

## ZMIANY WARUNKÓW ZASILANIA WYCIEKU W VI-32 W KOPALNI SOLI WIELICZKA W ŚWIELE WIELOLETNICH BADAŃ IZOTOPOWYCH

### CHANGES OF RECHARGE CONDITIONS OF INFLOW W VI-32 AT WIELICZKA SALT MINE IN THE LIGHT OF LONG-TERM ISOTOPIC INVESTIGATIONS

ADAM POSTAWA<sup>1</sup>, KAJETAN D'OBYRN<sup>2,3</sup>

**Abstrakt.** W pracy przedstawiono podsumowanie 40 lat badań zawartości trytu oraz izotopów stabilnych (<sup>18</sup>O i <sup>2</sup>H) w wodach dopływających do komory Z-32 na poziomie VI kopalni soli Wieliczka (wyciek W VI-32). Skład izotopowy wód z wycieku świadczy o zasileniu mieszanym, z istotną komponentą wód współczesnych. Proporcje mieszania tych składowych ulegają okresowym, niekiedy znacznym wahaniom, co świadczy o zmiennych w czasie i skomplikowanych warunkach zasilania wycieku.

**Słowa kluczowe:** hydrogeologia górnicza, badania izotopowe, kopalnia soli Wieliczka.

**Abstract.** In a paper the results of long-term isotopic investigations are presented. Both stable isotopes (<sup>18</sup>O and <sup>2</sup>H) and tritium concentrations were measured in water appearing in the Z-32 chamber at the VI level in Wieliczka salt mine. Observed changes in isotopic composition of waters from the inflow suggest mixing of tritium free water recharged in Holocene with essential component of contemporary waters containing tritium. Variable mixing proportions of these components suggest changeable and complicated conditions of water circulation.

**Key words:** mining hydrogeology, isotope investigations, Wieliczka salt mine.

## WSTĘP

Kopalnia soli Wieliczka to wyjątkowy na skalę światową obiekt kulturalny i muzealny, a zarazem działający od 700 lat zakład górniczy. Ze względu na skomplikowaną budowę geologiczną paleogeńsko-neogeńskiej formacji solonośnej, górotwór został bardzo silnie rozcięty wyrobiskami górnictwami, zarówno chodnikami jak i komorami. Rozpoznanie warunków geologicznych i hydrogeologicznych następowało głównie dzięki wyrobiskom górnictwom, prowadzonym w poszukiwaniu soli. W wyniku wieloletniej działalności

górnictwej, w tym także trudnych do przewidzenia i uniknięcia błędów ludzkich, doszło do przzerwiania naturalnej izolacji złoża solnego i uruchomienia licznych, niekiedy wydajnych, dopływów wód podziemnych do kopalni. Jednym z nich jest wyciek spod komory Z-32 figurujący w rejestrze wycieków kopalni soli Wieliczka pod numerem W VI-32. Komora Z-32 jest zlokalizowana na zachód od szybu Kościuszko, przy północnej granicy złoża, pomiędzy poziomem V i VI kopalni. Ze względu na znaczny udział wód z tego wycieku

<sup>1</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: postawa@agh.edu.pl

<sup>2</sup> Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków; e-mail: dobyrn@pk.edu.pl

<sup>3</sup> Kopalnia Soli „Wieliczka”, Park Kingi 1, 32-020 Wieliczka

w całkowitym dopływie do kopalni, jest on wskazywany jako jedno z głównych aktualnych zagrożeń wodnych. Dodatkowym czynnikiem jest skład chemiczny wód z wycieku. Przy średniej zawartości NaCl wynoszącej 244 g/dm<sup>3</sup> (w roku 2012), wody są ciągle dalekie od stanu nasycenia, więc mają zdolność dalszego lęgownia soli. Określenie warunków zasilania wycieku W VI-32 i ustalenie genezy

dopływających wód ułatwi podjęcie właściwych działań pozwalających na skuteczne opanowanie tego wycieku oraz ograniczenie zagrożenia wodnego w zachodniej części kopalni.

Rozważania przedstawione w pracy oparte są na wynikach badań zgromadzonych w archiwum kopalni soli Wieliczka.

