

Bogumiła Winid*

**ZMIENNOŚĆ ZAWARTOŚCI JONÓW CHLORKOWYCH,
SIARCZANOWYCH I WSKAŹNIKA SIARCZANOWOŚCI
JAKO CZYNNIK OCENY ZAGROŻENIA WODNEGO
NA PRZYKŁADZIE KOPALNI SOLI „WIELICZKA”****

1. WSTĘP

Infiltracyjne dopływy z warstw otaczających złoża z uwagi na dużą rozpuszczalność minerałów ewaporatowych stanowią zagrożenie dla złóż solnych [2]. Przyczyną powstania dopływów są kontakty hydrauliczne, powstałe na skutek długotrwałej eksploatacji, jak ma to miejsce w przypadku Kopalni Soli „Wieliczka” [5]. Skład chemiczny wód uwarunkowany jest procesem zachodzącym na drodze przepływu, przede wszystkim intensywnością rozpuszczania halitu i minerałów siarczanowych otuliny złoża. Wśród ujmowanych wycieków występują wody o różnym stopniu zasolenia. Solanka w stanie bliskim nasycenia NaCl i w stanie nasyconym nie będzie rozpuszczać minerałów solnych. Dopływająca do złoża woda o niższym niż pełne nasycenie, a w szczególności woda słodka, musi być ujmowana i odprowadzana do systemu odwadniania kopalni w celu minimalizacji jej kontaktu z calizną solną. Ocenę sytuacji hydrogeologicznej złoża prowadzi się między innymi poprzez obserwację wszystkich przejawów wodnych.

Przedmiotem badań jest wydajność wycieków, chemizm, a także ich skład izotopowy, który określając wiek wody jako późniejszy niż wiek złoża, wskazuje na ich infiltracyjny charakter [7]. Przepływ przez otulinę gipsowo-iłową powoduje wzbogacenie w jony siarczanowe, a przez caliznę solną – w jony chlorkowe. Zmienność zawartości tych jonów i ich proporcje mogą dostarczać informacji na temat warunków rozługowania złoża na skutek danego dopływu.

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Praca zrealizowana w ramach badań statutowych 11.11.190.01

2. METODYKA BADANIA ZMIENNOŚCI

Podstawą badania zmienności parametrów chemicznych były wyniki analiz składu chemicznego dopływów kopalnianych wykonywane przez kopalnię z uwzględnieniem własnych opróbowań [6]. Zakres badań obejmował zawartość anionów SO_4^{2-} i Cl^- oraz wskaźnika siarczanowości $\frac{r\text{SO}_4^{2-} \cdot 100}{r\text{Cl}^-}$. Okres badań był różny dla poszczególnych wycieków

i niejednakowy dla poszczególnych jonów. Dla większości wycieków był to okres od końca lat 60. ubiegłego wieku do chwili obecnej. Skrócony czas obserwacji dla niektórych wycieków spowodowany był krótszym okresem trwania wycieku (niektóre wycieki zaniknęły same bądź zostały zlikwidowane). W wypadku niektórych wycieków zweryfikowano wcześniejsze wyniki z uwagi na nieprecyzyjne i mało dokładne dane. Interpretację zależności między parametrami przeprowadzono metodą graficzną i statystyczną. Zależności ustalone w oparciu o istotne statystycznie wartości współczynników korelacji były weryfikowane na podstawie przebiegów wykresów. Dla niektórych wykresów przeprowadzono aproksymację punktów metodą, która umożliwiała najdokładniejsze dopasowanie punktów do krzywej. Na podstawie analizy zawartości poszczególnych jonów w przedziałach czasowych badano również zależności między parametrami chemicznymi.

Przy analizie korelacji czasowych chemizmu wycieków uwzględniano podział wycieków na cztery grupy:

- 1) dopływy z północnej granicy złoża (z warstw chodenickich),
- 2) dopływy ze spągu złoża (z warstw skawińskich),
- 3) dopływy z nadkładu (z piętra czwartorzędowego),
- 4) wycieki krążące po złożu, których pochodzenie nie zawsze było wyjaśnione; mogą być to przecieki z poziomów wyższych dopływów o określonej genezie, dopływy ze starych zawodnionych zrobów lub krążąca po złożu solanka niesprecyzowanego pochodzenia.

3. ZMIENNOŚĆ ZAWARTOŚCI JONÓW SIARCZANOWYCH, CHLORKOWYCH I WSKAŹNIKA SIARCZANOWOŚCI

Powszechność występowania jonów chlorkowych i siarczanowych w wodach obecnych w złożu solnym jest spowodowana rozpuszczalnością występujących tam minerałów.

