

Zmienność chemizmu i wydajności wybranych wycieków poziomu II wyższego i II niższego Kopalni Soli Wieliczka

Bogumiła Winid*, Jerzy Przybyło**, Jadwiga Stecka**

Wycieki solanek rejestrowane na poziomie II wyższym i II niższym w Kopalni Soli Wieliczka można podzielić na trzy różne genetycznie grupy: wycieki pochodzące z za północnej granicy złoża, związane z warstwami chodenickimi, będące największym zagrożeniem kopalni, wycieki ze starych zawodnionych zrobów i przecieki wód z poziomów wyższych. W artykule przedstawiono charakterystykę geologiczno-hydrogeologiczną wybranych wycieków kopalnianych. Przeanalizowane parametry zostały przedstawione na wykresach. Omówiono zależności występujące między podstawowymi parametrami na przykładzie analiz chemicznych z lat 1967–1999. Przedstawiona interpretacja zmienności badanych parametrów wskazuje, że wycieki będące dopływami ze starych zrobów różnią się od solanek genetycznie związanych z dopływem z za północnej granicy złoża. Pierwsze wspomniane wyżej wycieki charakteryzują się malejącą wydajnością, a dla pozostałych wycieków najczęściej obserwowaną korelacją jest liniowy spadek siarczanów. Na podstawie analizy wszystkich badanych parametrów wskazano najważniejsze z punktu widzenia sytuacji hydrogeologicznej złoża wycieki omawianych poziomów.

Słowa kluczowe: sól kamienna, solanka, wyciek kopalniany, wskaźniki hydrogeochemiczne, zagrożenie wodne, Kopalnia Soli Wieliczka

Bogumiła Winid, Jerzy Przybyło & Jadwiga Stecka — **Chemical and discharge changes of some seepages of the second upper level and the second lower level in the Wieliczka Salt Mine (southern Poland)**, Prz. Geol., 48: 1053–1062.

S u m m a r y. The brine seepages localized on the second upper and on the second lower level are of three genetic categories: seepages from the northern boundary of the deposit, which are connected with the Chodenice beds, seepages from the old excavation and seepages from the upper levels. This paper presents geological and hydrogeological characteristics of some seepages. The diagrams present some changes during the analytical period. The correlation between the main parameters is discussed. The presented interpretation indicates that seepages from the described genetic groups are different. Decreasing discharge has been observed for the seepages from the old excavations. Sulfate that has been linear decreasing has been found for other seepages. On the base of the complex analysis the main seepages have been indicated.

Key words: halite, brine, seepage, hydrogeochemical ratios, Wieliczka Salt Mine

Artykuł niniejszy kontynuuje próbę kompleksowego opracowania rejestrowanych przejawów wodnych Kopalni Soli Wieliczka. W poprzedniej publikacji (Przybyło & Winid, 1998) zamieszczonej w Przeglądzie Geologicznym przedstawiono zmienność chemizmu i wydajności wybranych wycieków I poziomu Bono Kopalni Soli Wieliczka. Bieżąca praca jest omówieniem zawodnienia dwóch kolejnych poziomów na podstawie analizy zmienności parametrów fizyko-chemicznych rejestrowanych tam wycieków.

Korzystna budowa geologiczna, o jakiej możemy mówić w przypadku złoża soli Wieliczka, nie eliminuje potencjalnego zagrożenia wodnego, najpoważniejszego w górnictwie solnym. Spośród 249 wycieków solanek 22 rejestrowane są na poziomie II wyższym a 25 na poziomie II niższym. Najwięcej, bo 49 wycieków, rejestrowanych jest na poziomie I. Główne niebezpieczne dopływy do kopalni rejestrowane są na poziomach IV–VII. Wycieki poziomu II wyższego i II niższego pomimo faktu, że stanowią zaledwie 1,36% sumarycznego dopływu do kopalni, mogą stanowić zagrożenie dla walorów historycznych, przyrodniczych i górniczych, jakimi są wyrobiska omawianych poziomów. Ponadto z uwagi na ich niejednorodną genezę mogą uzupełniać informacje dotyczące wszelkich przejawów wodnych Kopalni Soli Wieliczka.

Charakterystyka geologiczno-górnicza poziomu II wyższego i II niższego

W Kopalni Soli Wieliczka dwa kolejne poziomy pod poziomem I Bono noszą nazwę poziomów II wyższego i II niższego.

Poziom II wyższy imienia Braci Markowskich posadowiony jest na głębokości około 84 m p.p.t. w stosunku do szybu Kingi. Jego wyrobiska rozciągają się wzdłuż złoża na długości około 2820 m, a w przekroju poprzecznym na około 820 m (ryc. 1). Długość wszystkich chodników tego poziomu wynosi około 13 450 m. Zinwentaryzowano 46 komór, lecz z pewnością wykonano w jego obrębie również komory i chodniki dziś nie istniejące lub niedostępne i nie rozpoznane. Charakterystyczne dla tego poziomu jest to, że nie tworzy zwartego, połączonego ze sobą systemu wyrobisk, lecz kilka odrębnych rejonów, dostępnych poprzez połączenia z innymi poziomami kopalni.

Wyrobiska poziomu powstawały już od końca XVI i początków XVII wieku, ale zasadniczy kształt nadały mu prace eksploatacyjne i poszukiwawcze prowadzone w wieku XIX. Na mapach poziomu wyraźnie zaznacza się porozbiorowy system podłużni prowadzonych wzdłuż rozciągłości złoża, generalnie na linii wschód–zachód i poprzeczni poprowadzonych na linii północ–południe, system ten został wprowadzony w czasie austriackiej administracji kopalni w końcu XVIII wieku.

W budowie geologicznej poziomu obecne są oba elementy złoża — tzw. złożo bryłowe, zbudowane ze zróżnicowanych wielkością brył soli kamiennej tzw. zielonej, rozmieszczonych bezładnie w skałach płonnych —

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Wiertnictwa Nafty i Gazu, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: winid@eto-nv11.wnaft.agh.edu.pl

**Kopalnia Soli Wieliczka, Park Kingi 1, 32-020 Wieliczka, e-mail: halit@kki.net.pl

zubrach solnych, oraz tzw. złoża pokładowe, czyli zespół pokładów soli kamiennej poprzedzielanych skałami płonnymi typu iłowych anhydrytowych, uformowanych w wyniku nacisku wypiętrzających się Karpat w trzy główne łuski tektoniczne. Na poziomie II wyższym utwory złoża bryłowego dominują nad utworami złoża pokładowego. W otoczeniu szybów Kingi i Daniłowicza obserwowane jest zagęszczenie brył soli zielonej o znacznych rozmiarach i stromym, niemal pionowym posadowieniu. W pozostałych rejonach poziomu bryły są mniejsze, występują w słabszym zagęszczeniu i nachylone są w kierunku północnym pod łagodniejszym kątem, niekiedy zalegają prawie poziomo.

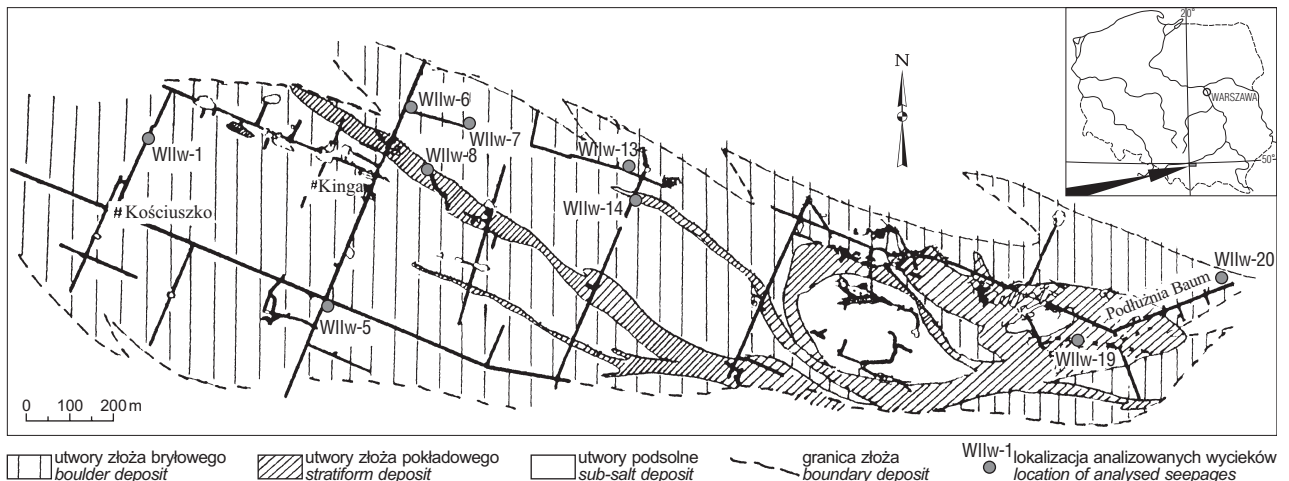
Złoża pokładowe w zachodnich partiach poziomu w zasadzie nie występuje, a w centralnej części obecne jest w postaci rozciągających się w kierunku NEE-SWW pasów soli, tzw. spizowych, będących najwyższym ogniwem w profilu litostratygraficznym złoża pokładowego. Są to szczytowe partie łusek południowej i centralnej. W części wschodniej poziomu budowa złoża jest nieco inna — występuje tu struktura nazwana od najważniejszego jej obiektu kopułą Grot Krysztalowych.