## CHARAKTERYSTYKA REJONU BADAŃ

### BUDOWA GEOLOGICZNA

Złoże soli kamiennej w rejonie Wieliczki stanowi część miocenijskiej formacji solonośnej ciągnącej się wąskim pasem w obrębie zapadliska przedkarpackiego od Górnego Śląska przez Kraków w kierunku wschodniej granicy Polski. Złoże rozciąga się na długości około 10 km (W–E), a jego szerokość w rejonie kopalni wynosi około 1,2 km. W obrębie złoże Wieliczka wyróżnia się dwie części: bryłową – z występującymi wyraźnymi oznakami dyslokacji i część pokładową, w której zostały zachowane ciągłość i następ-

stwo warstw. Miąższość formacji solonośnej wynosi około 350 m. Wydziela się tu trzy ogniwa litostratygraficzne: warstwy skawińskie; warstwy wielickie (seria solna) oraz warstwy chodenickie (Gaweł, 1962). W zachodniej części kopalni zaznacza się dwudzielność złoże solnego, charakterystyczna dla rejonu Wieliczki (fig. 1). Utwory złoże pokładowego zalegają w postaci łuski nachylonej pod kątem 40–50° na południe i kontaktują od północy ze skałami otuliny iłowce-gipsowej wykształconej jako iłowce, mułowce i piaskowce ze skupieniami anhydrytów i gipsów.

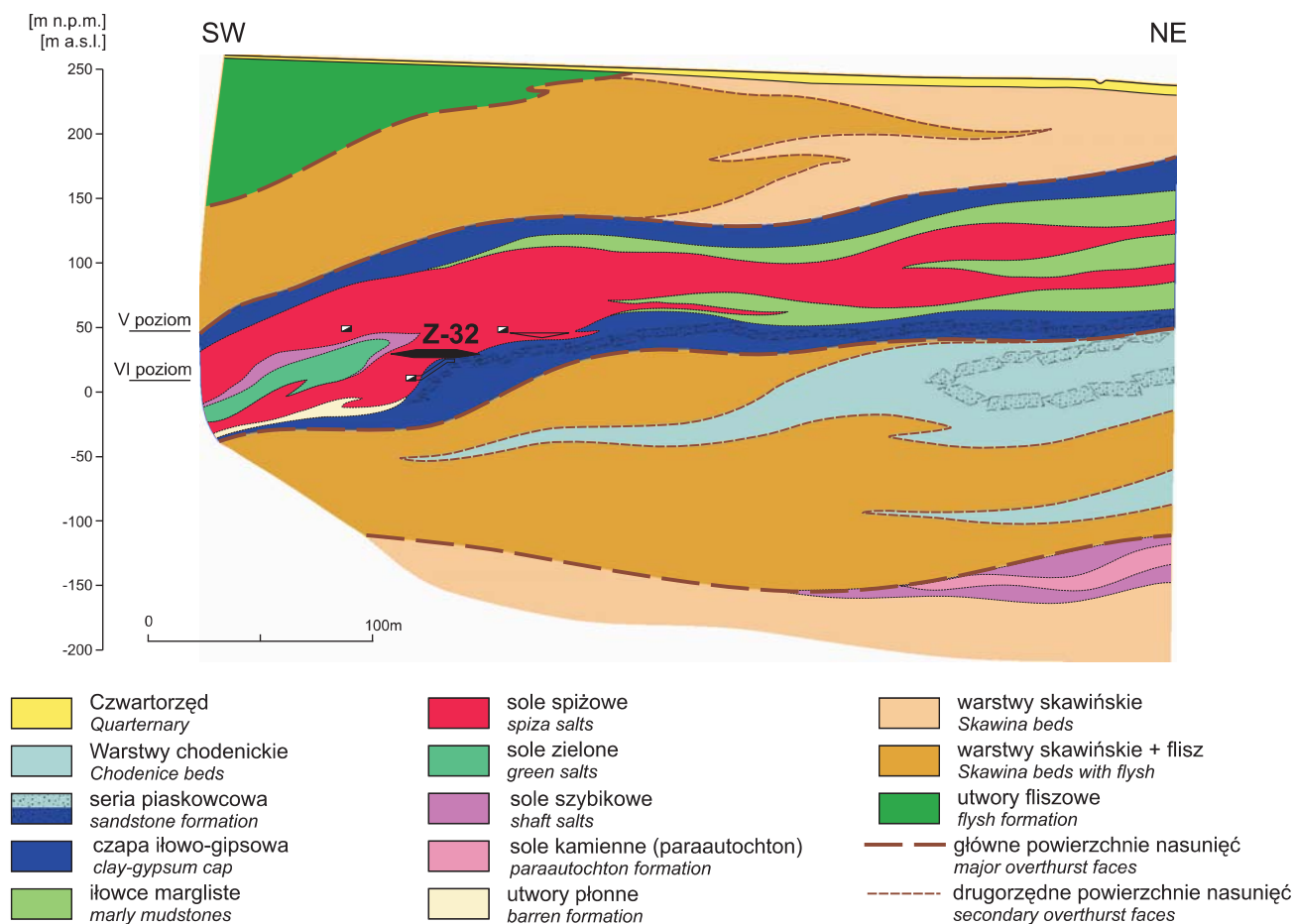


Fig. 1. Przekrój geologiczny przez złoże Wieliczka w rejonie komory Z-32 (wg Szybista, 2011)