Wskaźnik siarczanowości $\frac{r\text{SO}_4^{2-} \cdot 100}{r\text{Cl}^-}$, który jest wykorzystywany przy ocenie warunków

utleniająco-redukcyjnych, a którego znaczenie w przypadku wycieków KS „Wieliczka” było tylko pomocnicze, może być wskaźnikiem określającym relacje między zawartością jonów chlorkowych i siarczanowych. W wyniku wysładzania wycieku następuje spadek zawartości jonów chlorkowych i siarczanowych, może to być spowodowane rozługowaniem halitu i minerałów siarczanowych, których na drodze przepływu będzie coraz mniej, lub na przykład powstaniem nowego kontaktu hydraulicznego, na skutek którego dopływająca woda nie będzie rozpuszczała calizny solnej w takim stopniu jak dotychczas. Zwiększenie zawartości jonów siarczanowych i chlorkowych świadczy o postępującym ługowaniu złoża, w warunkach zapewniających dalsze łatwe przechodzenie jonów SO_4^{2-} i Cl^- do roz-

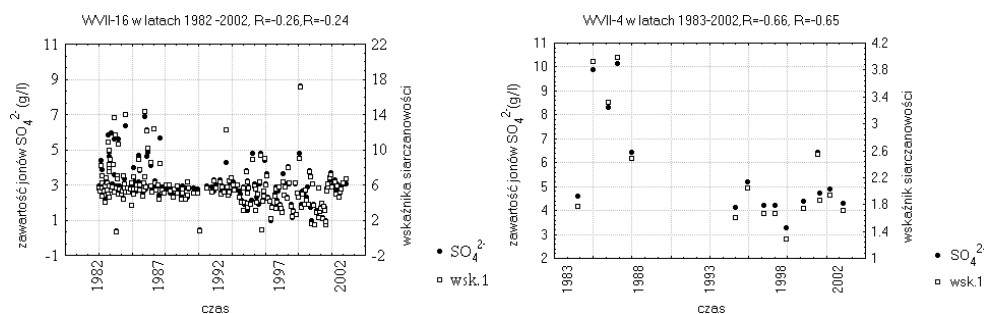
tworu, czyli wskazuje na stałą obecność halitu i minerałów siarczanowych na drodze przepływu. Może też być to wynikiem krążenia wody po rejonach jeszcze nie rozługowanych. Spadek wartości wskaźnika siarczanowości został uznany za sygnał ostrzegawczy przed zagrożeniem wodnym dla cechsztyńskich kopalń soli na Niziu Polskim [3]. Szczególnie dotyczyło to wycieków w strefach anhydrytowych. Znaczenie tego wskaźnika jest większe dla złóż cechsztyńskich niż dla mioceńskich, co związane jest z różnicami strukturalnymi i głębokością eksploatacji [3]. Z zależności badanych między współczynnikiem siarczanowości a zasoleniem wynika, że wartości wskaźnika siarczanowości dla wycieków o zasoleniu poniżej 35 g/dm^3 znacznie różnią się od pozostałych, natomiast te o zawartości NaCl między 35 g/dm^3 a 300 g/dm^3 mają podobne wartości jak te o zasoleniu powyżej 300 g/dm^3 . Daje to przesłanki potwierdzające wartość wskaźnika siarczanowości jako elementu zagrożenia wodnego (świadczącego o możliwości rozługowania złoża). Wartości wskaźnika siarczanowości powyżej 10 występują w wodach o niskim zasoleniu (których obecność świadczy o zagrożeniu wodnym), natomiast wartości z przedziału $1 \div 10$ mogą świadczyć, ale nie zawsze świadczą, o zagrożeniu wodnym, ponieważ wartości z tego przedziału mają też wycieki o pełnym zasoleniu. Natomiast nie stwierdzono wartości wskaźnika siarczanowości poniżej 1 w wyciekach nienasyconych (o zawartości NaCl $< 300 \text{ g/dm}^3$) [6].

Zależność zmienności danej cechy w przedziale czasowym może być opisana za pomocą współczynnika korelacji. Znak współczynnika korelacji informuje o kierunku korelacji, natomiast bezwzględna wartość – o sile związku. Korelacja ujemna występuje wtedy, gdy wzrostowi wartości jednej cechy odpowiada spadek średnich wartości drugiej cechy, natomiast dodatnia, jeżeli wzrost wartości jednej cechy odpowiada wzrostowi średnich wartości drugiej cechy [4]. Wartość ujemna współczynnika korelacji świadczy o malejącej tendencji, a dodatnia – o wzroście. Wartość bezwzględna natomiast wskazuje, jak silna jest ta korelacja. Biorąc pod uwagę trzy elementy: wartość wskaźnika siarczanowości, zawartość jonów siarczanowych i zawartość jonów chlorkowych badano współczynniki korelacji dla zmienności tych cech w czasie. Na rysunkach 1–12 zostały przedstawione zmienności parametrów chemicznych decydujące o przynależności wycieków do poszczególnych grup zgodnie z omówionym poniżej schematem. Dlatego dla większości z prezentowanych wycieków jest to zmienność wskaźnika siarczanowości i jonów siarczanowych, a dla niektórych – zmienność zawartości jonów siarczanowych i chlorkowych. Z uwagi na ograniczoną objętość artykułu na rysunkach przedstawiono tylko wybrane wycieki.

