



Geologiczne i geochemiczne aspekty chłonności otworów wykorzystywanych do zatłaczania wód złożowych

*Aleksandra Lewkiewicz-Małysa, Bogumiła Winid
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków*

1. Wprowadzenie

Najbardziej efektywną metodą unieszkodliwiania wód złożowych jest ich zatłaczanie do głębokich struktur geologicznych. Ekonomicznie uzasadnione jest wykorzystanie do tego celu istniejących już otworów. Składowanie odpadów w górotworze regulują trzy podstawowe ustawy: Prawo ochrony środowiska (Dz. U. nr 62 poz. 627 z dnia 27.04.2001 wraz z późniejszymi zmianami, Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. Nr 27 poz. 96 z 4.02.1994 wraz z późniejszymi zmianami głównie zawartymi w ustawie (Dz. U. nr 90 poz. 758 z dnia 22.04.2005) oraz ustawa o swobodzie działalności gospodarczej (Dz. U. nr 173 poz. 1807 i Dz. U. nr 281 poz. 2777 z dnia 2.07.2004). Struktury geologiczne, do których możliwe jest zatłaczanie wód złożowych muszą spełniać odpowiednie warunki. Dotyczy to zarówno parametrów warstwy chłonnej takich jak: porowatość szczelinowatość, przewodność (przepuszczalność absolutna) jak i jej przestrzennej struktury. Zatłaczanie wód złożowych do górotwo-

ru powinno odbywać się w warunkach maksymalnej ochrony aktywnej biosfery i wód podziemnych. Odwiert przeznaczony do zatłaczania wód złożowych do górotworu musi spełniać: kryteria ekologiczne, geologiczne i techniczne.

2. Geologiczne kryteria wyboru warstw chłonnych

Zatłaczanie wód złożowych do górotworu możliwe jest, jeżeli są spełnione określone warunki geologiczne. Charakteryzują one dany układ przestrzenny skał pod kątem możliwości magazynowania wód złożowych oraz bezpiecznego (z punktu widzenia ochrony środowiska) procesu. O pojemności warstwy chłonnej decyduje jej dostatecznie duża miąższość, przepuszczalność, porowatość oraz rozprzestrzenienie. Niepożądana jest obecność utworów, które mogłyby pęcznić na skutek nawodnienia (iły), a także minerałów rozpuszczalnych. Miąższość nadległych utworów nieprzepuszczalnych musi zapewniać izolację utworów wodonośnych z uwzględnieniem zwiększonego ciśnienia wtłaczania. Istotna jest więc zarówno jej miąższość, brak przepuszczalności i ciągłość. Porowatość, szczelinowatość, kawernistość i przepuszczalność decydują o chłonności skał. Właściwości te można poprawiać stosując zabiegi kwasowania i szczelinowania. Warunki izolacji spełniają zamknięte struktury geologiczne.

Znaczna głębokość na jakiej występuje warstwa chłonna jest czynnikiem mającym wpływ na ochronę utworów występujących w jej rejonie, na przykład użytkowych poziomów wodonośnych. Dla minimalnych ilości ciekłych odpadów (10 000 m³/rok) wynosi ona 500 m i nie powinna przekraczać 2000 m [14].

Warstwa chłonna musi być utworem, który nie ma wartości surowcowej, dotyczy to zarówno litologii jak i jakości występującej tam wody, powinna zawierać tylko wodę niezdatną do użytkowania. Utwory nieprzepuszczalne (nadległe jak i spągowe) mają trwale uniemożliwić pionową migrację składowanych wód złożowych jak i zabezpieczać występujące w rejonie poziomy wodonośne wód użytkowych. Stąd też wykluczeniem są tereny aktywne sejsmicznie, a przeciwwskazaniem obecność uskoku o znacznym bądź nieznanym zasięgu.

Szczelność utworów nadkładu warstwy przepuszczalnej zapewnia jej odpowiednia miąższość i odpowiednio mała przepuszczalność (prak-

tycznie jej brak) – współczynnik filtracji pionowej wynosi $k' < 1 \cdot 10^{-11}$ m/s (przepuszczalność poniżej $1 \cdot 10^{-3}$ mD).