Geological cross-section of Wieliczka salt deposit near the Z-32 chamber (after Szybista, 2011)

## WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

W rejonie kopalni soli Wieliczka zasadnicze znaczenie dla kształtowania warunków hydrogeologicznych mają utwory piętra paleogeńsko-neogeńskiego oraz czwartorzędowe piętro wodonośne.

Piętro czwartorzędowe jest zbudowane z piasków o różnym uziarnieniu oraz żwirów i rumoszków. Zwierciadło wód podziemnych w tych utworach zazwyczaj ma charakter swobodny, bardzo rzadko – lekko napięty.

Piętro trzeciorzędowe z najstarszym poziomem wodonośnym jest zbudowane z piaskowców, mułowców i spękanych iłowców marglistych warstw skawińskich. Utwory te tworzą zbiornik o charakterze porowo-szczelinowym z wodami pod ciśnieniem rzędu 3,8–4,0 MPa (Brudnik i in., 2010). Utwory serii siarczanowej są słabo zawodnione. Wody występujące w tych utworach mają charakter naporowy, a ich ciśnienie wynosi do 3,0 MPa. W obrębie warstw chodenickich dominują utwory słaboprzepuszczalne – iłowce i iłolupki, wśród których występują kruche piaskowce, a poniżej spękane warstwy piaskowca i zlustrowane iłowce. Stwierdzono także wyraźne strefy dyslokacyjne podkreślone obecnością skał o charakterze druzgotu. Wody w kompleksie warstw chodenickich mają charakter naporowy, a ich ciśnienie wynosi około 1,6 MPa (Brudnik i in., 2010).

Poziom wodonośny w obrębie warstw grabowieckich, wykształconych jako średnio i drobnoziarniste piaski, ma bezpośredni kontakt z występującymi na powierzchni i zasilanymi przez opady atmosferyczne utworami czwartorzędowymi.

## HISTORIA WYCIEKU W VI-32

Eksplorację ługowni komorowej Z-32 prowadzono w latach 1960–1962. Po tym okresie komora osiągnęła długość 96 m, szerokość 33 m oraz wysokość 6 m i miała w przekroju kształt odwróconego trójkąta ułożonego po upadzie złoża. W ostatniej fazie eksploatacji komory, chcąc zmienić jej kształt z trójkąta na trapez i zwiększyć współczynnik wykorzystania złoża, eksploatację prowadzono metodą natryskową. Działania te prawdopodobnie spowodowały likwidację warstwy soli oddzielającej utwory solne od serii siarczanowej oraz warstw wodonośnych, co doprowadziło do odsłonięcia w spągowej części komory utworów przepuszczalnych. Po zakończeniu eksploatacji komorę wyłączono z ruchu i pozostawiono bez podsadzenia. W 1966 roku stwierdzono w komorze wyciek, który w rejestrach kopalni oznaczono, jako WVI-32. Zuber (i in., 1998) wiąże powsta-