W zależności od wartości wskaźnika siarczanowości wyróżniono dwie grupy:

- I – o ujemnych wartościach współczynnika korelacji dla zmienności wskaźnika w badanym przedziale czasowym,
- II – o dodatnich wartościach współczynnika korelacji

Wycieki grupy I wykazują tendencję spadku wartości wskaźnika siarczanowości, grupy II – wzrostu wartości, natomiast wycieki, które znalazły się poza tymi dwoma klasami, charakteryzują się nieregularną zmiennością. W grupie tej mogłyby się również znaleźć przypadki dopływów o stałych wartościach współczynnika siarczanowości, ale graficzna analiza danych tego nie stwierdziła. Zmienność wskaźnika siarczanowości jest wynikiem zmiany proporcji między zawartością jonów siarczanowych i chlorkowych, która jest uwarunkowana reakcją rozpuszczania halitu (złoża) i minerałów solnych otuliny gipsowo-iłowej.



Rys. 1. Dopływy z N granicy złoża o parametrach $I=1$

W zależności od zawartości jonów siarczanowych wydzielono dwie podgrupy:

- 1 – o ujemnych wartościach współczynników korelacji dla zawartości jonów siarczanowych,
- 2 – o dodatnich wartościach współczynnika korelacji dla zawartości jonów siarczanowych.

Wycieki podgrupy 1 wykazują tendencję spadku zawartości jonów SO_4^{2-} , podgrupy 2 – wzrostu zawartości tych jonów, natomiast dla wycieków, które nie należą do żadnej z tych grup charakterystyczna jest nieregularna zmienność tych składników.

W zależności od zawartości jonów chlorkowych wyróżniono klasy:

- a – o ujemnych wartościach współczynnika korelacji dla zawartości jonów chlorkowych,
- b – o dodatnich wartości współczynnika korelacji dla zawartości jonów chlorkowych.

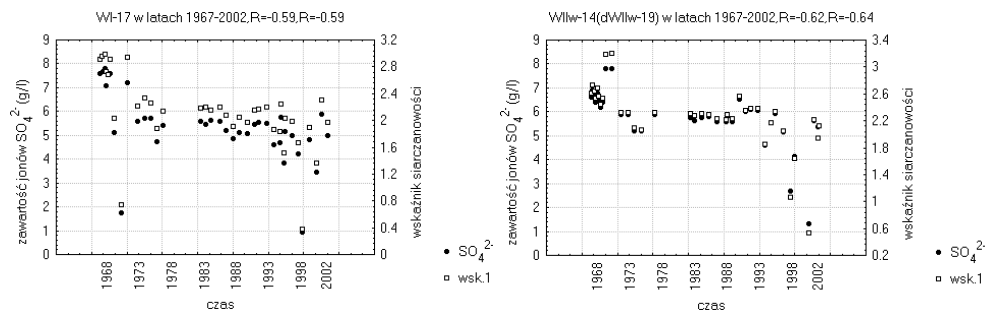
Dla wycieków klasy a zasolenie maleje, dla klasy b widoczna jest tendencja wzrostu zawartości jonów chlorkowych, natomiast dla pozostałych zawartość jonów ulega nieregularnym zmianom lub jest stała.

Wzajemne relacje między poszczególnymi grupami, podgrupami i klasami, badane na podstawie wartości współczynników korelacji dla poszczególnych elementów i relacji zachodzących między nimi, tworzą w rezultacie kilkanaście zbiorów. Wśród wycieków o współczynnikach korelacji istotnych statystycznie najliczniejszy zbiór stanowiły dopływy charakteryzujące się w badanych przedziałach czasowych ujemnymi wartościami współczynników (dlatego przy klasyfikacji wartości ujemne rozpoczynają grupy, podgrupy i klasy).

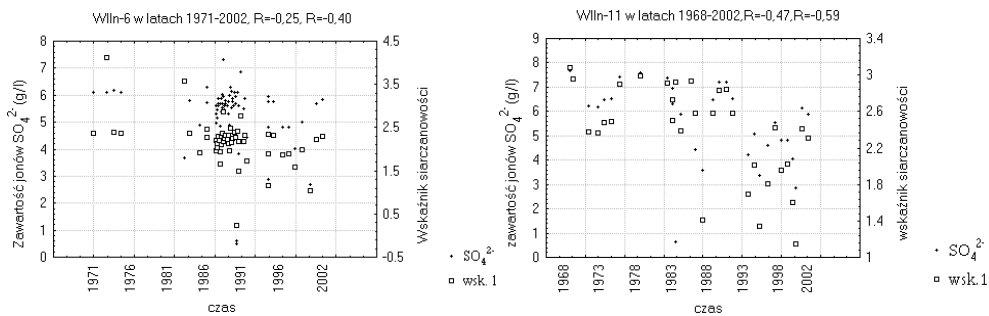
Wśród wycieków charakteryzujących się ujemnymi wartościami współczynników korelacji opisujących zmienność zawartości jonów siarczanowych i wskaźnika siarczanowości wyróżniono kilka zbiorów.

