnień wód w tej strefie sprawi, że po czasie dłuższym niż 25 lat w wycieku może pojawić się domieszka wód współczesnych o niższej mineralizacji, przeciekających ze stref sąsiednich (Witczak i in., 2014).

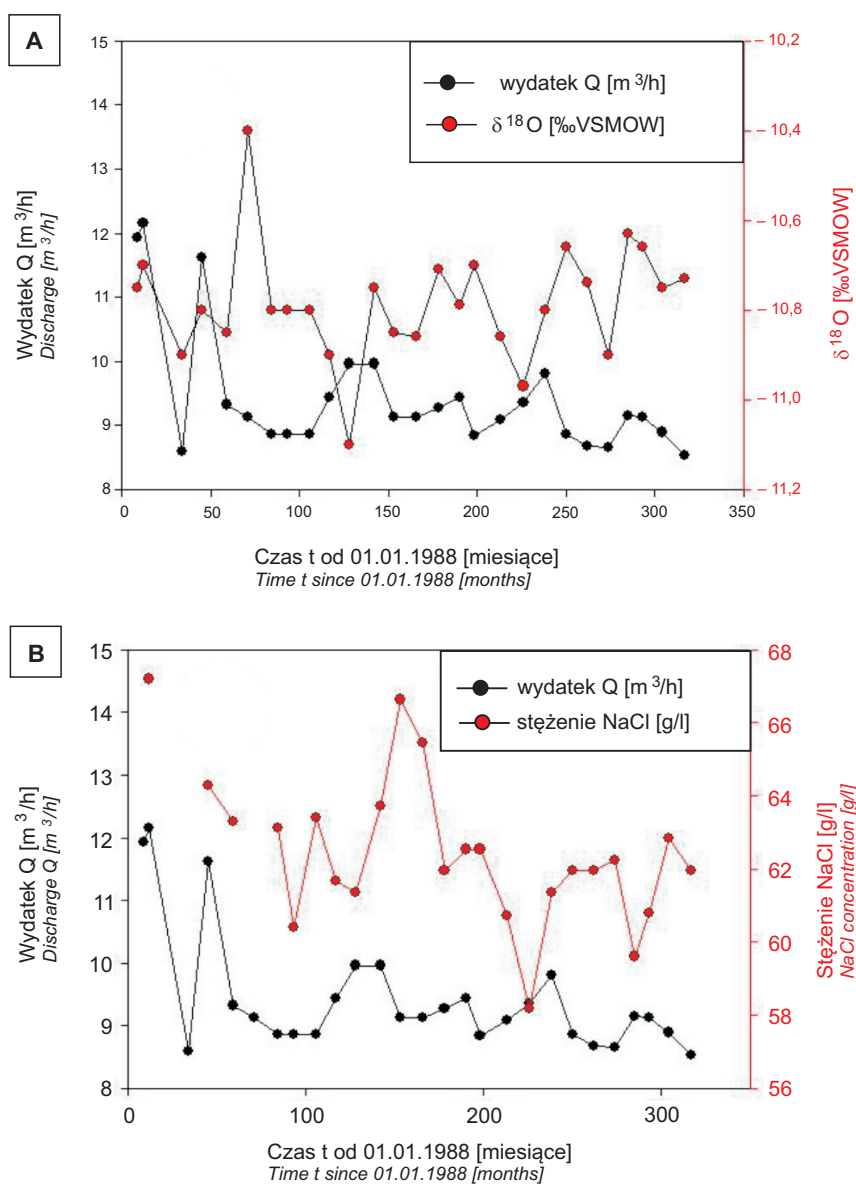


Fig. 8. Zmienność czasowa składu izotopowego tlenu (A) oraz zasolenia w przeliczeniu na NaCl (B) w wypływie WVII-16

Time variation of oxygen isotope composition (A) and salinity based on NaCl (B) in outflow WVII-16

PODSUMOWANIE

Badania izotopowe wód występujących w złożu Kopalni Soli Wieliczka i w jego otoczeniu wskazują na obecność plioceńskich wód paleoinfiltracyjnych. Zostały one ukształtowane w naturalnym obiegu wody w okresie poprzedzającym eksploatację złoża solnego. Nastąpiła w tym czasie wymiana wód sedymentacyjnych na wody infiltracyjne. Intensywność wymiany malała wraz z głębokością. Kilkusetletnia eksploatacja soli zmodyfikowała warunki krążenia wód podziemnych. Wytworzyły się nowe drogi przepływu i centra drenażu, głównie w strefach gdzie wyrobiska kopalni kontaktują się z warstwami chodenickimi. Dwa takie centra drenażu (wypływy WVI-32 i WVII-16) stały się źródłami wód leczniczych. Przedstawiono

charakterystykę wydajności i jakości wód z tych wypływów oraz ich składu izotopowego. Wskazano na wypływ VII-16 jako bardziej stabilne źródło wody leczniczej, nie mające bezpośredniego kontaktu ze współczesnymi wodami infiltracyjnymi. Złożone warunki krążenia wskazują na konieczność kontynuacji badań monitoringowych, szczególnie izotopowych.

Praca została częściowo sfinansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach badań statutowych AGH o numerach: 11.11.220.01, 11.11.140.862 i 11.11.140.797.