Kopuła Grot Krysztalowych jest zbudowana z wyniesionego elementu strukturalnego podłoża złoża, prawdo-

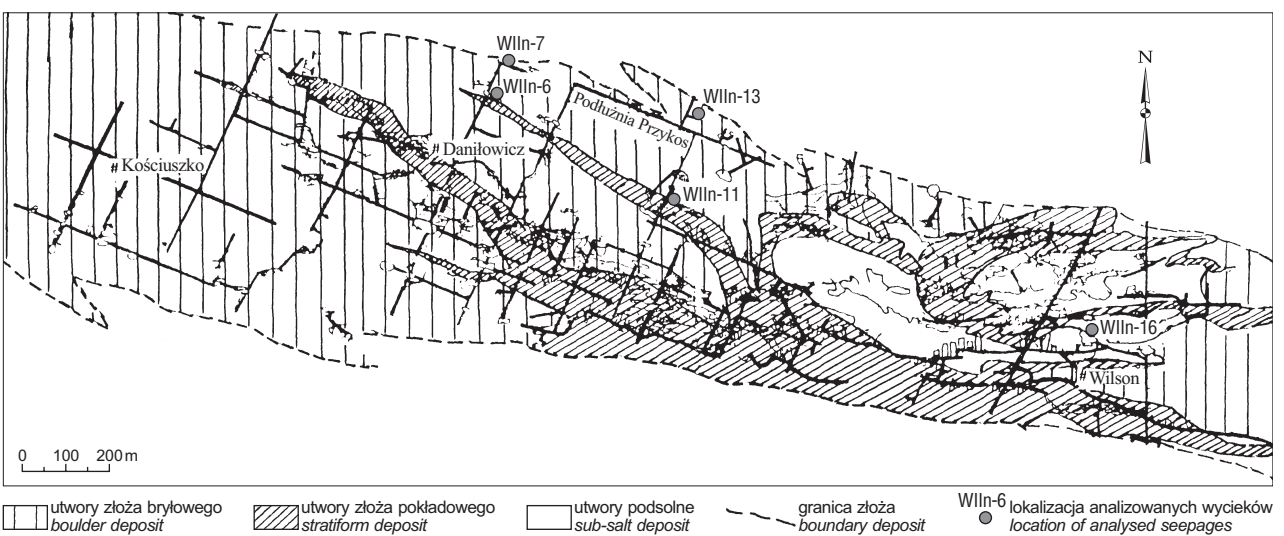
podobnie bloku wapieni górnej jury. Na nim spoczywają utwory podsolne, a te z kolei przykrywają utwory złoża pokładowego, a na nim bryłowego. Południowy skłon kopuły jest bardziej stromy, północny jest płogi, na nim umiejscowiony jest system kawern, spleciań i szczelin wypełnionych przejrzystymi kryształami halitu, zwany Grotami Krysztalowymi. W tym rejonie, w wyniku wydzwignięcia utworów podłoża, obecne są w większym stopniu utwory złoża pokładowego w postaci niemal pełnego jego profilu litostratygraficznego.

Południową granicę złoża budują utwory fliszu karpacciego, na północy zaś otulina iłowo-gipsowa oddziela złożo od zawodnionych warstw chodenickich.

Poziom II niższy wraz z międzypoziomem Geramb (umiejscowionym w okolicy szybu Kingi około 4 m powyżej zasadniczego poziomu) zalega na głębokości około 103,5 m p.p.t. w stosunku do szybu Kingi. Jego długość wynosi około 3250 m, szerokość dochodzi do około 600 m (ryc. 2). Długość wszystkich chodników tego poziomu wynosi około 18 600 m, zinwentaryzowano na nim 245 komór. Podobnie jak w przypadku poziomu II wyższego, wyrobiska poziomu II niższego powstały od początków XVII (lub nawet końca XVI) wieku, jednak w zasadniczej



Ryc. 1. Zgeneralizowana mapa geologiczna poziomu II wyższego imienia Braci Markowskich Kopalni Soli Wieliczka
 Fig. 1. General geologic map of the Upper Level 2 Braci Markowskich, Wieliczka Salt Mine



Ryc. 2. Zgeneralizowana mapa geologiczna poziomu II niższego imienia Adama Mickiewicza Kopalni Soli Wieliczka
 Fig. 2. General geologic map of the Lower Level 2 Adama Mickiewicza, Wieliczka Salt Mine

swej postaci został on ukształtowany w czasie austriackiej administracji kopalni — głównie pod koniec XVIII i w pierwszej połowie XIX wieku. Na mapach widoczny jest charakterystyczny dla tego okresu eksploatacji układ wyrobisk — system podłużni i poprzeczni.

W budowie geologicznej poziomu obecne są oba elementy litostratygraficzne złoża — złoże bryłowe i pokładowe. Podobnie jak na poziomie II wyższym, w części zachodniej dominuje złoże bryłowe. W części centralnej złoże bryłowe spoczywa na złożu pokładowym, ukształtowanym w postaci zapadających na południe łusek tektonicznych — centralnej i południowej — zbudowanych z soli spizowych, szybkowych i zielonych pokładowych. Szczególnie rozbudowana jest łuska południowa, w której prowadzono intensywną eksploatację soli szybkowych. W części wschodniej poziomu wyraźnie ukształtowana jest już struktura kopuły Grot Krysztalowych, w tym rejonie oprócz pełnego profilu złoża pokładowego odślaniają się także utwory podsolne. Wschodnia peryferyjna część złoża na poziomie II niższym wykształcona jest w postaci wąskiego pasa zbudowanego z łuski południowej złoża pokładowego, przykrytej utworami złoża bryłowego. Złoże w kierunku wschodnim stopniowo wyklinowuje się.

Wyrobiska omówionych poziomów stanowią zabytek działalności górniczej. Spośród wielu walorów historycznych i przyrodniczych najszlachetniejsza jest kaplica św. Kingi, urządzona w komorze pomiędzy poziomem II wyższym i II niższym. Unikatowym zabytkiem przyrody są Groty Krysztalowe. Tego typu zjawisko nagromadzenia kryształów soli nie jest notowane w innych kopalniach mioceńskich złóż soli na świecie.

Zakres i metody badań

Powszechnie obowiązującą zasadą w górnictwie solnym jest ścisła ewidencja i obserwacja wszelkich przejawów wodnych (Ślizowski, 1980). Zakres badań i ich częstotliwość zależy od tego, jak ważny jest dany wyciek z punktu widzenia zagrożenia wodnego kopalni. W przypadku omawianych wycieków było to podobnie jak dla wycieków poziomu I — częstotliwość opróbowania wynosiła od jednego do kilku w roku. Natomiast zakres badań obejmował rejestrację następujących cech: pH, nasycenie NaCl (mierzone *in situ* i w laboratorium), zawartość kationów Ca^{2+} i Mg^{2+} , anionów SO_4^{2-} i Cl^- oraz zawartość części nierozpuszczalnych. Zawartość NaCl jest przeliczana na podstawie oznaczanego stężenia jonów chlorkowych i wartości stosunku gramorównoważnika jonów sodowych do chlorkowych równej 1, co potwierdzają analizy, które miały oznaczone jony chlorkowe i sodowe. Pomiar wielkości wydatku dla większości wycieków ujmowanych i odprowadzanych do systemu odwodnienia kopalni jest przeprowadzany na podstawie systematycznych pomiarów ilości odprowadzanej wody, dla pozostałych dostępnych wycieków jest dokonywany podczas kontroli (obecnie dwa razy w roku). Osobną grupę badań stanowią analizy izotopowe, które umożliwiają określenie wieku wód.

Genetycznie wycieki poziomów II wyższego i niższego możemy podzielić na trzy grupy: pochodzące z północnej granicy złoża, związane z warstwami chodenickimi, będące największym zagrożeniem wodnym kopalni, wycieki ze starych zawodnionych zrobów i przecieki wód z poziomów wyższych kopalni. Pochodzenie wycieków można określić na podstawie analizy budowy geologicznej rejonu ujęcia, przeprowadzonej przy wykorzystaniu mate-

riałów archiwalnych, ale również dodatkowych badań geotechnicznych wykonanych w rejonie wycieku. Istotna jest znajomość lokalizacji starych wyrobisk i wyniki badań izotopowych określających wiek wód. Określenie genetyzacji wycieków może czasami budzić wątpliwości ponadto nie wykluczono związku niektórych wycieków solanek z wodami technologicznymi.

W ramach pracy przeanalizowano zawartość jonów Ca^{2+} , Mg^{2+} i SO_4^{2-} , stężenie NaCl (przeliczone na podstawie stężenia jonów Cl^-), wydajność wycieków, a także wybrane wskaźniki hydrochemiczne. Są to wzajemne stosunki jonów lub grup jonów wyrażane w miliwalach, wykorzystywane między innymi przy hydrogeochemicznych badaniach regionalnych (Macioszczyk, 1987). Na wykresach przedstawiono wskaźniki, które uwzględniały oznaczane jony: wskaźnik $\frac{r\text{SO}_4^{2-}}{r\text{Cl}^-}$ zwany wskaźnikiem siarczanowym i wskaźnik $\frac{r\text{Ca}^{2+}}{r\text{Mg}^{2+}}$. Dla wycieków, które miały oznaczoną zawartość jonów HCO_3^- (wszystkie omówione z wyjątkiem WIIw-1, WIIw-5 i WIIw-6) od 1994 r. policzono wskaźniki: $\frac{r\text{HCO}_3^-}{r\text{Cl}^-}$, $\frac{r\text{Ca}^{2+}}{r\text{SO}_4^{2-}}$ i $\frac{r\text{SO}_4^{2-}}{r\text{HCO}_3^-}$ oraz omówiono ich wartości, bo niewielka ilość danych uniemożliwiła przedstawienie ich zmienności w czasie. Badany przedział czasowy obejmował okres 32 lat, od 1967 r. do chwili obecnej. W niektórych wypadkach był krótszy, co związane było z ilością posiadanych informacji. Zrezygnowano z wyników wcześniejszych z uwagi na niepełne i często mało precyzyjne dane.