Najliczniejszy zbiór może być oznaczony jako $I \approx 1$ (na rysunkach oznaczany jako $I=1$), co oznacza, że wartości współczynnika korelacji obliczane dla zmienności wskaźnika siarczanowości i jonów siarczanowych są prawie równe. Dla tego zbioru zawartość jonów siarczanowych i wartości wskaźnika siarczanowości maleją (współczynniki korelacji mają wartości ujemne), współczynniki korelacji są właściwie takie same i brak jest istotnego statys-

tycznie współczynnika korelacji dla zawartości jonów chlorkowych. Jeżeli współczynniki osiągają podobną wartość, oznacza to, że zmienność rozpuszczania halitu nie ma większego wpływu na rozpuszczalność minerałów siarczanowych. Może to być związane z tym, że ilość rozpuszczonych jonów chlorkowych jest stała bądź ulega niewielkim zmianom, podczas gdy ilość jonów siarczanowych maleje. Halit jest łatwiej rozpuszczalny niż minerały siarczanowe, co świadczy o tym, że woda rozługowała strefę siarczanową bądź minerały siarczanowe w złożu solnym, natomiast jej nasycenie względem halitu jest stałe. Wśród wycieków, dla których zmienność parametrów chemicznych charakteryzowała się współczynnikami korelacji o wartościach istotnych statystycznie, największą grupę stanowiły wycieki o ujemnych i prawie równych wartościach współczynników korelacji dla wartości wskaźnika siarczanowości i zawartości jonów siarczanowych. Zmienność zawartości jonów siarczanowych i wskaźnika siarczanowości oraz współczynniki korelacji dla wybranych wycieków zostały przedstawione na rysunkach 1 i 2. Wskaźnik siarczanowości jest oznaczany jako wskaźnik 1. Są to dopływy z północnej granicy złoża (rys. 1), dopływy ze starych zawodzionych zrobów (rys. 2) i wycieki w złożu zlokalizowane w pobliżu komór ługowniczych. Są to wycieki z północnej granicy albo wycieki krążące po złożu. Nie ma w tej grupie wycieków z warstw podsolnych i z czwartorzędowego nadkładu złoża.



Rys. 2. Wycieki krążące po złożu o parametrach I=1

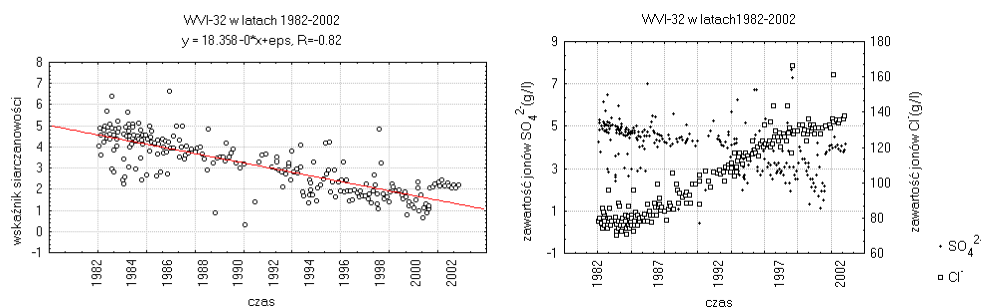


Rys. 3. Wycieki w złożu będące dopływami ze starych zrobów o parametrach I>1

Przedstawienie parametrów zbioru wycieków jako $I > 1$ oznacza, że zawartość jonów siarczanowych i wartości wskaźnika siarczanowości maleją (współczynniki korelacji mają wartości ujemne), ale współczynnik korelacji dla zawartości jonów siarczanowych ma wartość bezwzględną mniejszą niż dla wskaźnika siarczanowości. Jeżeli współczynnik korelacji ma bezwzględną wartość większą dla wskaźnika siarczanowości niż dla jonów siarczanowych, może to być wynikiem wzrastającej liczby jonów chlorkowych (potwierdzonej dodatnią wartością współczynnika korelacji zawartości jonów chlorkowych) przy jednoczesnej zmniejszającej się liczbie jonów siarczanowych. Może to nastąpić w sytuacji, gdy strefa siarczanowa została rozługowana i na skutek tego postępuje rozługowanie złoża solnego. Sytuacja taka z punktu widzenia zagrożenia wodnego wydaje się niebezpieczna.

Do zbioru, który może być opisany jako $I > 1$, należą wycieki: WIIIn-6, WIIIn-11 (rys. 3).