Czynnikami decydującymi o efektywnym zatłaczaniu cieczy odpadowych do warstw chłonnych jest ich: miąższość, porowatość, współczynnik przepuszczalności, współczynnik filtracji, chłonność i ciśnienie złożowe. Cechy te decydują o pojemności struktury chłonnej. Przykładowe parametry charakteryzujące formacje geologiczne, w których zaprojektowano otwory do zatłaczania przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry warstw wykorzystywanych do wtłaczania solanek do górotworu przykłady w USA i w Polsce [4, 6, 12]

Table 1. Parameters of layers used for injection of brine into orogenic belt, examples in the USA and Poland [4, 6, 12]

Lokalizacja, formacja	Głębokość [m]	Miaższość [m]	Porowatość [%]	Przepuszczalność [mD]
Minot North Dakota, wapień	1 830	91	15	60
Arkansas City, Kansas, dolomity	1 220	61	10	850
Clinton Oklahoma, piaskowce	2 316	61	18	75
Midland, Texas, piaskowce	1 646	79	14	100
Gallup, New Mexico piaskowce	1 950	64	20	105
Polska, Zapadlisko Przedkarpackie, piaskowce	964	10	19,5	52,2
Polska, Niż Polski, wapień	1 445	18	5,2	95,4

Zmiany wartości czynników wpływających na chłonność otworu można analizować na podstawie badań modelowych w warunkach laboratoryjnych. Badania symulacji obniżenia chłonności otworu dyskutowane w pracy [13] świadczą, że na obniżenie czy nawet w rezultacie zanik chłonności otworu wpływają takie czynniki geologiczne jak: niska klasa chłonności, niskie ciśnienie zatłaczania, niejednorodność formacji (warstwy) geologicznej, mała porowatość i przepuszczalność. Mała wydajność zatłaczania może być także spowodowana obniżeniem chłonności na skutek jakości wprowadzanej cieczy (wysokiej mineralizacji).

Na obniżenie chłonności otworu wpływają drobne cząstki znajdujące się w wtlaczanej cieczy. Mogą one osadzać się na ścianach odwiertu, bądź przemieszczać się w głąb warstwy chłonnej. Przepuszczalność kolektora może zostać obniżona na skutek grawitacyjnego osiadania cząstek lub/i ich adsorpcji na ścianach porów. Proces ten zależy od średniej wielkości ziaren, porowatości formacji geologicznej i jej niejednorodności. Wielkości te pozostają we wzajemnej relacji [10]:

$$d_g = 200 \sqrt{\frac{k}{n}} \quad (1)$$

gdzie:

d_g – rozmiar ziaren [μm],
 k – współczynnik przepuszczalności [mD],
 n – porowatość.

Obniżenie przepuszczalności przestrzeni chłonnej wynikające z osiadania drobnych cząstek w porach skał powoduje zmniejszenie porowatości, zwiększenie powierzchni i krętości (ośrodka porowatego) formacji chłonnej [15]. Można to wyrazić zależnością:

$$\frac{k}{k_0} = k_{dp} \cdot k_{ds} \cdot k_{dt} \quad (2)$$

gdzie:

k – przepuszczalność,
 k_0 – przepuszczalność początkowa (przed procesem wtlaczania cieczy do warstwy),
 k_{dp} – przepuszczalność obniżona w wyniku spadku porowatości,

k_{ds} – przepuszczalność obniżona w wyniku zwiększenia powierzchni,
 k_{dt} – przepuszczalność obniżona na skutek zwiększenia krętości.

$$k_{dp} = \frac{n^3(1-n_0^2)}{n_0^3(1-n^2)} \quad (3)$$

$$k_{ds} = \left(\frac{1 + \sigma / (1 - \phi_0)}{1 + \sigma / (1 - \phi_0) (d_g / d_p)} \right)^2 \quad (4)$$

$$k_{dt} = \frac{1}{1 + \beta\sigma} \quad (5)$$

gdzie:

n – porowatość,

σ – ilość osadzonych cząstek stałych do jednostki objętości, przez którą przemieszcza się zatłaczana woda,

d_g – rozmiar ziaren,

d_p – rozmiar porów,

β – współczynnik uszkodzenia.

Zanik chłonności będzie tym bardziej gwałtowny im mniejsza jest przepuszczalność warstwy, a także im mniejszy jest rozmiar ziaren.