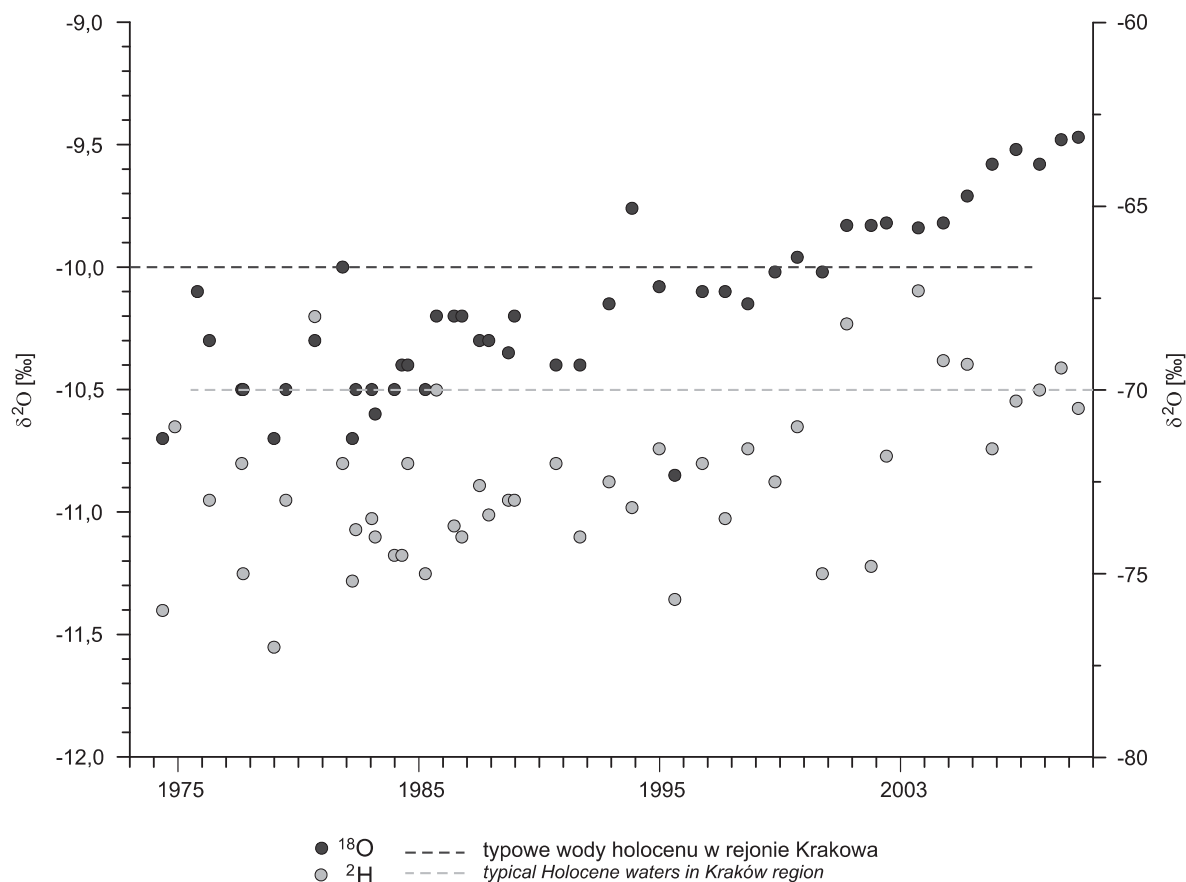


Fig. 2. Skład izotopowy tlenu i wodoru wód z wycieku W VI-32

Isotopic composition of oxygen and hydrogen in water from inflow W VI-32

nie tego wycieku z zawaleniem stropu jednej z komór na poziomie II kopalni. W tym czasie komora Z-32 także uległa częściowej destrukcji na skutek występowania obwałów wywołanych odprężaniem górotworu. W latach 1966–1973 solankę z wycieku odprowadzano za pomocą instalacji lewarowej, co powodowało ciągle zmiany poziomu lustra solanki, przepelnianie komory, powiększanie jej wymiarów w wyniku ługującego działania wycieku oraz nasilenie obwałów w komorze. W grudniu 1973 roku nastąpiło przeługowanie wycieku do pochylni komunikacyjnej usytuowanej na zachód od komory oraz samoczynne odwodnienie komory Z-32. W 1980 roku miało miejsce przeługowanie się wycieku do pochylni zachodniej. Wykonano wtedy prowizoryczne ujęcie w pochylni a następnie całość wycieku przejęto otwo-

rem drenującym odwierconym z podłużni Kosocice w kierunku dna rząpia w komorze Z-32. W latach 1980–1982 wprowadzono pochylnię kierunkową „pod wyciek”, a w latach 1982–1984 wykonano wyrobiska badawczo-odwadniające „za wyciekem” i ujęto wyciek w rzapiu. Taka sytuacja trwała do 1990 roku, kiedy rozpoczęto drażnienie pochylni kierunkowej w obudowie tubingowej pod dno rząpia ujmującego wyciek i wykonano przedwierty przy spągu pochylni tubingowej. Wyrobiska zostały zlikwidowane w latach 1992–93 po wykonaniu ujęcia wycieku pochylnią tubingową. W 2012 r. średni dopływ z tego wycieku wynosił 73,7 m<sup>3</sup>/d, co stanowiło 19% całkowitego dopływu do kopalni.