$I > 1b$ oznacza, że współczynnik korelacji dla zawartości jonów siarczanowych ma wartość bezwzględną mniejszą niż dla wskaźnika siarczanowości, jednocześnie współczynnik korelacji dla zawartości jonów chlorkowych ma wartość istotną statystycznie i dodatnią. Zależność będąca wynikiem wzrastającej liczby jonów chlorkowych, potwierdzona istotną wartością współczynnika korelacji o wartości dodatniej, może być przesłanką wzrostu zagrożenia wodnego. Zjawisko takie jest obserwowane dla wycieku WVI-32. Dla tego wycieku występuje istotna różnica w wartościach współczynników korelacji dla siarczanów $R = -0,48$ i dla wskaźnika siarczanowości $R = -0,82$ (rys. 4).

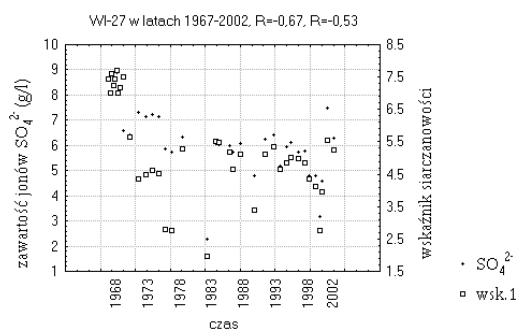


Rys. 4. Dopyływ zewnętrzny o parametrach $I > 1b$

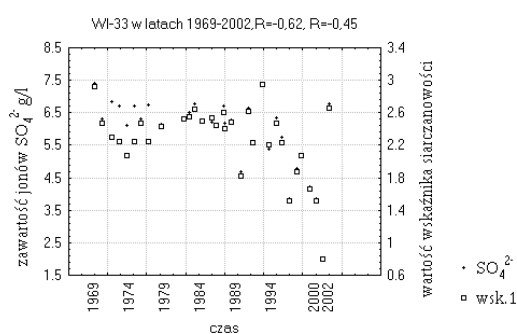
$I < 1$ oznacza, że współczynnik korelacji dla zawartości jonów siarczanowych ma bezwzględną wartość większą niż dla wskaźnika siarczanowości. Mniejsza wartość bezwzględna współczynnika korelacji dla wskaźnika siarczanowości niż dla jonów siarczanowych jest spowodowana zmiennością jonów chlorkowych mającą wpływ na wartość wskaźnika siarczanowości. Może to być wynikiem nieregularnej zmienności rozpuszczania minerałów halitu. Wycieki, dla których wartości bezwzględne współczynnika korelacji dla zawartości jonów siarczanowych są większe niż dla wartości wskaźników siarczanowości i nie stwierdzono istotnej wartości współczynnika korelacji dla zawartości jonów chlorkowych, podlegają procesowi nieregularnego rozpuszczania halitu podczas kiedy zawartość minerałów siarczanowych maleje (rys. 5).

$I < 1a$ oznacza, że współczynnik korelacji dla zawartości jonów siarczanowych ma bezwzględną wartość większą niż dla wskaźnika siarczanowości, jednocześnie współczynnik korelacji dla zawartości jonów chlorkowych ma wartości istotnie statystycznie i ujemne.

Jest to wywołane zmniejszeniem zawartości jonów chlorkowych przy jednoczesnym zmniejszaniu zawartości jonów siarczanowych. Wskazuje to na rozługowanie strefy dopływu. Cechy takie wykazuje wyciek WI-33 (rys. 6).



Rys. 5. Wyciek o parametrach I<1

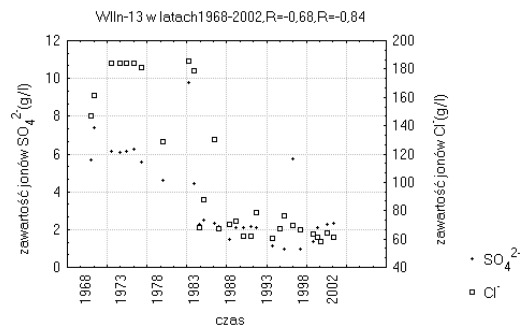


Rys. 6. Wyciek o parametrach I<1a

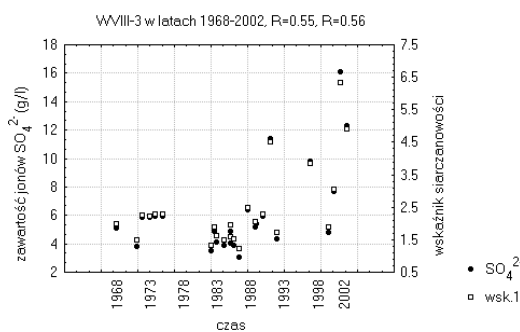
I_{1a} oznacza, że zawartość jonów siarczanowych maleje (współczynnik korelacji ujemny), a wskaźnik siarczanowości nie jest opisany istotną wartością współczynnika korelacji, jednocześnie współczynnik korelacji dla zawartości jonów chlorkowych ma wartości istotnie statystycznie i ujemne. Jest to, podobnie jak dla zbioru 1, wynikiem wpływu zmienności jonów chlorkowych, ale kierunek tych zmian to spadek zawartości jonów chlorkowych (rys. 7).