Obniżenie przepuszczalności przestrzeni chłonnej wynikające z osiadania drobnych cząstek w porach skał powoduje zmniejszenie porowatości, zwiększenie powierzchni i krętości (ośrodka porowatego) formacji chłonnej [15].

Obniżenie chłonności wywołane osadzaniem drobnych cząstek przebiega szybciej w formacjach warstwowych (o różnej przepuszczalności) [13]. Najlepsze efekty można osiągnąć zatłaczając wody do utworów o wysokiej przepuszczalności ograniczonych warstwami praktycznie nieprzepuszczalnymi.

3. Chemiczne czynniki decydujące o chłonność odwiertu

Przy zatłaczaniu wód złożowych do górotworu należy liczyć się z możliwością wystąpienia niekorzystnego zjawiska kolmatacji ośrodka porowatego. Kolmatacja może być wywołana przez czynniki bezpośrednie, a więc zanieczyszczenia mechaniczne i chemiczne. Głównym skład-

nikiem przyczyniającym się do kolmatacji strefy przyodwiertowej są zawiesiny. Składają się one zarówno z materiału skalnego (iły, drobiny skalne, piasek, pyły, koloidalna krzemionka i inne zanieczyszczenia mechaniczne) jak i z tlenków i wodorotlenków metali (zwłaszcza żelaza i manganu) powstających i wytrącających się z roztworu pod wpływem zmian chemicznych i fizycznych, jakie zachodzą w trakcie eksploatacji złoża i magazynowania wód złożowych.

W szczególnym przypadku czynniki chemiczne mogą mieć biogeny charakter, gdyż spowodowane są działalnością drobnoustrojów, realizujących w zadanym środowisku swoje procesy życiowe, których efektem są metabolity o negatywnym wpływie na przepuszczalność strefy przyodwiertowej. Kolmatacja może nastąpić również na skutek innych procesów powodujących wytrącanie określonych substancji np. na skutek wzajemnego oddziaływania dwóch różnych solanek. Znaczenie więc ma możliwość eliminacji czynników kolmatogennych przez odpowiednie przygotowanie odpadowej cieczy.

Badania odpadowych wód złożowych, towarzyszących eksploatacji gazu ziemnego były podstawą oceny możliwości ewentualnej kolmatacji [7]. W przeprowadzonych badaniach w pierwszej kolejności usunięto widoczną makroskopowo zawiesinę, a następnie przeprowadzono usuwanie potencjalnie kolmatogennych składników: żelaza i manganu. Skład zawiesiny nie był jednorodny: dominujące bywały składniki skalne, pojawiły się również makroskopowo wyróżnialne osady pochodzenia chemicznego. Ogólnie występowały podwyższone, zróżnicowane zawartości żelaza w ilości od 90 do 2 800 mg $\text{Fe}_{\text{og.}}/\text{dm}^3$, manganu: 1,5÷9,0 mg Mn/dm^3 oraz jonów siarczanowych: 450,3÷1320,1 mg SO_4/dm^3 . Podane wyniki reprezentują pełne środowisko wód złożowych, tzn. sumaryczną wartość składnika niezależnie od formy jego występowania. W dalszych badaniach nastąpiło zróżnicowanie ze względu na stan fazowy. W pierwszej kolejności została wydzielona faza stała metodą sedymentacji wspomaganą procesem flokulacji: zastosowano Magnafloc 0,5% w dawce 1 cm^3/dm^3 wody złożowej. Po oddzieleniu fazy stałej wodę nadosadową zanalizowano ze względu na wybrane składniki o charakterze kolmatogennym: Fe i Mn. Ze względu na obecność biogenów dokonano wstępnej oceny stanu życia biologicznego poprzez liczbę komórek bakteryjnych wyhodowanych na podłożu MPA (w standardowych warunkach pomiaru). Niezależnie od pozbywania się zawiesiny obecnej pierwotnie

w wodzie złożowej – zbadano potencjalne możliwości dalszego (całkowitego) usunięcia żelaza i manganu. Metale te – niezależnie od części występującej w fazie stałej – były w dalszym ciągu obecne w roztworze, w postaci zdysocjowanej, głównie w formie Fe(II) i Mn(II). Przeprowadzone zostały badania nad możliwie maksymalnym (całkowitym) wydzieleniem z wody złożowej Fe i Mn, z wykorzystaniem szybkich i efektywnych metod chemicznych.