Krzywe obrazujące zmienności danych cech w omawianych przedziałach czasowych zostały przedstawione na wykresach za pomocą programu *Statistica*. Aproksymację przeprowadzono metodą odwrotnie wykładniczą. W celu badania zależności między parametrami obliczono macierze korelacji i wartości istotne statystycznie (te dla których poziom istotności p jest mniejszy od 0,05 i współczynnik korelacji miał wartość bezwzględną większą od 0,5) zostały podane przy interpretacji danych.

Spośród 22 wycieków rejestrowanych na poziomie II wyższym do szczegółowej analizy wytypowano 9 (WIIw-1, WIIw-5, WIIw-6, WIIw-7, WIIw-8, WIIw-13, WIIw-14, WIIw-19 i WIIw-20), a spośród 26 rejestrowanych na poziomie II niższym 5 (WIIIn-6, WIIIn-7, WIIIn-11, WIIIn-13 i WIIIn-16). Brano pod uwagę te, dla których liczba analiz umożliwia obserwację zmienności w czasie, a ilość wyników na badanie korelacji między danymi. Trzeba zaznaczyć, że istnieją wycieki, których wydajność i wielkość zasolenia są uwzględniane przy bilansowaniu dopływów kopalnianych, ale dane odnośnie ich parametrów pochodzą z materiałów archiwalnych, ponieważ stan techniczny rejonów, w których znajdują się wycieki, nie pozwala na ich weryfikację.

Charakterystyka wybranych wycieków kopalnianych poziomu II wyższego — Braci Markowskich

Dopływami spoza północnej granicy są wycieki WIIw-19 i WIIw-20.

Wyciek WIIw-19 jest umiejscowiony w najwyższej partii komory Ferro przy podłużni Ferro. Komora Ferro, będąca wynikiem eksploatacji soli spizowej, powstała w XIX wieku. Należy ona do zespołu Ferro-Hrdina, wyróżniającego się walorami widokowymi związanymi z oryginalnymi kształtami i wielkimi rozmiarami wyrobisk (Jaworski & Kurowski, 1984). Wyciek ma charakter

wykropleń ze szczelin w kilku punktach, rozmieszczonych na powierzchni około 4 m². Ujęcie tego wycieku jest mało skuteczne (brak możliwości ujęcia całości wypływu), zatem znaczną jego część ścieka do niższych partii komory Ferro, gdzie w rejonie zejścia, a także w dolnej części komory występują gęste naskorupienia solne, stalaktyty i wycieki kropłowe. Zjawisko to zostało zaobserwowane na początku lat 70. Zmienność chemizmu wycieku możemy obserwować na podstawie danych z lat 1971–1991, ponieważ obecnie na skutek rozproszenia kropłowego wycieku nie ma możliwości pobrania solanki. Biorąc pod uwagę wyniki badań izotopowych, świadczących o tym, że są to wody glacialne bez zasilania wodami współczesnymi (Zuber i in., 1991) można przypuszczać, że wyciek pochodzi z czapy iłowo-gipsowej, zasilanej wodami z warstw chodnickich. Analizując kształty krzywych możemy mówić o pewnym wzroście wydajności od 1985 r. w stosunku do obserwowanej w latach 1975–1979 (ryc. 3). Może to wynikać z tego, że początkowo w związku z wykonaniem ujęcia wycieku możliwy był dokładny pomiar wydajności, a od 1985 r. na skutek braku bezpiecznego dojścia do wycieku wydajność jego jest oceniana w sposób przybliżony. Obecnie wydajność wycieku wynosi 0,3 l/min, przy nasyceniu NaCl ok. 306 g/l.

WIIw-20 jest wyciekami zza tamy zlokalizowanej we wschodniej końcówce podłużni Baum. Podłużnia i poprzeczna Baum powstały w latach 1813–1823, a wschodnia końcówka w latach czterdziestych XIX wieku. Wyciek jest przeciekiem przez tamę zbudowaną w odległości około 3 m od końca podłużni Baum. Został on zarejestrowany w grudniu 1961 r. Tama prawdopodobnie powstała wcześniej, ale brak jest dokładnych informacji na ten temat. Zachowane elementy urządzeń do transportu wody świadczą o tym, że problem zawodnienia tego rejonu istniał już od XIX wieku. Z archiwum Muzeum Żup Krakowskich uzyskano informację, że już w 1872 r. budowano tamę w podłużni Baum, a od 1885 r. mierzona była wydajność wycieku. Analiza izotopowa wycieku wskazuje na wodę glacialną z małą domieszką wody współczesnej (Duliński i in., 1995). Na podstawie przebiegu wykresów można stwierdzić, że generalnie parametry oscylują wokół stałych wartości, ale od 1991 r. notuje się wahania wydajności objawiające się dwukrotnym zwiększeniem wielkości, co nie było notowane w latach 1967–1979 (ryc. 3). Wydajność wycieku w ostatnim okresie wynosi 0,42 l/min przy nasyceniu NaCl ok. 304 g/l.

Dopływami ze starych zrobów są wycieki WIIw-7 i WIIw-8.

Wyciek WIIw-7 zlokalizowany jest w chodniku Dobudowa do szybu Regis. Chodnik został wykonany w latach czterdziestych XIX wieku, znajduje się pod rejonem starszych (XIII i XIV wiecznych) zrobów, należących do najstarszych eksploatowanych rejonów kopalni *Wieliczka*, obecnie niedostępnych. Chodnik, który jest wyrobiskiem zabytkowym należącym do zespołu Kunegunda, wykonany jest w utworach złoża bryłowego (Opisowa inwentaryzacja..., 1979). Wyciek został zarejestrowany w grudniu 1961 r., ale znajdujący się w chodniku ciąg solankowy może wskazywać na wcześniejsze występowanie wycieków w tym rejonie. Występujący w czole chodnika próg wodny nasuwa przypuszczenie, że dopływ nastąpił w trakcie drażenia wyrobiska. Solanka gromadziła się w kilku rzapiach zlokalizowanych na całej długości chodnika, a w jego czole woda sączyła się po północnym ociosie, tworząc naskorupienia o rdzawym zabarwieniu. Wszystko to miało

przypuszczalnie związek z dopływem w czole chodnika. W kwietniu 1999 r. wyciek w czole został zlikwidowany przez zatłoczenie zaczynów cementowych. Obecnie solanka gromadzi się tylko w jednym rzapiu. Analiza izotopowa wskazuje na wodę holoceniową o wieku kilku tysięcy lat, pozbawioną trytu, co może świadczyć o braku współczesnego zasilania (Grabczak & Zuber, 1985, 1997). Według dawnej numeracji wyciek rejestrowany był jako dwa odrębne dopływy (WIIw-6 i WIIw-7). Wyciek rejestrowany w czole chodnika (dawny WIIw-7) charakteryzuje się większą (czasami dwukrotnie a czasami o rząd wielkości) wydajnością od dopływu do dawnego WIIw-6 (ryc. 4). Należy zaznaczyć, że obie wydajności maleją z upływem czasu (współczynnik korelacji liniowej wynosi $-0,8$). Dopływ do czoła chodnika według ostatnich danych wynosił około 0,07 l/min przy zawartości NaCl około 308 g/l.

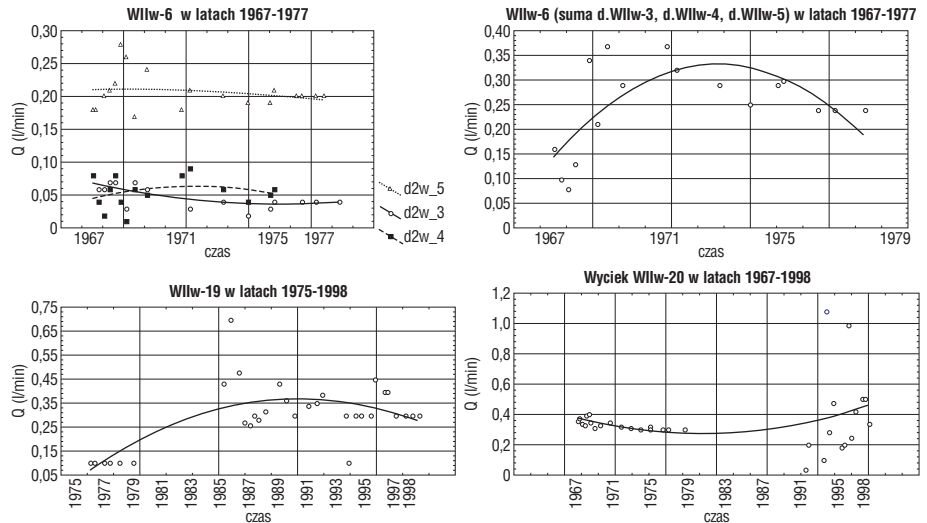
Wyciek WIIw-8 zlokalizowany jest w chodniku Piotrowice. Dopływ występujący w czole chodnika przy jego południowym ociosie jest zbierany do rynny, natomiast w spągu chodnika znajduje się rzapie, do którego dopływa solanka od spągu bądź także z czoła wyrobiska. Zjawisko jest rejestrowane od 1969 r., chociaż dopływy w chodniku Piotrowice były rejestrowane od 1895 r. w ilości 0,1–0,06 l/min (Dzikie dopływy..., 1948). Analiza izotopowa solanki wskazuje na wodę holoceniową, co potwierdza hipotezę, że wyciek może mieć związek z podsadzonymi i niedostępnymi wyrobiskami poziomu I, położonymi na N od szybu Paderewski. Wydajność zmniejszyła się w badanym przedziale czasowym od 0,4 do około 0,05, czyli prawie o rząd wielkości (ryc. 4). Obecnie wyciek ma wydajność 0,04 l/min przy nasyceniu NaCl około 308 g/l.