II_{2a} oznacza, że zmienność wskaźnika siarczanowości i zawartości jonów siarczanowych scharakteryzowana jest dodatnimi wartościami, a zmienność zawartości jonów chlorkowych – ujemnymi wartościami (rys. 8).

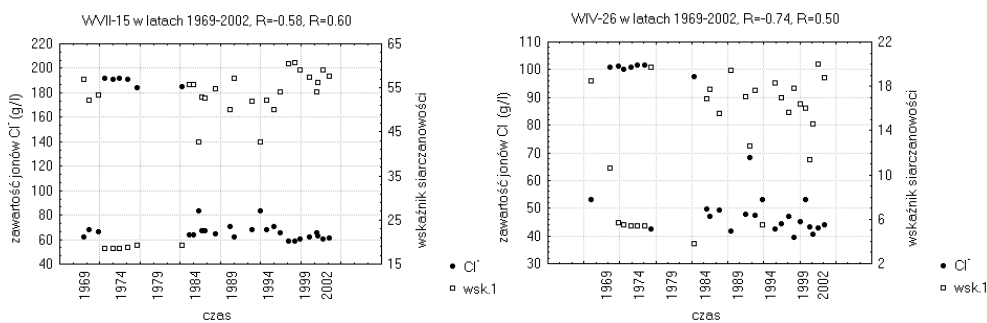
II_a oznacza, że zmienność wskaźnika siarczanowości opisana jest dodatnimi wartościami, a zmienność zawartości jonów chlorkowych – ujemnymi wartościami. Na wartość wskaźnika siarczanowości ma wpływ obniżająca się zawartość jonów chlorkowych. Zmienność jonów siarczanowych jest nieregularna. Takimi cechami charakteryzują się dopływy z warstw podsolnych (rys. 9).



Rys. 7. Wyciek o parametrach 1a

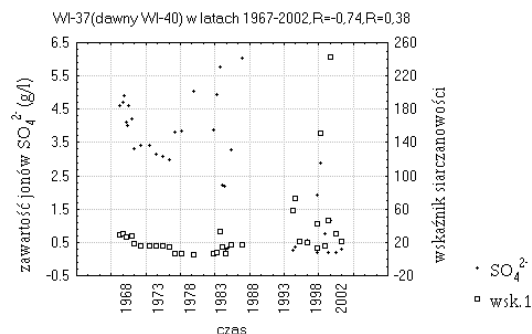


Rys. 8. Wyciek o parametrach II,2a



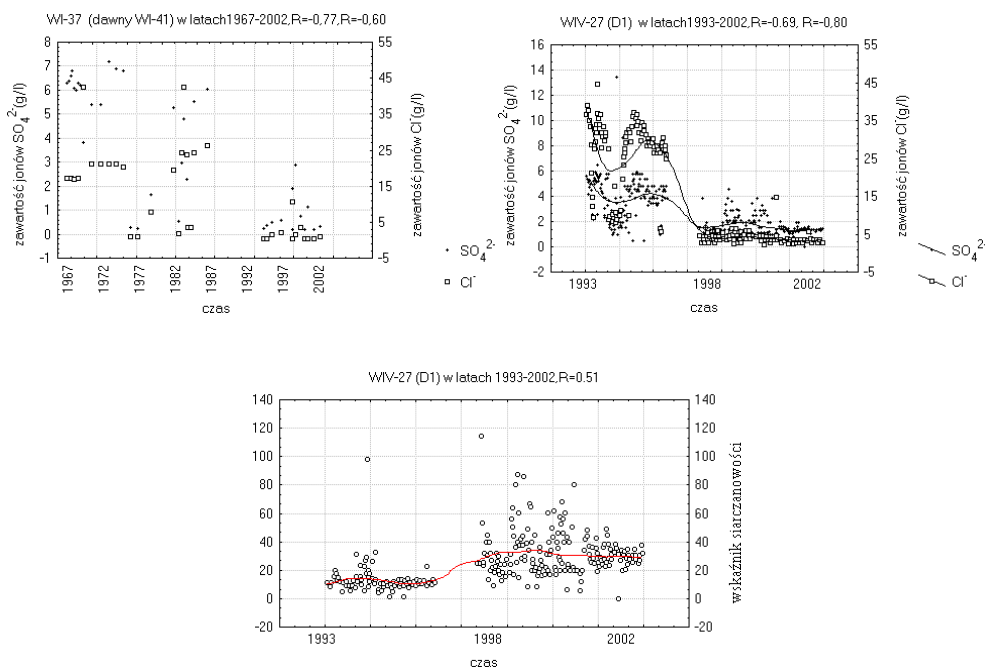
Rys. 9. Wycieki o parametrach IIa

II,1 oznacza, że zmienność wskaźnika siarczanowości scharakteryzowana jest dodatnimi wielkościami, a zawartości jonów siarczanowych – ujemnymi wartościami. Na wartość wskaźnika siarczanowości ma wpływ nieregularność wahań zawartości jonów chlorkowych. Do grupy tej należy tylko składowa wycieku WI-37 (dWI-40) (rys. 10).