LITERATURA

- ALEXANDROWICZ Z., DULIŃSKI M., HERCMAN H., RÓŻAŃSKI K., 2000 — Podsumowanie badań na tle poglądów o genezie Grot Kryształowych. *W: Grot Kryształowe w Kopalni Soli Wieliczka* (red. Z. Alexandrowicz): 126–130. Inst. Ochr. Przyr. PAN, Kraków.
- BRUDNIK K., 1993 — Program zwalczania zagrożenia wodnego na rok 1993. *Masz. Arch. Dz. Geologii KS Wieliczka*.
- D'OBYRN K., BRUDNIK K., 2011 — Wyniki monitoringu hydrogeologicznego w Kopalni Soli „Wieliczka” po zamknięciu dopływu wody w poprzeczni Mina. *Prz. Gór.*, **4**, 6: 90–96.
- D'OBYRN K., POSTAWA A., 2014 — Assessment of the qualitative and quantitative stability „Wieliczka” Salt Mine (Poland) brines and of their possible use for medicinal purposes. *Geol. Quart.*, **58**, 3: 459–464.
- D'OBYRN K., RAJCHEL L., 2014 — Balneologiczne walory Kopalni Soli „Wieliczka”. *Acta Balneol.*, **56**, 4, 138: 220–223.
- D'OBYRN K., RAJCHEL L., 2015 — Balneoterapeutyczne wykorzystanie solanek w Uzdrowisku Kopalnia Soli „Wieliczka”. *Prz. Geol.*, **63**, 10/2: 981–984.
- POBORSKI J., SKOCZYLAS-CISZEWSKA K., 1963 — O miocenie w strefie nasunięcia karpackiego w okolicy Wieliczki i Bochni. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, **33**, 3: 339–348.
- WITCZAK S., D'OBYRN K., DULIŃSKI M., RAJCHEL L., 2015 — Kontakty hydrauliczne wód leczniczych z wodami podziemnymi i powierzchniowymi w rejonie Kopalni Soli Wieliczka. *W: III Polski Kongres Górniczy*. Wrocław, 14–16.09.2015: 279–281. PWroc., Wrocław.
- WITCZAK S., GÓRKA J., RAJCHEL L., SZYBIST A., BIEDROŃSKI G., 2014 — Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wód leczniczych z wypływu WVI-32 (komora Z-32) zlokalizowanego na poziomie VI i z wypływu WVII-16 (komora Layer, d. Fornalska 2) zlokalizowanego na poziomie VII w Kopalni Soli „Wieliczka”. KPG „Progeo” Sp. z o.o. [maszynopis].
- ZUBER A., CIĘŻKOWSKI W., 2007 — Geneza wód a modele koncepcyjne podziemnych systemów wodonośnych. *W: Metody znacznikowe w badaniach hydrogeologicznych*. Poradnik Metodyczny (red. A. Zuber): 126–155. Ofic. Wydaw. Pwr., Wrocław.
- ZUBER A., DULIŃSKI M., 2005 — Badania izotopowe wód kopalnianych Wieliczki wykonane w latach 1973–2004: rezultaty i ich interpretacja. Opracowanie dla Kopalni Soli Wieliczka. WFiS AGH, Kraków [maszynopis].

SUMMARY

The state of knowledge of hydrogeological relations within and adjacent to the Wieliczka Salt Mine indicates a complex nature of the water circulation with varying water age and salinity. Long-term research on the isotopic leakage of the mine documented the presence of palaeoinfiltration waters from the Pleistocene period in both the salt bed and its surroundings. It means that original sedimentation water have been exchanged by younger infiltration water. The paper presents presumed conditions for the exchange of groundwater from the Pleistocene period to the early exploitation of salt. Under natural conditions, the main flow of water took place from the south to the north, and the second

direction of water exchange could be the east–west along the Chodenice sandstone outcrop. The exchange rate declined with depth. Exploitation of salt violated the natural water circulation system, especially in areas where excavations have been in contact with the Chodenice layers. New pathways of water flow were created and new drainage centres in saltmine were formed. Two of such outflows (WVI-32 and WVII-16) became sources of medicinal water supply. The analysis of the variability of discharge rates in WVI-32 and WVII-16 shows that they displayed a mild decreasing trend, reaching in 2014 approximately 2.99 m³/h and 8.74 m³/h, respectively. They differ strongly in the NaCl content, where

WVI-32 had a clear upward trend (242.8 g/dm³ in June 2014), while in WVII-16 the NaCl content did not show a significant trend, and the average value was 62.72 g/dm³ between 1999–2014.

Water in WVI-32 outflow was from Pleistocene infiltration when the climate was much colder than today, however, in the 1970s it possibly mixed with Holocene water. Before 1990, there was an increase in concentrations of tritium, however, it declined after ward. In 2002, the isotopic composition of $\delta^{18}\text{O}$ reached the contemporary water infiltration value, and consequently exceeded this value. The article presents two possible interpretations of the observed evolution of the isotopic composition of water leakage in WVI-32. The first one assumes that the modern infiltration

water mixed with the cold-climate Pleistocene water, and then evaporated. The second one assumes that the leakage comes from the pre-evaporated modern water, that mixed with the water fed from cold climates and generated the observed isotopic compositions.

Currently, in WVII-16, tritium-free water with low $\delta^{18}\text{O}$ values still flow out, indicative of its origin from a colder climate period. Water in WVI-32 outflow thus represents Pleistocene water, accumulated in the Chodenice sands, yet without direct hydraulic contact with the contemporary waters. Thus, water from this outflow may change over the next few decades to contain an admixture of modern water with lower mineralization.