Wyciek WIIw-13 jest zlokalizowany w podłużni Kuczkiwicz. Wyciekająca ze stropu (obecnie w postaci kropel) solanka gromadzi się na spągu i w rzapiu. Zjawisko zostało zarejestrowane w grudniu 1961 r., ale dopływ nasyconej solanki do E części podłużni Kuczkiwicz rejestrowano już od 1943 r. (Dzikie dopływy..., 1948). Prawdopodobnie dopływ pochodzi ze starych zrobów występujących w rejonie szybu Regis (XIV w.), o czym można wnioskować na podstawie analizy warunków geologiczno-górnictwowych rejonu wycieku. Nie były przeprowadzone badania izotopowe. Na podstawie obserwacji zmienności parametrów w badanym przedziale czasowym można stwierdzić, że jego wydajność maleje — współczynnik korelacji liniowej wynosi $-0,83$ (ryc. 4). Rozrzut punktów wskazuje na duże wahania wydajności w latach 1983–1987 a po tym okresie na wydajność o rząd wielkości mniejszą niż obserwowana w końcu lat 60. Obecnie wydajność wycieku wynosi około 0,01 l/min przy zawartości NaCl około 305 g/l.

Wyciek WIIw-14 to dopływ solanki ze spągu poprzeczni Kuczkiwicz gromadzący się w czterech rzapiach na odcinku 8–76 m od podłużni Kuczkiwicz. Według poprzedniej klasyfikacji były to trzy wycieki: dawny WIIw-18, dawny WIIw-19 i dawny WIIw-24. Wycieki zostały zarejestrowane w grudniu 1961 r., ale — jak już wspomniano przy omawianiu wycieku WIIw-13 — dopływy nasyconej solanki do wschodniej części podłużni Kuczkiwicz rejestrowane były już w 1943 r. Biorąc pod uwagę fakt, że chodnikiem, gdzie rejestrowany jest dopływ, rozcięto stare podsadzone niegdyś zrobry, a także badania izotopowe wskazujące na wodę holoceniową można stwierdzić, że genetycznie dopływ związany jest ze starymi zrobami. Niejednoznaczność analiz izotopowych z 1987, 1988 i 1993 r. może świadczyć o skomplikowanej drodze krążenia wód zasilających dopływ. Największą wydajność

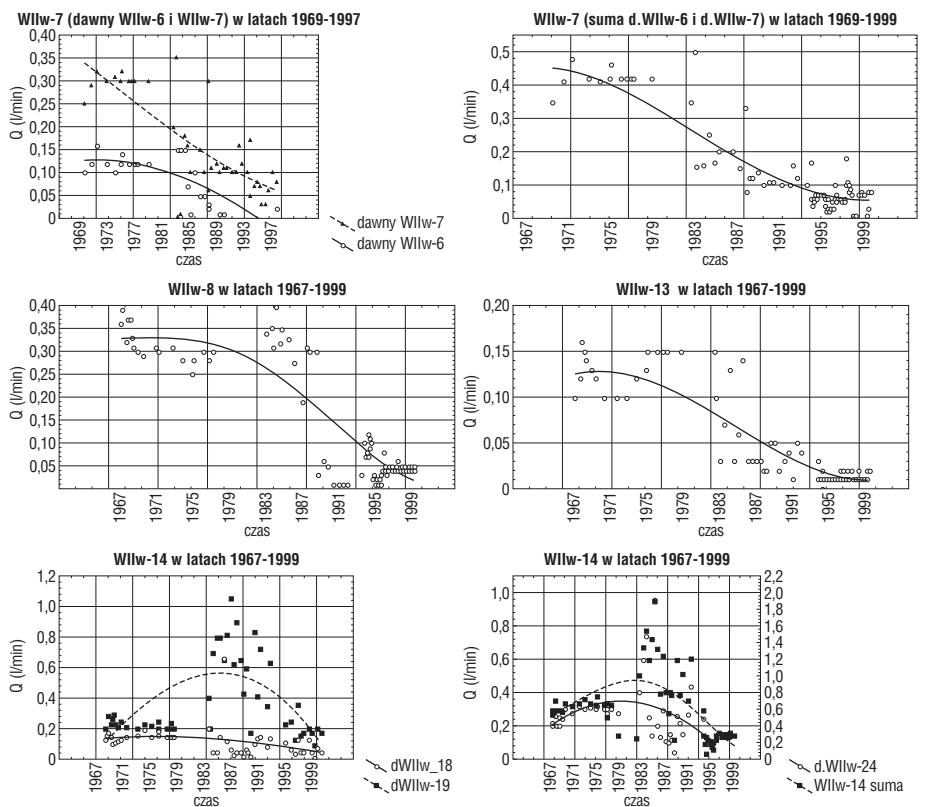
ma dopływ do rzepia nr 4, najbardziej oddalonego od podłożni Kuczkiwicz (dawny WIIw-19) (ryc. 4). Dopływ ten ulegał też największym wahaniom w latach 1983–1991. Obecnie utrzymuje się na poziomie ok. 0,2 l/min, podobnie jak w latach 70. W przypadku dopływu do rzepi nr 2 i 3 (dawny WIIw-24), a także do rzepia nr 1 (dawny WIIw-18) można zauważyć pewną tendencję spadku wydajności. Wyciek ma sumaryczny dopływ 0,3 l/min przy zawartości NaCl ok. 306 g/l.

Wyciek WIIw-6 obejmował dopływ do pięciu małych rzepi zlokalizowanych w poprzeczni Kunegunda na odcinku 20–78 m od skrzyżowania z chodnikiem Dobudowa do szybu Regis. Poprzecznia została wykonana w latach 1809–1838 w skałach druzgotowych (iłowcowo-solnych) z bryłami soli zielonej i wraz z Dobudową do szybu Regis należy do zespołu zabytkowego Kunegunda. Widoczny jest tu pełny profil geologiczny złoża w poprzeczni, a walorem jest stary ciąg odprowadzający wodę ze starych zrobów rozciętych Dobudową do szybu Regis. Wyciek został zarejestrowany w grudniu 1961 r. Obecnie wyciek ten już nie istnieje. We wrześniu 1993 r. północna końcówka poprzeczni Kunegunda została zlikwidowana poprzez zatłoczenie cementowego zaczynu uszczelniającego. Dane dotyczące chemizmu wycieku pochodzą z okresu 1967–1987, a jeśli chodzi o wydajność z lat 1967–1977. Fragmentaryczność danych spowodowana jest tym, że nie prowadzono odwadniania poprzeczni Kunegunda, w związku z czym nie było możliwości dokonania pomiaru wielkości dopływu, nie obserwowano także podnoszenia się poziomu solanki w zagłębieniach spagu. Pomiary z 1977 r. wskazują, że największy dopływ był do rzepia numer 1 zlokalizowanego najbliżej chodnika Dobudowa do szybu Regis (dawny WIIw-5) — ok. 0,2 l/min. Dopływ do pozostałych rzepi (dawny WIIw-3 i WII-4) wynosił ok. 0,05 l/min. Generalnie można powiedzieć, że sumaryczny dopływ utrzymywał się na stałym poziomie (ryc. 3), choć wydajność dawnego WIIw-3 jest odwrotnie proporcjonalna do dawnego WIIw-4. Na podstawie przebiegu krzywych i przedstawionych korelacji można dopatrzeć się pewnej zgodności w parametrach fizykochemicznych dopływów do rzepi 2 (dawny WIIw-4), 3 i 4 (dawny WIIw-3), a nieco odmiennego charakteru dopływu do rzepia numer 1



Ryc.3. Wydajność omawianych wycieków solanek poziomu II wyższego uznanych za pochodzące z północnej granicy złoża

Fig. 3. Discharge of discussed seepages of the second higher level which come from northern boundary deposit



Ryc. 4. Wydajność omawianych wycieków poziomu II wyższego uznanych za dopływy ze starych zrobów

Fig. 4. Discharge of discussed seepages of the second higher level which come from the old excavations

(dawny WIIw-5). Wyciek z uwagi na budowę geologiczną rejonu można uznać za pochodzący z warstw chodniczkich. Niestety brak jest analiz izotopowych, które mogłyby potwierdzić tę hipotezę.