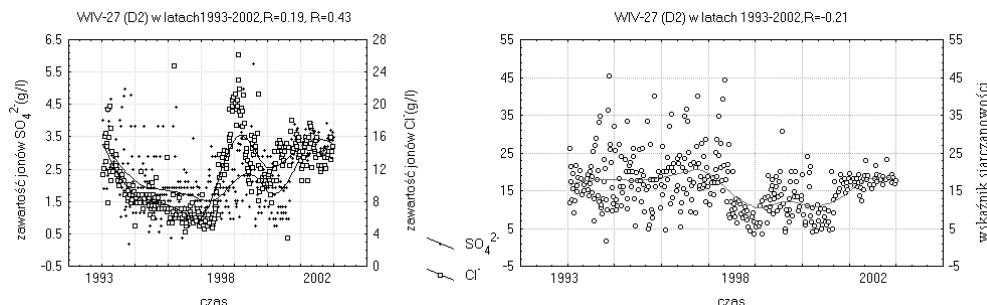
Rys. 10. Wyciek o parametrach II,1

II,1a oznacza, że zmienność wskaźnika siarczanowości scharakteryzowana jest dodatnimi wielkościami, a zawartości jonów siarczanowych i chlorkowych – ujemnymi wartościami. Na wartość wskaźnika siarczanowości ma wpływ spadek zawartości jonów chlorkowych, który jest większy niż spadek zawartości jonów siarczanowych (rys. 11).



Rys. 11. Wycieki o parametrach II,1a

I,2b oznacza spadek wartości wskaźnika siarczanowości, wzrost zawartości jonów chlorkowych i jonów siarczanowych. Na ujemną wartość wskaźnika siarczanowości ma wpływ wzrost zawartości jonów chlorkowych (rys. 12).



Rys. 12. Wyciek o parametrach I,1b

Przeprowadzając uogólnienie prawidłowości zachodzących w przedziałach czasowych, należy zaznaczyć, że:

- dla większości wycieków nie stwierdzono prawidłowości w zmianach parametrów związanych z jonami chlorkowymi i siarczanowymi;
- obserwowane zależności w większości przypadków dotyczą zewnętrznych dopływów do złoża;
- stwierdzone prawidłowości potwierdzone są współczynnikami korelacji, których wartości bezwzględne w większości przypadków należą do przedziału 0,50÷0,70.

Dlatego przedstawione prawidłowości mają charakter hipotezy, ale biorąc pod uwagę dostępność wyników i prostotę ich analizowania, mogą być wykorzystywane jako dodatkowe informacje przy klasyfikacji wycieków.

Na podstawie analizy przedstawionych zbiorów wycieków, analizowanych pod kątem zmienności parametrów, można zauważyć następujące prawidłowości:

- Dla wycieków dopływających z warstw podsolnych nie stwierdzono obniżania się wartości wskaźnika siarczanowości. Dopływy ze spągu złoża należą do grup: II,2, II,2a, IIa. Należy zaznaczyć, że wzrost zawartości jonów siarczanowych może być wynikiem dopływu solanki technologicznej. Dla niektórych oznaczeń przeprowadzonych dla wycieków WVI-18 i WVIII-3 stężenia jonów SO_4^{2-} przekraczały 10 g/dm^3 .
- Różnice wartości współczynników korelacji dla jonów siarczanowych i wskaźnika siarczanowości $\frac{r\text{SO}_4^{2-} \cdot 100}{r\text{Cl}^-}$, mogą wynikać z relacji między rozpuszczaniem minerałów siarczanowych i soli kamiennej.
- Jeżeli współczynniki korelacji zawartości jonów siarczanowych i wskaźnika siarczanowości osiągają podobną wartość, oznacza to, że zmienność rozpuszczania halitu nie ma większego wpływu na rozpuszczalność minerałów siarczanowych. Ponieważ halit jest łatwiej rozpuszczalny niż minerały siarczanowe, może to być spowodowane dopływem przez rozługowaną strefę siarczanową solanki o stałym nasyceniu względem halitu. Z punktu widzenia zagrożenia wodnego złoża świadczy to o pewnej stabilności w ługowaniu złoża. Stabilność ta dotyczy wycieków krążących po złożu (niektórych wycieków będących dopływami ze starych zrobów i wycieków z warstw chodenickich o wieku glacialnym).