W ocenie stanu odpadowej wody złożowej, która podlegać ma zatłaczaniu – oprócz obecności kolmatogennej zawiesiny mineralnej o składzie reprezentatywnym dla środowiska skalnego – należy uwzględnić koloidalne osady pochodzenia chemicznego, w szczególnym przypadku: biochemicznego: zarówno te, które powstały pierwotnie w warunkach redukcyjnych złoża, jak również możliwe do wytrącenia przy zatłoczeniu w warstwy chłonne wody natlenionej. W wodach zawierających duże ilości żelaza, a zwłaszcza dobrze natlenionych – następuje wzmożone wytrącanie się koloidalnego osadu $\text{Fe}(\text{OH})_3$. W wodach nisko – i beztlenowych żelazo występuje jako Fe(II), zarówno w postaci związków mineralnych, jak i organicznych. Zwykle z żelazem współwystępuje mangan i ma zbliżony do niego charakter przemian biochemicznych. Efektem możliwych oddziaływań chemicznych i biochemicznych są produkty stałe w postaci wodorotlenków i uwodnionych tlenków tych metali.

Występujące powszechnie w wodzie siarczany, a zwłaszcza ich nierozpuszczalna postać: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (gips) – są skutkiem pełnego obiegu siarki w przyrodzie w którym uczestniczą bakterie siarkowe. W warunkach beztlenowych siarczany mogą być biologicznie zredukowane do H_2S , który chemicznie przeprowadza zdysocjowane formy metali w koloidalne osady ich siarczków (w tym FeS_2). Przy dostępie tlenu siarkowodór może być bakteryjnie utleniony do kwasu siarkowego(VI) włącznie, pośrednim etapem bywa siarka koloidalna [2, 5].

4. Reakcje zachodzące pomiędzy zatłaczaną wodą a wodą złożową oraz skałą zbiornikową

Zatłoczenie do górotworu odpadowej wody złożowej spowoduje naruszenie panującej tam równowagi tworzonej przez naturalne warunki geochemiczne panujące w złożu.. Pod wpływem kontaktu wody zatłaczanej z górotworem może dochodzić do procesów rozpuszczania niektó-

rych minerałów matrycy skalnej jak i wytracania się minerałów z zatłaczanego medium. Proces reakcji wody z matrycą skalną można badać w aspekcie:

- możliwości wytracania określanych minerałów w zatłaczanej cieczy, określając jej stan równowagi fazowej względem poszczególnych minerałów,
- możliwości rozpuszczania poszczególnych minerałów występujących w danym środowisku skalnym w kontakcie z badanym roztworem.

Możliwości wytracania minerałów wody złożowej badano za pomocą modelowania hydrogeochemicznego wykorzystując program PHREEQC [9]. Program ten na podstawie analizy fizykochemicznej, uwzględniając prawa chemii i termodynamiki umożliwia ocenę stanu równowagi składu chemicznego wód podziemnych. Przeprowadzone w ramach programu działania opisują oddziaływanie w wieloskładnikowym układzie woda – faza stała – faza gazowa i pozwalają obliczać formy migracyjne składników roztworu wodnego (specjacje) oraz wskaźnik nasycenia roztworu względem określonych faz mineralnych [1]. Program jest stosowany do modelowania reakcji zachodzących zarówno podczas naturalnych procesów jak i sztucznych zabiegów z udziałem wód o podwyższonej sile jonowej. Może być to na przykład zmiana składu mineralnego strefy zatłaczania solanki do głębokich struktur wodonośnych na skutek wytrącania się określonych minerałów, która w rezultacie wpływa na chłonność danego otworu [11]. Za pomocą programu można obliczyć objętość powstających aktualnie w zamkniętych basenach złóż ewaporatów [17] i zmiany składu solanek basenów sedimentacyjnych na skutek procesów takich jak: dolomityzacja, procesy mieszania i wytrącanie się określonych minerałów [3, 16].