Wyciek WIIw-5 jest to nagromadzenie solanki w spągu poprzeczni Kunegunda przy jej północno-zachodnim odcioście na odcinku około 14 m (31–45 m) na południowy zachód od skrzyżowania z podłożnią Kunegunda. Zjawisko zarejestrowano w 1967 r., ale rozrzucone fragmenty starych koryt świadczą o tym, że rejon był odwadniany już

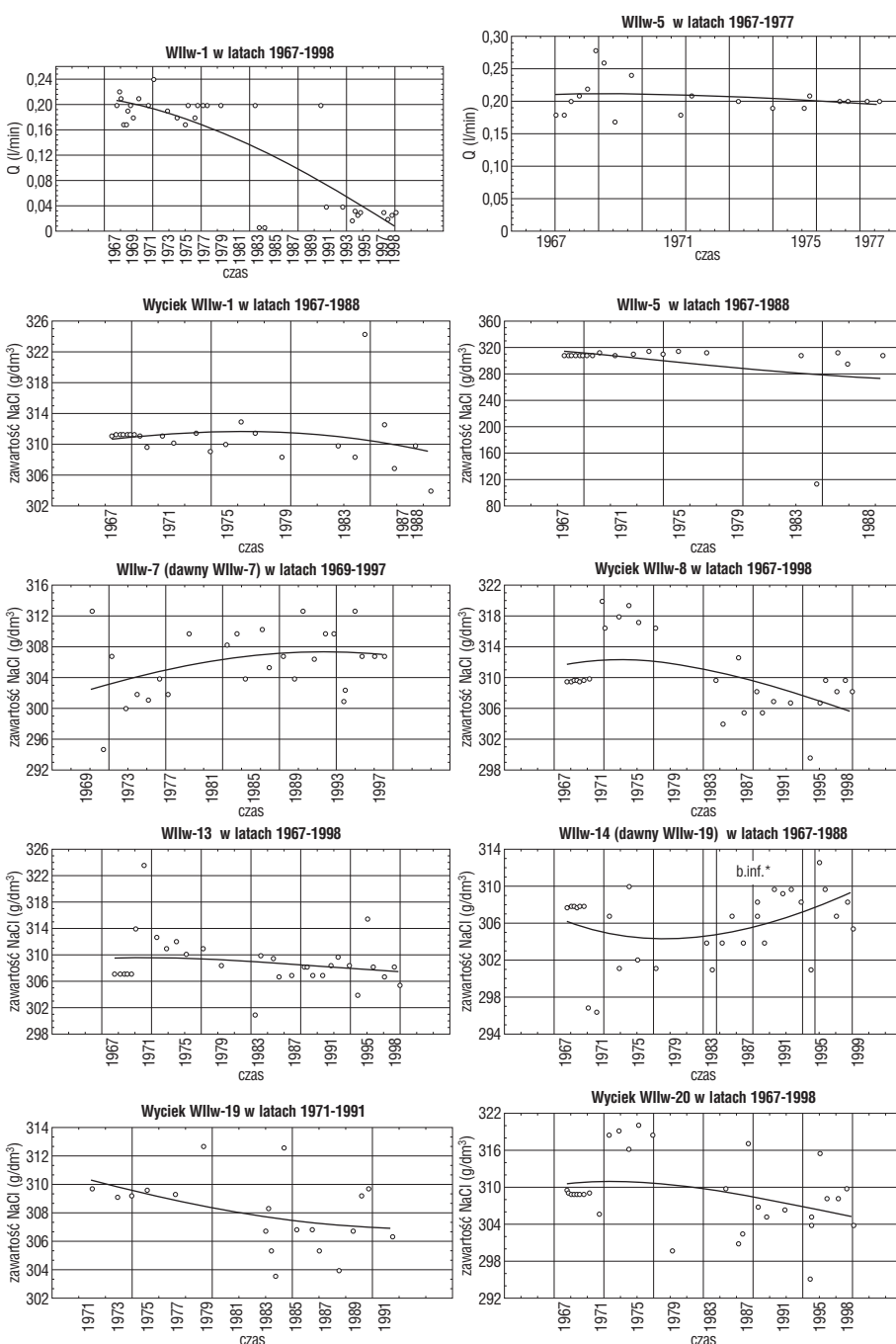
wcześniej. Dane dotyczące wydajności pochodzą z lat 1967–1977, podczas gdy pozostałe parametry rejestrowane były w okresie 1967–1988. Podobnie jak w przypadku wycieku WIIw-6 ta rozbieżność związana jest z tym, że były wykonywane analizy solanki pobranej z rząpią, ale nie odwadniano poprzeczni, nie można było więc określić wielkości dopływu. Ostatnie notowane parametry wycieku to wydajność 0,05 l/min (1977 r.) i nasycenie NaCl około 310 g/l (1988 r.). Biorąc pod uwagę lokalizację wycieku i budowę geologiczną tego rejonu stwierdzono, że dopływ na pewno nie pochodzi z warstw chodenickich. Może to być przeciek z poziomu wyższego lub ze starych zrobów. Brak analiz izotopowych, które mogłyby udzielić dodatkowej informacji na temat genezy solanki.

WIIw-1 jest wyciekami obejmującym dopływ do trzech małych rzepi w poprzeczni Król Saski, zlokalizowanych 60 m na południe od skrzyżowania z podłużnią Król Saski. W obserwowanym okresie nastąpił spadek wydajno-

ści o rząd wielkości — współczynnik korelacji liniowej wynosi $-0,84$ (ryc. 5). Można też stwierdzić spadek zawartości jonów Ca^{2+} — współczynnik korelacji wynosi $-0,6$. Budowa geologiczna i obserwacja warunków górniczych w rejonie ujęcia, a także gwałtowne zmniejszenie się wydajności może wskazywać, że solanka pochodzi z awarii rurociągów technologicznych. Ostatnio wydajność wycieku wynosiła 0,025 l/min przy zawartości NaCl ok. 306 g/l (ryc. 6).

Charakterystyka wybranych wycieków poziomu II niższego — Adama Mickiewicza

Wyciek WIIw-13 jest zlokalizowany w rejonie podłużni Przykos. Nad miejscem wycieku na poziomie II wyższym znajduje się północna granica złoża. Podłużnia Przykos powstała w pierwszej połowie XIX wieku w zabytkowym zespole wyrobisk, do którego na poziomie II niższym



←
Ryc. 5. Wydajności omawianych wycieków poziomu II wyższego
Fig. 5. Discharge of discussed seepages of the second higher level

←
Ryc. 6. Zawartość NaCl dla omawianych wycieków poziomu II wyższego
Fig. 6. Content of NaCl in discussed seepages of the second higher level

oprócz wspomnianej podłużni należy poprzecznia Lipowiec II i pochylnia Modena, wyróżniająca się system odrębnych ciągów wodnych odprowadzających wody z wyżej wymienionych wyrobisk do szybu Wodna Góra (Opisowa inwentaryzacja, 1997). Ciągi funkcjonują do chwili obecnej, ale prowadzą do szybu Regis. Z materiałów archiwalnych (Dzikie dopływy..., 1948) wynika, że dopływy nasyconej solanki notowano w rejonie opisywanego wycieku od 1943 r. W latach 1983–1984 zostało wykonane ujęcie wycieku, co umożliwiło prowadzenie obserwacji i dokładnych pomiarów wielkości dopływu. Rozrzut badanych parametrów wyraźnie wskazuje zmiany po 1984 r. w stosunku do rejestrowanych początkowo. Zaobserwowano, że wydajność wycieku maleje liniowo — współczynnik korelacji wynosi $-0,83$ (ryc. 7). Na uwagę zasługuje fakt, że stężenie NaCl zmniejszyło się prawie o połowę — od około 303 g/l w latach 60. do około 105 g/l obecnie (ryc. 10). Z uwagi na bliską obecność północnej granicy złoża i wyniki analiz izotopowych wskazujących na wodę glacialną można stwierdzić, że jest to dopływ z warstw chodeńskich.