- Grupa I<1 i I<1a charakteryzuje się większą zmiennością w rozpuszczaniu minerałów chlorkowych parametry chemiczne tych wycieków charakteryzują się nieregularną zmiennością. Wycieki I< 1 to dopływy w warstwach chodenickich (WVI-24), z czwartorzędu (WI-27) i prawdopodobnie ze starych zrobów (WIIw-5).
- Zmiany chemizmu, które mogą wskazywać na ługowanie calizny solnej poprzedzonej rozługowaniem strefy siarczanowej, mogą być opisane parametrami I>1b. Takie cechy ma wyciek WVI-32. Rozpuszczanie calizny solnej z równoczesnym procesem ługowania strefy siarczanowej może być opisane zależnością I,2b. Zjawisko to zostało stwierdzone dla WIV-27-D2.
- Zmiany wskaźnika siarczanowości, na które istotny wpływ ma nieregularna zmienność zawartości jonów chlorkowych, opisane zależnością I>1, mogą być przesłanką skomplikowanego reżimu hydrogeologicznego. Jeżeli dotyczy to wycieków zasilanych ze starych zawodnionych zrobów, może świadczyć o aktualnym dopływie do zrobów wody z poza złoża (WIIIn-6, WIIIn-11). Jest też wskaźnikiem większego w porównaniu do innych wycieków będących dopływami ze starych zrobów zagrożenia wodnego.
- Współczynniki korelacji dla wycieków będących dopływami z warstw podsolnych, różniące się od wartości dla pozostałych wycieków, mogą być wynikiem odmiennego w porównaniu z nadkładem i północną granicą złoża wykształcenia strefy siarczanowej bądź jej większego zróżnicowania.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Analiza zmienności zawartości jonów siarczanowych, chlorkowych i współczynnika siarczanowości jest istotna, bo dostarcza informacji na temat warunków rozługowania złoża i strefy siarczanowej i proporcji między minerałami solnymi i siarczanowymi.
2. Zmienność zawartości jonów chlorkowych i siarczanowych oraz wskaźnika siarczanowości może być przesłanką przy ocenie zmienności chemizmu wycieków kopalnianych.
3. Dla znacznej ilości wycieków nieregularność wahań zawartości jonów chlorkowych i siarczanowych uniemożliwia ilościowe opisanie tego zjawiska.
4. Relacje między współczynnikami korelacji opisującymi zmienność czasową zawartości jonów chlorkowych, siarczanowych i wskaźnika siarczanowości mogą obrazować hierarchię zachodzących procesów rozpuszczania złoża i w związku z tym być wykorzystane przy ocenie zagrożenia wodnego.
5. Interpretacja zmienności wskaźnika siarczanowości i zawartości jonów chlorkowych i siarczanowych nie jest do końca jednoznaczna, przestrzenne zróżnicowanie współczynnika wskazuje na większe jego wartości poza złożem i w jego strefach brzeżnych, natomiast malejący charakter wskaźnika siarczanowości biorąc pod uwagę obserwację reżimu hydrogeologicznego wycieku WVI-32 (typ rosnącego dynamicznie dopływu oraz WIIIn-6 (nagłe wzrosty dopływu w przeszłości) oraz doświadczenia z wysadowych złóż soli [2] mogą świadczyć o wzroście zagrożenia wodnego.
6. Przyczyną niejednoznaczności interpretacji może być nieznaną relacją między zmiennością wskaźnika siarczanowości w przedziale czasowym a jego wartością.

Autorka dziękuje zespołowi Działu Geologicznego KS „Wieliczka”: K. Brudnikowi, J. Steckiej i J. Przybyło, za pomoc udzieloną w trakcie realizacji badań.

LITERATURA

- [1] *Rejestr Wycieków Kopalnianych*. Arch. Dz. Geol., Wieliczka
- [2] Ślizowski K.: *Zagrożenie wodne w kopalniach soli*. Zeszyty Naukowe AGH, nr 1, 1980
- [3] Ślizowski K. *et al.*: *Kompleksowe badania cieczy i wycieków kopalnianych i wynikająca stąd ocena stopnia zagrożenia wodnego kopalni „Kłodawa”*. Kraków, IGPiBP AGH 1989 (praca niepublikowana)
- [4] Stanisław A.: *Przystępny kurs statystyki w oparciu o program Statistica*. Kraków, 1989
- [5] Wilk Z.: *Prawidłowości w natężeniu wypływów i jakości wód słonych w kopalni soli w Wieliczce*. Spraw. Pos. Kom. Nauk. PAN, O/Kraków, t. XXIV, cz. 1, 1982
- [6] Winid B.: *Wycieki solanek związane ze złożami soli kamiennej i znaczenie analizy ich parametrów w obserwacji warunków hydrogeologicznych na przykładzie Kopalni Soli Wieliczka*. Kraków, Wydział WNiG AGH 2003 (praca doktorska)
- [7] Zuber A., Duliński M.: *Badania izotopowe wód kopalnianych Wieliczki wykonane w latach 1973–2004: rezultaty i ich wyniki interpretacja*. 2004 (praca niepublikowana)