Stan równowagi z danym minerałem występuje, jeżeli wskaźnik nasycenia danym minerałem osiągnie wartość bliską zeru [8].

$$SI = \log(IAP/KT) = 0 \pm 0,05 \log(KT) > 0$$

gdzie:

IAP – iloczyn aktywności składników w roztworze

KT – stała równowagi odpowiadająca iloczynowi aktywności składników w stanie równowagowym.

Stan przesylenia danym minerałem oznacza, że $SI > 0 + 0,05 \log(KT)$.

Stan bliski nasycenia określa $SI = \pm \log(KT)$.

Stan nie dosycenia danym minerałem występuje, jeżeli $SI < 0 = 0,05 \log(KT)$.

W wyniku modelowania stwierdzono, że w wodzie złożowej występuje stan przesylenia następującymi minerałami: aragonit, kalcyt, dolomit, syderyt, natomiast stan bliski nasycenia minerałami: anhydryt gips i rodochrozyt (tabela 2). Można więc stwierdzić, że minerały te jeżeli będą występować w skałach warstw chłonnych nie będą się rozpuszczać, natomiast mogą się wytracać.

Tabela 2. Wartości decydujące o stanie równowagi fazowej dla minerałów węglanowych przy pH = 7,04

Table 2. Values deciding on phase equilibrium state for carbonate minerals at pH = 7.04

Minerał	Minerał	SI	log KT	0,05 log KT
Anhydryt	CaSO ₄	-0,01	-4,43	-0,217
Aragonit	CaCO ₃	1,00	-8,28	-0,414
Kalcyt	CaCO ₃	1,15	-8,43	-0,422
Dolomit	CaMg(CO ₃) ₂	2,05	-16,86	-0,843
Gips	CaSO ₄ ·2H ₂ O	0,11	-4,58	-0,229
Rodochrozyt	MnCO ₃	-0,50	-11,60	-0,580
Syderyt	FeCO ₃	1,02	-10,83	-0,542

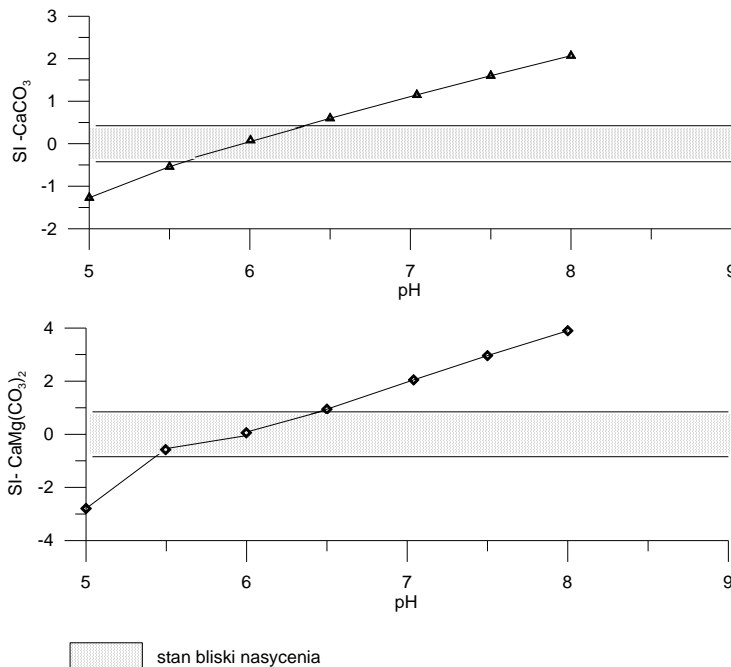
5. Reakcje zachodzące pod wpływem tlenu rozpuszczonego w zatłaczanej wodzie oraz zmianie pH

Procesy związane z zatłoczeniem wód złożowych do górotworu wpływają na zmiany ciśnienia, temperatury, potencjału elektrochemicznego i pH. Obecne w wodzie złożowej jony metali, a zwłaszcza żelaza i manganu należą do grupy substancji mających wpływ na stan odwiertu chłonnego. Metale te występują w wodach podziemnych w formie zredukowanej. Dodatek różnych substancji chemicznych powoduje, że jony te mogą tworzyć zawiesiny i roztwory koloidalne, bądź w formie jonowej brać udział w skomplikowanych procesach zachodzących w złożu. Przykładem może być Fe²⁺, które w wyniku reakcji utleniania może wytrącać się w wodzie, jako Fe(OH)₃. W warunkach strefy przyodwiertowej powodując jej kolmatację.