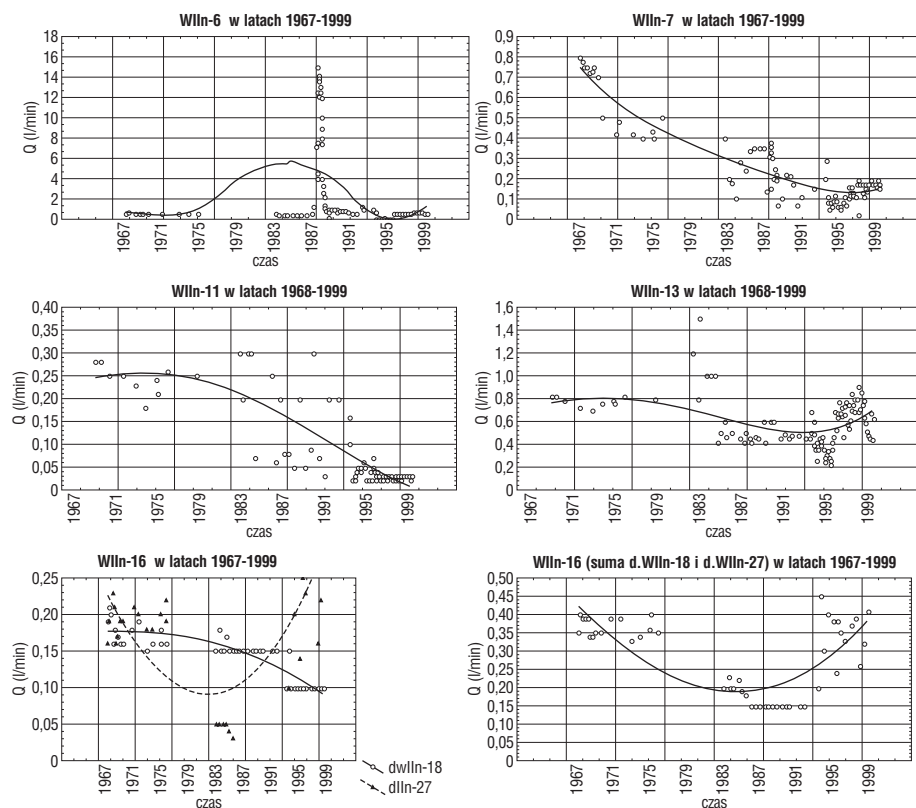
WIIIn-6 obejmuje niewielkie wycieki kropłowe ze stropu komory Przanowski, wydrążonej w bryle soli zielonej laminowanej typowej (prawdopodobnie w początku lat 20. obecnego stulecia), oraz wypływ z otworu TO/IIIn/4. Nad komorą i na północ od niej w obrębie poziomu I zalega zespół najstarszych wyrobisk. Partia złoża udoświadczona szybem Goryszowski została wyeksploatowana w wieku XIV i XV, następnie uległa zawadnieniu i zawałom, co z kolei wywołało zapadliska powierzchniowe. W związku z tym nad rejonem wycieku zalega szereg niedostępnych komór o nieznanym zawadnieniu. Wykroplenia zlokalizowane są w kilku miejscach w centrum komory, na krawędziach i ociosach. Dopływ nasyconej solanki do komory Przanowski rejestrowano od 1943 r. (Dzikie dopływy..., 1948). Dopływ wynosił wówczas 0,02–0,29 l/min, w późniejszych latach nie przekraczał 0,6 l/min. W sierpniu 1987 r.

wielkość wycieku ze stropu komory Przanowski wzrosła nagle do 7,2 l/min przy jednoczesnym zaniku wody w odkrytym na poziomie I fragmencie szybu Goryszowski i chodniku Goryszowski. Następnie dopływ zmalał do 4,5 l/min, a później wzrósł do 14 l/min (ryc. 7). Poszerzone analizy chemiczne wykonane w tym okresie wykazały obecność amoniaku (1–70 mg/l), fosforanów (0,28 mg/l), a także śladowe ilości detergentów. Przeprowadzone w latach 1970, 1980, 1984, 1987, 1988, 1989, 1990 i 1991 analizy izotopowe wskazują na dopływ wód zasilanych u schyłku ostatniego glacjału i brak zasilania dopływem wód współczesnych. W związku z nagłym zwiększeniem się wielkości wypływu ze stropu komory w 1987 r., zabezpieczono jej strop przed obwałem poprzez wykaszowanie całej komory oraz odwiercono otwór drenażowy (TO-1/IIIn/94) z poprzeczni Rarańcza, w celu przejścia dopływu. Jak się spodziewano, przejęto w 90% dopływ do komory Przanowski. Otworem tym potwierdzono obecność starych zrobów (w rdzeniu występuje skompresowana podsadzka). Wykonano też otwór obserwacyjny z poziomu I w rejon przypuszczalnie istniejących starych zrobów nad rejonem komory Przanowski (B 409/I/94). Pomiary wykonane w otworach oraz badanie wykropleń w stropie komory wykazały stopniowe zmniejszanie się wielkości wypływu z otworu drenującego, zmniejszenie się wielkości wycieku w komorze Przanowski, obniżenie się a następnie ustalenie na pewnym poziomie zwierciadła solanki w otworze obserwacyjnym, brak zmian nasycenia NaCl w wypływie z otworu i w wycieku z komory. Wszystko to wskazuje na to, że do wycieku WIIIn-6 dopływa solanka nagromadzona w starych zrobach, do których najprawdopodobniej istnieje dopływ zza północnej granicy złoża. Obserwując przebieg krzywych będących odzwierciedleniem rozrzutu danych w badanym przedziale czasowym nie można dopatrzeć się korelacji między parametrami. Można jedynie stwierdzić, że solanka ujęta otworem drenującym nie różni się składem chemicznym od wykropleń w stropie komory Przanowski.



Ryc. 7. Wydajności omawianych wycieków poziomu II niższego

Fig. 7. Discharge of discussed seepages of the second lower level



Obecnie wydajność wycieku wynosi 0,76 l/min przy nasyceniu NaCl około 305,4 l/min.

WIIIn-7 jest to wyciek kropłowy ze stropu pochylni Modena na odcinku około 10 m, zbierany za pomocą zadania i odprowadzany do rząpia. Występujący w miejscu wycieku rdzawy nalot, sąsiedztwo komory Przanowski i znajdujące się nad rejonem wycieku na poziomie I zawodnione wyrobiska zespołu Bąkle wskazują, że wyciek jest dopływem solanki ze starych zrobów, ale nie przeprowadzono badań izotopowych, które wskazywałyby na wiek wód. Wyciek został zarejestrowany w grudniu 1961 r., lecz, jak wspomniano wcześniej, istniejący stary ciąg solankowy w pochylni Modena (powstałej w połowie XIX w.) może świadczyć o wcześniejszym zawodnieniu tego rejonu. Wydajność wycieku zmalała w badanym okresie — współczynnik korelacji liniowej wynosi $-0,86$ (ryc. 7). Obecnie wyciek ma wydajność 0,17 l/min przy nasyceniu NaCl około 305 g/l.

Wyciek WIIIn-11 obejmował gęsty kropłowy wyciek ze stropu komory Czok II. Solanka spływała po kasztach do rząpia w poprzeczni Lipowiec. Obecnie po podsadzeniu komory Czok II w 1984 r. solanka dopływa do pogłębionego rząpia w poprzeczni Lipowiec. Wyciek zlokalizowany jest w obrębie bryły soli zielonej typowej. Nad rejonem wycieku na poziomie II wyższym nie ma wyrobisk, natomiast na poziomie I rejestrowane były trzy wycieki w komorze Sroki (zanikłe od 1971 r.), wyciek niedostępny (WI-46) i wyciek WI-30 w komorze Sroki. Omawiany wyciek jest prawdopodobnie przeciekaniem z poziomu I. Brak jest analiz izotopowych czy też badań znacznikowych, które mogłyby potwierdzić tę hipotezę. Wyciek rejestrowany jest od grudnia 1943 r. (Dzikie dopływy ..., 1948). Wydajność wycieku maleje — współczynnik korelacji liniowej wynosi $-0,66$ (ryc. 7). Obecnie wyciek ma wydajność 0,03 l/min przy nasyceniu NaCl ok. 290 g/l.

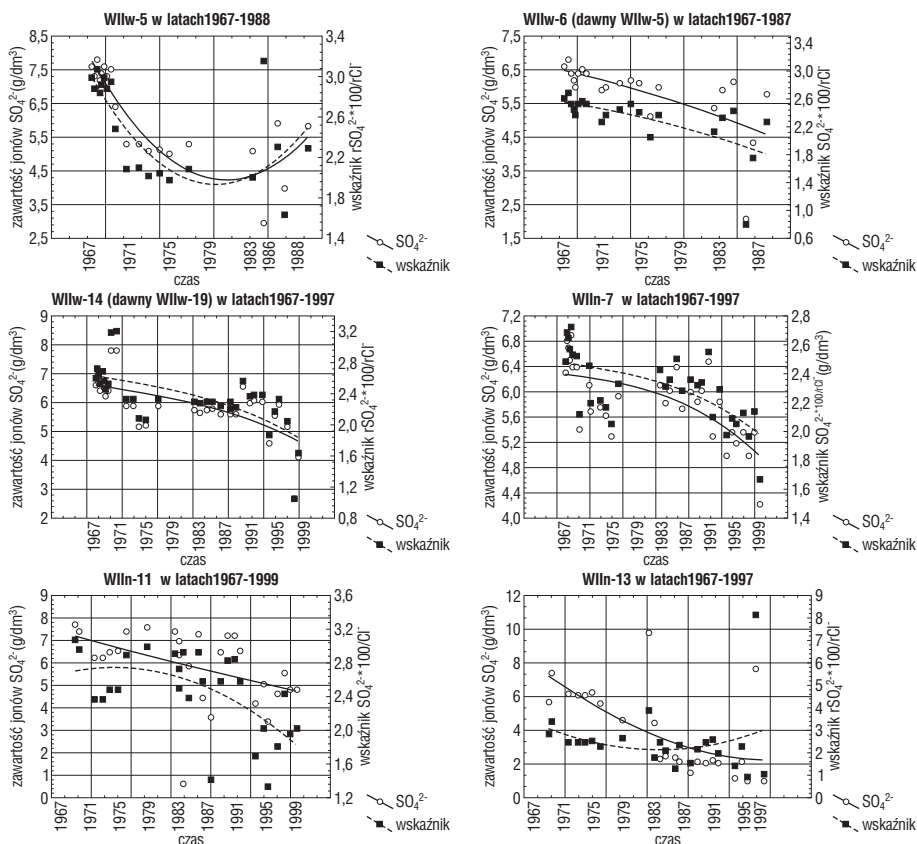
Wyciek WIIIn-16 obejmuje wypływ z ociosu komory 2-404 przy poprzeczni 2-405 na północ od południ Szwind, w rejonie szybu Wilson. Dopływ jest częściowo ujęty i odprowadzony do szybu Wilson (dawny WIIw-18), natomiast część przeciekająca poza ujęcie gromadzi się w rząpiu (dawny WIIw-27). Prawdopodobnie wyciek ma związek z dopływem solanki do wyżej leżącej komory Ferro (WIIw-19). Analizy izotopowe wskazują na wodę glacialną nieco odparowaną. Badając zmienność wycieku w czasie można stwierdzić, że wydajność części wycieku (dawny WIIIn-18) maleje w czasie — współczynnik korelacji liniowej wynosi $-0,85$ (ryc. 7). Wydajność części wycieku gromadzącej się w rząpiu, w latach 1967–1978 utrzymywała się na stałym poziomie, następnie znacznie zmalała, a później w latach 1994–1999 osiągnęła poziom nieco wyższy

niż rejestrowany w latach 1967–1978. Obecnie wyciek WIIIn-16 ma wydajność 0,19 l/min przy zawartości NaCl około 305 g/l.