## SKŁAD IZOTOPOWY WÓD Z WYCIEKU W VI-32

### IZOTOPY STABILNE <sup>18</sup>O I <sup>2</sup>H

Badania składu izotopowego wód z wycieku W VI-32 prowadzone są regularnie od 1974 r. Początkowo wody te wykazywały skład zbliżony do typowych wód zasilanych w końcowym okresie ostatniego zlodowacenia i zawierały domieszkę współczesnych wód infiltracyjnych ( $\delta^{18}\text{O} = -10,7\text{‰}$ ;  $\delta^2\text{H} = -76\text{‰}$ ). W okresie 1974–2012 stwierdzono systematyczne zmiany  $\delta^{18}\text{O}$  i  $\delta^2\text{H}$  w kierunku wartości bardziej dodatnich. Ten efekt jest szczególnie wyraźny w przypadku <sup>18</sup>O (fig. 2). W 2012 r. wody z wycieku wykazywały skład izotopowy:  $\delta^{18}\text{O} = -9,47\text{‰}$ ;  $\delta^2\text{H} = -70,5\text{‰}$  (Różański i in., 2012).

### TRYT

W początkowym okresie istnienia wyciek zasilają wody, w których nie stwierdzano obecności trytu (poza jedną próbką z roku 1974). Pod koniec lat siedemdziesiątych XX wieku w wodzie z wycieku pojawił się tryt, którego stężenie rosło sukcesywnie aż do wartości przekraczających 30 TU w latach 1988–1990. Od tego czasu obserwuje się systema-

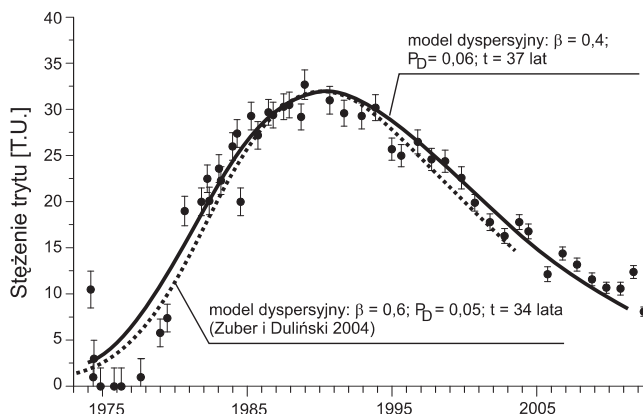


Fig. 3. Zmiany zawartości trytu w wodach z wycieku W VI-32

Changes in tritium content in water from inflow W VI-32

tyczny spadek stężenia trytu, do poziomu około 8 TU w 2012 roku (fig. 3).

## DYSKUSJA WYNIKÓW

Wyciek W VI-32 początkowo zawierał wodę o składzie izotopowym typowym dla wód zasilanych w końcowych stadiach ostatniego zlodowacenia. Nie zawierał trytu i wykazywał niskie stężenia <sup>14</sup>C, na poziomie  $1,3 \pm 1,0$  p.m.c. (Zuber i in., 1998). Wzrost zawartości trytu od 1978 r. był początkowo traktowany jako trudna do wyjaśnienia kontaminacja (Zuber, Duliński, 2004), ponieważ nie obserwowano w tym czasie wzrostu stężenia <sup>14</sup>C. Systematyczny wzrost stężenia trytu do wartości około 30 TU w latach 1987–1993

i późniejszy stopniowy spadek sugerują, że dopływająca woda zawiera składową współczesną, zasilaną po 1952 roku. Model przedstawiony przez Zuber (Zuber, Duliński, 2004) wskazuje, że udział wody młodej w całkowitym dopływie wynosi około 40%, przy czasie dopływu wynoszącym 34 lata (fig. 3). Brak jednak zadowalającego wyjaśnienia dużych stężeń trytu przy równoczesnym braku <sup>14</sup>C. Jedną z hipotez jest przedarcie się wody współczesnej poprzez drobno spękane margle. Oznaczałoby to, że woda zawierająca tryt

pochodzi z utworów czwartorzędowych i/lub warstw chodeńskich, a do komory Z-32 dopływa stosunkowo szybko przez margle. Na skutek wymiany dyfuzyjnej między wodą mobilną w szczelinach i wodą stagnacyjną w mikroporach margli, przepływ znaczników ulega opóźnieniu w stosunku do ruchu wody. W przypadku trytu opóźnienie to może być kilkudziesięciokrotne, a w przypadku  $^{14}\text{C}$  – nawet kilkusetkrotne (Małozewski, Zuber, 1991).