Stężenie jonów wodorowych wywiera silny wpływ na wzrost i rozmnażanie się mikroorganizmów. Większość bakterii rozwija się przy pH 4÷9, przy czym optymalny dla większości bakterii wodnych odczyn mieści się w granicach 6,5÷8,5. Większe odchylenie od optymalnego stężenia wywołują zmiany fizjologiczne, a nawet morfologiczne mikroorganizmów. Odczyn zasadowy mają bardzo zmineralizowane solanki w tym również towarzyszące złożom ropy naftowej.

Wzrost zasadowości jest z kolei czynnikiem, który obok wzrostu temperatury wpływa na obecne w zatłaczanej wodzie złożowej jony węglanowe i wodorowęglanowe. Aniony te w połączeniu z dużą zawartością wapnia mogą w pewnych warunkach powodować wytrącanie się osadów trudno rozpuszczalnego węglanu wapnia lub brać udział w procesach zachodzących w złożu.

Wyniki modelowania hydrogeochemicznego przy zmiennym pH zamieszczono w tabeli 3 oraz na rysunkach 1 i 2.

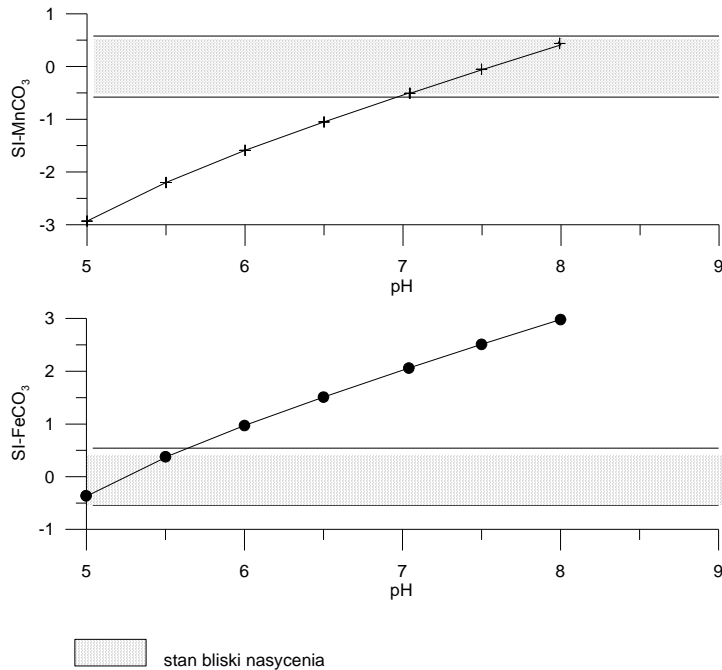


Rys. 1. Stan równowagi fazowej dla kalcytu i dolomitu w zależności od pH
Fig. 1. Phase equilibrium state for calcite and dolomite depending on pH

Tabela 3. Wartości decydujące o stanie równowagi fazowej dla minerałów węglanowych przy zmiennym pH

Table 3. Values deciding on phase equilibrium state for carbonate minerals at variable pH