Interpretacja danych hydrochemicznych

Spośród 14 opisywanych wycieków 7 stanowią wypływy solanki ze starych zawodnionych zrobów. W przypadku 6 wycieków (WIIw-7, WIIw-8, WIIw-13, WIIw-14, WIIIn-6 i WIIIn-7) można ten fakt uznać za pewny. Jeśli chodzi o wyciek WIIw-5, jest to hipoteza. Wydajność wymienionych wyżej wycieków, z wyjątkiem WIIIn-6 i WIIw-14, maleje liniowo z upływem czasu (ryc. 4 i 7). Silną korelację stwierdzono także w przypadku wycieku WIIw-1, o którym można powiedzieć, że na pewno nie jest wyciekami z północnej granicy złoża (prawdopodobnie związany jest z awarią rurociągu technologicznego), i w przypadku wycieku WIIIn-11, będącego przeciekaniem z rejonu poziomu I (WI-30).

Omawiając zmienność parametrów chemicznych należy zaznaczyć, że najczęściej obserwowana zależność to liniowy spadek zawartości siarczanów (ryc. 8). Dotyczy to sześciu wycieków, dla których współczynniki korelacji wynosiły odpowiednio: WIIw-5 — $(-0,72)$, WIIw-6 — $(-0,8)$, WIIw-14 — $(-0,65)$, WIIIn-7 — $(-0,67)$, WIIIn-11 — $(-0,61)$, WIIIn-13 — $(-0,64)$. Na uwagę zasługuje fakt, że wymienione wycieki, z wyjątkiem WIIIn-7, nie charakteryzują się spadkiem wydajności, natomiast stwierdzono dla wszystkich, z wyjątkiem WIIIn-13, spadek wskaźnika siarczanowości. Można wnioskować, iż jest to potwierdzeniem faktu, że wyciek WIIIn-13 jako genetycznie związany z warstwami



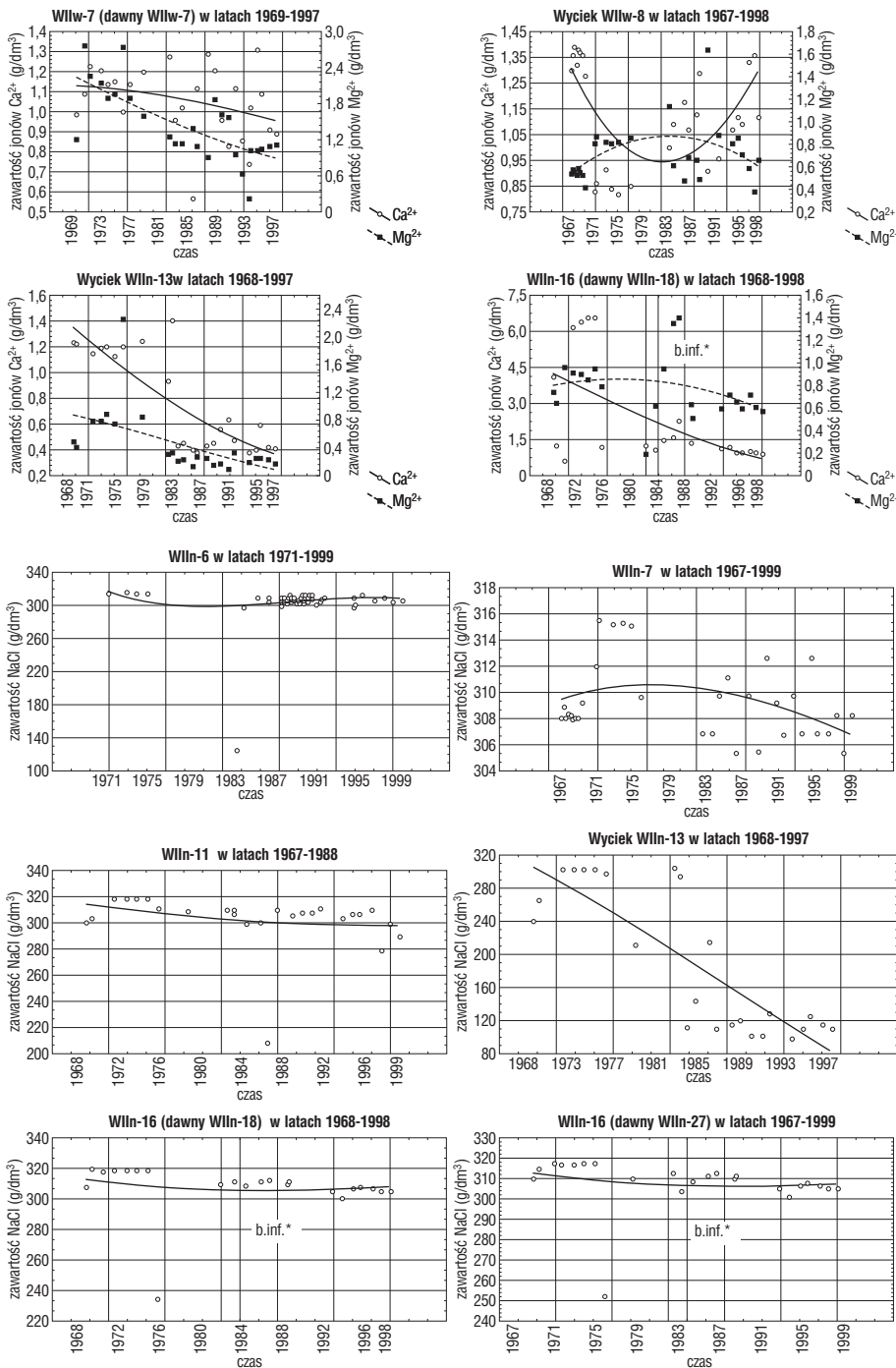
Ryc. 8. Zawartość anionów SO_4^{2-} i wartości wskaźnika siarczanowości dla niektórych z omawianych wycieków

Fig. 8. Anions SO_4^{2-} and hydrochemical index $r\text{SO}_4^{2-} \cdot 100/r\text{Cl}^-$ contents in some discussed seepages

chodeniowymi doprowadza wodę z aktywnej strefy wymiany, gdzie nie zachodzą procesy redukcyjne. Inna występująca zależność to spadek zawartości jonów Ca^{2+} obserwowany w przypadku czterech wycieków, dla których współczynniki korelacji wynoszą: WIIw-6 — (-0,6), WIIIn-13 — (-0,83), WIIIn-16 (dawny WIIIn-18) — (-0,6), oraz spadek zawartości Mg^{2+} , dotyczący trzech wycieków: WIIw-5 — (-0,73), WIIw-7 — (-0,72) i WIIIn-13 — (-0,56) (ryc. 9). Zawartość NaCl maleje w przypadku wycieku WIIIn-13 — współczynnik korelacji wynosi -0,83 (ryc. 10). Porównując zakresy omawianych parametrów należy zaznaczyć, że wartość wskaźnika $\frac{r\text{HCO}_3^-}{r\text{Cl}^-}$ dla wszystkich omawianych wód jest rzędu 10^{-3} – 10^{-4} , co jest zgodne z tym, że dla wód słonych i solanek powinna być mniejsza niż 0,2 (Rosenthal, 1988). WIIIn-13 charakteryzuje się wartością wskaźnika $\frac{r\text{HCO}_3^-}{r\text{Cl}^-}$ różniącą się o rząd wielkości od

pozostałych. Jest to spowodowane większą, ale tego samego rzędu co pozostałe wycieki, zawartością jonów HCO_3^- i mniejszą zawartością jonów Cl^- . Należy zaznaczyć, że wartości tego wskaźnika mogą świadczyć o odległości między miejscem poboru próby a obszarem zasilania (Ven-gosh & Rosenthal, 1994). Porównując wartości wskaźników: $\frac{r\text{HCO}_3^-}{r\text{Cl}^-}$ i $\frac{r\text{SO}_4^{2-} - r\text{HCO}_3^-}{r\text{Cl}^-}$ dla wycieków, które doprowadzają wodę zza północnej granicy złoża można stwierdzić, że wyciek WIIIn-13 jest zasilany wodą ze strefy aktywniejszej wymiany wody niż pozostałe. Jest to z punktu widzenia zagrożenia wodnego złoża solnego bardziej niekorzystne, bo może przesądzać o drenażu z większego obszaru.