Szybki dopływ z utworów czwartorzędowych wydaje się mało prawdopodobny z uwagi na naporowy charakter wód występujących w obrębie warstw chodeńskich. Nie można wykluczyć przesączania wód z wyżej zlokalizowanych poziomów kopalni (na przykład pozostałości wód technolo-

gicznych stosowanych w przeszłości przy natryskowej eksploatacji niektórych komór).

Interpretacja zbioru wyników oznaczeń trytu obejmującego lata 1974–2012 przynosi nieco odmienne rezultaty niż pierwsza interpretacja Zuber i Dulińskiego. Według stanu na koniec 2012 r. udział składowej wód młodych określić należy na 60%  $[(1-\beta)\cdot 100]$ , a czas przepływu składowej trytowej wynosi ok. 37 lat (fig. 3). Takie wyniki świadczą o wyraźnym wzroście udziału wód młodych w wycieku W VI-32. Skład izotopowy tlenu i wodoru nie wyklucza takiej interpretacji. Woda z wycieku może posiadać dwie składowe o zbliżonych składach izotopowych.

## WNIOSKI

Analiza danych izotopowych pozwoliła na stwierdzenie, że wyciek WVI-32 zasilany jest wodami mieszanymi. Istotną komponentę (40–60%) stanowią wody młode zawierające tryt. Drugą składową stanowią wody holocenijskie niezawierające trytu. Proporcje mieszania tych składowych ulegają okresowym wahaniom. Nie można także wykluczyć znikomej komponenty wód o czasie przepływu krótszym niż jeden rok. Świadczyć to może o zmieniających się dyna-

micznie warunkach dopływu wód do wycieku W VI-32. Istnienie tego wycieku można ocenić jako poważne, a być może najpoważniejsze aktualne zagrożenie wodne w zachodnim rejonie kopalni.

*Praca powstała przy wsparciu finansowym ze środków MNiSW (11.11.140.026). Autorzy składają podziękowania dr. hab. inż. Markowi Dulińskiemu za pomoc przy interpretacji danych trytowych.*

## LITERATURA

- BRUDNIK K., CZOP M., MOTYKA J., d'OBYRN K., ROGOŹ M., WITCZAK S., 2010 — The complex hydrology of the unique Wieliczka salt mine. *Prz. Geol.*, **58**, 9/1: 787–796.
- GAWEŁ A., 1962 — Budowa złoża solnego Wieliczki. *Pr. Inst. Geol.*, **30**.
- MAŁOZEWSKI P., ZUBER A., 1991 — Influence of matrix diffusion and exchange reactions on radiocarbon ages in fissured carbonate aquifers. *Wat. Res. Res.*, **37**: 1937–1945.
- RÓŻAŃSKI K., KUC T., DULIŃSKI M., GORCZYCA Z., 2012 — Badania izotopowe prób wód z wycieków w kopalni soli w Wieliczce pobranych w roku 2012 wraz z interpretacją wyników. *Arch. Wydz. Fiz. i Inf. Stos. AGH w Krakowie*.
- SZYBIST A., 2011 — Aktualizacja obrazu budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych złoża Wieliczka dla potrzeb projektowania otworu piezometrycznego na północnym przedpolu kopalni soli Wieliczka. *Arch. KS Wieliczka*.
- ZUBER A., DULIŃSKI M.; 2004 — Badania izotopowe wód kopalnianych Wieliczki wykonane w latach 1973–2004 – Rezultaty i ich interpretacja. *Arch. Wydz. Fiz. i Inf. Stos. AGH w Krakowie*.
- ZUBER A., GRABCZAK J., GARLICKI A., 1998 — Catastrophic and dangerous inflows to salt mines in Poland as related to the origin of water determined by isotope methods. *Env. Geol.*, **39**, 3–4: 299–311.

## SUMMARY

Water inflow registered as W VI-32 appeared in 1966 at level VI of the Wieliczka salt main near an exploited chamber Z-32. Since 1974 tritium concentrations and stable isotopes ( $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$ ) were measured providing an opportunity to investigate changing conditions of inflow recharge. Observed changes in isotopic composition of water suggest

mixing of tritium free water recharged in Holocene with essential (40–60 %) component of contemporary waters containing tritium. Variable mixing proportions of these components suggest changeable and complicated conditions of water circulation in surrounding semipermeable deposits and sandstones within Chodence beds.