pH	Minerał	SI	log KT	0,05 log KT
8,0	CaCO ₃	2,07	-8,43	-0,4215
8,0	CaMg(CO ₃) ₂	3,90	-16,86	-0,843
8,0	MnCO ₃	0,42	-11,60	-0,580
8,0	FeCO ₃	2,98	-10,83	-0,5415
7,5	CaCO ₃	1,60	-8,43	-0,4215
7,5	CaMg(CO ₃) ₂	2,96	-16,86	-0,843
7,5	MnCO ₃	-0,05	-11,60	-0,580
7,5	FeCO ₃	2,51	-10,83	-0,5415
7,04	CaCO ₃	1,15	-8,43	-0,4215
7,04	CaMg(CO ₃) ₂	2,05	-16,86	-0,843
7,04	MnCO ₃	-0,50	-11,60	-0,580
7,04	FeCO ₃	2,06	-10,83	-0,5415
6,5	CaCO ₃	0,60	-8,43	-0,4215
6,5	CaMg(CO ₃) ₂	0,95	-16,86	-0,843
6,5	MnCO ₃	-1,05	-11,60	-0,580
6,5	FeCO ₃	1,51	-10,83	-0,5415
6,0	CaCO ₃	0,06	-8,43	-0,4215
6,0	CaMg(CO ₃) ₂	-0,013	-16,86	-0,843
6,0	MnCO ₃	-1,59	-11,60	-0,580
6,0	FeCO ₃	0,97	-10,83	-0,5415
5,5	CaCO ₃	-0,54	-8,43	-0,4215
5,5	CaMg(CO ₃) ₂	-1,34	-16,86	-0,843
5,5	MnCO ₃	-2,20	-11,60	-0,580
5,5	FeCO ₃	0,37	-10,83	-0,5415
5,0	CaCO ₃	-1,27	-8,43	-0,4215
5,0	CaMg(CO ₃) ₂	-2,79	-16,86	-0,843
5,0	MnCO ₃	-2,93	-11,60	-0,580
5,0	FeCO ₃	-0,36	-10,83	-0,5415



Rys. 2. Stan równowagi fazowej dla rodochrozytu i syderytu w zależności od pH
Fig. 2. Phase equilibrium state for rodochrosite i siderite depending on pH

Jak widać z przedstawionych w tabeli 2 i na rysunkach 1 oraz 2 wyników w warunkach rzeczywistych badanej wody złożowej (pH = 7,04) występuje w niej stan przesylenia minerałami węglanowym takimi jak: kalcyt, dolomit, syderyt i stan bliski nasycenia dla rodochrozytu. Obniżając wartość pH zmniejsza się wartość SI, ale dopiero przy obniżeniu pH do wartości poniżej 5,5 woda osiąga stan niedosycenia minerałami węglanowymi takimi jak: kalcyt i dolomit tzn. nie będą się one wytrącać. Można to interpretować, jako brak zagrożenia kolmatacją ze strony wytrącania minerałów węglanowych.

6. Podsumowanie

Zatłaczanie wód złożowych do górotworu jest możliwe jeżeli są spełnione określone warunki geologiczne i środowiskowe. Najlepsze efekty można osiągnąć zatłaczając wody do utworów o wysokiej przepuszczalności ograniczonych warstwami praktycznie nieprzepuszczal-

nymi. Obniżenie czy nawet w rezultacie zanik chłonności otworu powodują takie czynniki geologiczne jak: mała porowatość, niska przepuszczalność oraz niejednorodność formacji geologicznej, a także obecność drobnych cząstek w zatłaczanej cieczy i jej skład chemiczny.

Wody złożowe przed zatłoczeniem ich w nieproduktywne warstwy chłonne powinny być oczyszczone z tych składników, które stwarzają ryzyko kolmatacji górotworu. Obecne w odpadowej wodzie złożowej zawiesiny mogą być szybko i skutecznie usunięte metodą sedymentacji przy zastosowaniu odpowiednio dobranego flokulanta. Usuwanie żelaza i manganu do pewnego zakresu stężeń przebiega stosunkowo łatwo, natomiast resztkowych ilości staje się coraz trudniejsze i może wymagać zastosowania silniejszych niż powietrze utleniaczy.

Procesy zachodzące podczas zatłaczania wód złożowych (solanek) do górotworu ograniczające jego chłonność mogą być wynikiem reakcji woda – skała. Pod wpływem kontaktu wody zatłaczanej z górotworem może dochodzić do procesów rozpuszczania niektórych minerałów matrycy skalnej jak i wytracania się minerałów z zatłaczanego medium. Procesy te determinowane są szeregiem czynników fizycznych i chemicznych. Decydują o tym głównie temperatura, stężenie jonów wodorowych – pH, potencjał utleniająco-redukcyjny – Eh, zawiesina, żelazo, mangan, siarczany, azot, zasolenie, zawartość tlenu i siarkowodoru.