Wartości wskaźnika $\frac{r\text{Ca}^{2+}}{r\text{Mg}^{2+}}$ dla większości omawianych wycieków wynoszą poniżej 1,1, co jest charakterystyczne między innymi dla wód przepływających przez bogate w magnez skały krzemionkowe, czyli piaskowce (Rosenthal,



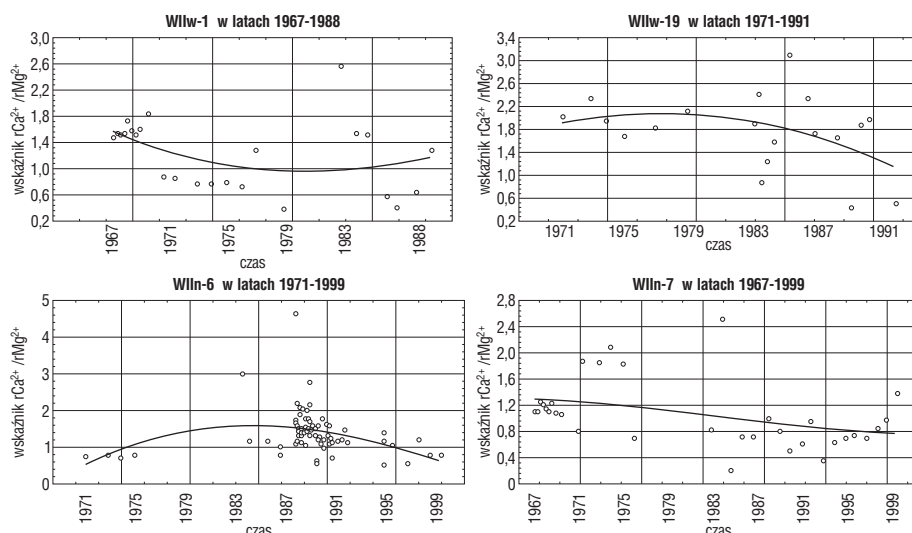
Ryc. 9. Zawartość kationów dla niektórych z omawianych wycieków b. inf.* — brak informacji o którym rzepia pochodzi analizowana solanka

Fig. 9. Cations contents in some seepages



Ryc. 10. Zawartość NaCl w omawianych wyciekach poziomu II niższego

Fig. 10. Content of NaCl in discussed seepages of the second lower level



Ryc. 11. Wartości wskaźnika rCa^{2+}/rMg^{2+} dla niektórych z omawianych wycieków
Fig. 11. Hydrochemical index rCa^{2+}/rMg^{2+} contents in some discussed seepages

1988). Dla wycieków WIIw-19, WIIw-1, WIIn-6 i WIIn-7 wartości omawianego wskaźnika są większe niż 1,1 (ryc. 11). Może to świadczyć o nieco innym typie chemicznym wód, na przykład spowodowanym przez mieszanie się ze składnikiem dopływającym z innej warstwy wodonośnej. Zgodnie z pracami (Rosenthal, 1988) wartości wskaźnika rCa^{2+}/rMg^{2+} z przedziału (1,1–1,4) są charakterystyczne dla wód z dolomitycznych skał zbiornikowych, a wartości z przedziału (1,4–2) dla wód ze skał węglanowych.

Zależność liniowa między nasyceniem NaCl a zawartością jonów Ca^{2+} (WIIw-20 i WIIn-13), SO_4^{2-} (WIIw-20) i Mg^{2+} (WIIn-13) może świadczyć, że są to wody jednego typu, w tym przypadku glacialne. W przypadku wód mieszanych nie obserwuje się zależności liniowej między zawartością jonów Cl^- a stężeniami głównych i śladowych składników (Zuber & Pluta, 1989).

Przedstawiona interpretacja zmienności badanych parametrów skłania się ku hipotezie, że wycieki będące wypływami ze starych zawodnionych zrobów różnią się od solanek genetycznie związanych z dopływem z za północnej granicy złoża. Malejąca wydajność wycieków może świadczyć o tym, że na skutek ograniczonej przestrzeni zawodnionej zmniejsza się ciśnienie wypływu, a co za tym idzie wydajność. Mogłoby to wskazywać na tezę, że obecnie nie ma dopływu do starych zrobów lub jest on mniejszy dla poszczególnych wycieków niż ich mierzona wydajność. Twierdzenie to nie dotyczy wycieków WIIn-6, gdzie dopływ taki istnieje, o czym świadczą przeprowadzone badania dodatkowe (opisane przy charakterystyce wycieku), i WIIw-14, gdzie niejednoznaczne wyniki badań izotopowych mogą wskazywać na skomplikowane warunki krążenia wód.

Wycieki z warstw chodenickich WIIw-19 i WIIw-20 charakteryzują się zmianami badanych parametrów nie skorelowanymi w czasie. Wyciek WIIn-13 spadkiem wszystkich oznaczanych parametrów, w tym najważniejszych cech czyli wydajności i nasycenia NaCl, co — jak już wspomniano wcześniej — związane jest z działaniami technicznymi podjętymi w celu uniemożliwienia ługowania złoża przez nienasyconą solankę. Wyciek WIIw-6 (prawdopodobnie będący dopływem z warstw chodenickich) również wykazywał obniżenie wydajności i zawartości jonów SO_4^{2-} i Ca^{2+} .

Biorąc pod uwagę omówione wyżej parametry i ich zachowanie w czasie, a także bilans wycieków kopalnianych można stwierdzić, że najważniejszymi wyciekami z punktu widzenia zagrożenia wodnego i obserwacji warunków hydrogeologicznych są wycieki WIIw-19, WIIw-20 i WIIn-13, genetycznie związane z dopływem z za północnej granicy złoża, i wyciek WIIn-6, będący dopływem ze starych zrobów.

Praca zrealizowana w ramach badań własnych 10.10.190.190.

Literatura

- Dane** dotyczące dopływu do Kopalni Soli Wieliczka z wycieków za 1999 r., 1999. Arch. Działu Geol. KS Wieliczka.
- DULIŃSKI M., GRABCZAK J. & ZUBER A. 1995 — Wyniki analiz izotopowych próbek solanki z Kopalni Soli Wieliczka. Arch. Działu Geol. KS Wieliczka.
- Dzikie** dopływy w kopalni w Wieliczce, 1948. Arch. Działu Geol. KS Wieliczka.
- GRABCZAK J. & ZUBER A. 1985 — Sprawozdanie przejściowe z badań izotopowych wód z wycieków z Kopalni Soli w Wieliczce za okres 1983–1984, IFTJ AGH, Arch. Działu Geol. KS Wieliczka.
- JAWORSKI W. & KUROWSKI P. 1984 — Charakterystyka zabytkowych wyrobisk Kopalni Soli w Wieliczce, Studia i materiały do dziejów żup solnych w Polsce. Muz. Żup Krakow., Wieliczka, 13: 17–105.
- MACIOSZCZYK A. 1987 — Hydrogeochemia, Wyd. Geol.
- Opisowa** inwentaryzacja i wstępna dokumentacja geologiczno-historyczna wyrobisk zabytkowych poziomu II wyższego kopalni soli w Wieliczce, 1979. Arch. Działu Geol. KS Wieliczka, nr arch. 397/78/1.1.
- Opisowa inwentaryzacja** i wstępna dokumentacja geologiczno-historyczna wyrobisk zabytkowych poziomu II niższego kopalni soli w Wieliczce, 1979. Arch. Działu Geol. KS Wieliczka, nr arch. 397/78/1.2.
- PRZYBYŁO J. & WINID B. 1998 — Analiza zmienności chemizmu i wydajności wybranych wycieków I poziomu Bono Kopalni Soli Wieliczka. Pr. Geol., 46: 827–835.
- Rejestr** wycieków kopalnianych poziom II wyższy i II niższy. Arch. Działu Geol. KS Wieliczka, nr arch. 531/3.
- ROSENTHAL E. 1988 — Hydrochemistry of Groundwater at Unique Outlets of the Bet Shean-Harod Multiple-Aquifer System, Israel-Journal of Hydrology, 97: 75–87.
- ŚLIZOWSKI K. 1980 — Zagrożenie wodne w kopalniach soli, Zeszyty Naukowe AGH, 110.
- VENGOSH A. & ROSENTHAL E. 1994 — Saline groundwater in Israel: its bearing on the water crisis in the country. Jour. Hydrol. 156: 389–430.
- ZUBER A., GRABCZAK J. & DULIŃSKI M. 1997 — Rezultaty badań izotopowych solanek z wycieków Kopalni Soli Wieliczka w 1997 r. Arch. Działu Geol. KS Wieliczka.
- ZUBER A., GRABCZAK J. & ŚLIWKA J. 1991 — Wyniki analiz izotopowych i znacznikowych w próbach wód z Kopalni Soli Wieliczka pobranych w 1991 r. Arch. Działu Geol. KS Wieliczka.
- ZUBER A. & PLUTA I. 1989 — Wskaźniki izotopowe i chemiczne genezy solanek karbonu GZW. Pr. Nauk. Inst. Geotech. Pol. Wroc., 29: 497–504.