Praca zrealizowana w ramach badań statutowych

Literatura

1. **Appelo C.A.J., Postma D.:** *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. A.A.Balkema. Rotterdam 1994.
2. **Bader M.S.H.:** *Sulfate scale problems in oil fields water injection operations*. Desalination, v. 201, 100÷105. 2006.
3. **Bein A., Dutton A.:** *Origin, distribution, and movement of brine in the Permian Basin (U.S.A.): A model for displacement of connate brine*. Geological Society of America Bulletin, v. 105, p 695÷707. 1994.
4. **Kharaka Y.K., Ambats G., Thordsen J.J.:** *Deep well injection of brine from Paradox Valley, Colorado: Potential major precipitation problems remediated by nanofiltration*. Water Resourced Research, v. 33, no 5, 1013÷1020. 1997.

5. **Kaleta J., Puskarewicz A., Papciak D.:** *Removal of iron, manganese and nitrogen compounds from underground waters with diverse physical and chemical characteristics.* Environment Protection Engineering, v. 33, 3, 3÷15. 2007.
6. **LeGros P.G. et al.:** *System Analysis of Brine Disposal From Reverse Osmosis Plants.* Office of Saline Water R&D report No 587. 1970.
7. **Lewkiewicz-Małysa A., Konopka E.:** *Ochrona naturalnych właściwości zbiornikowych górotworu jako składowiska odpadowych wód złożowych.* Górnictwo i Geoinżynieria, Rok 33, z 4 str. 177÷188. 2009.
8. **Paces T.:** *Chemical characteristic and equilibration in natural water-felsic rock-CO₂ System.* Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 37, 217÷240. 1972.
9. **Parkhurst D.L., Appelo C.A.J.:** *User's guide to PHREEQC (Version 2) a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations.* Water-Resources Investigations Report 99÷4259. 1999.
10. **Pearson J.R.A., Zazovsky A.F.:** *A model for the Transport of Sand Grains from a Perforation during Unbearable Surge, SPE 38634.* Proceeding of the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, TX 5÷8 October 1997.
11. **Rosenbauer R.J., Bischoff J.L., Kharaka Y.K.:** *Geochemical effects of deep-well injection of the Paradox Valley brine into Paleozoic carbonate rocks, Colorado, U.S.A.* Applied Geochemistry, v.7, p.273÷286. 1992.
12. **Rogoż M.:** *Geologiczne i środowiskowe uwarunkowania wtłaczania cieczy do górotworu.* Przegląd Górniczy t. 48 nr 10, 1÷6. 1992.
13. **Saripalli K.P., Dharma M.M., Bryant S.L.:** *Modeling injection well performance during deep-well injection of liquid wastes.* Journal of Hydrology v. 227, 41÷55. 2000.
14. **Ślizowski K.:** *Hydrogeologiczne i górnicze kryteria składowania ciekłych odpadów niebezpiecznych w głębokich strukturach przepuszczalnych.* Technika Poszukiwań Geologicznych nr 1÷2, 29÷36. 2002.
15. **Wennberg K.E., Sharma M.M.:** *Determination of the Filtration Coefficient and the Transition Time for Water Injection Wells.* Paper SPE38181 presented at the 1997 SPE European Formation Damage Conference, The Hague, The Netherlands. 1997.
16. **Williams-Stround Sh.C.:** *Solution to the paradox? Results of some chemical equilibrium and mass balance calculations applied to the paradox basin evaporite deposit.* American Journal of Science, v. 294, p. 1189÷1228. 1994.
17. **Wood W.W., Sanford W.E.:** *Ground-Water Control of Evaporite Deposition.* Economic Geology v. 85, p. 1226÷1235. 1990.

Geological and Geochemical Aspects of Wells Used for Underground Injection of Formation Waters

Abstract

The most efficient way of neutralizing formation waters is injecting them to deep geological structures. Geological structures that are suitable for injection with formation waters must meet conditions that assure environmental protection and waters storage properties. The suitable capacity of the injection layer is related to its porosities, fissuring, effective permeability and to spatial structure of the geological layer. Factors determining the capacity of injection wells used for underground storage are discussed in the article. Geological conditions which meet the environmental requirements for using the formation for an injection well are also discussed. Processes taking place during injection of reservoir water are determined by a number of physical and chemical factors. Injection of reservoir waste water to the rock mass disturbs the existing balance there. The contact between injected water and the rock mass may trigger out dissolving some minerals of the rock matrix and precipitation of minerals from the injected medium. The study was focused on reservoir waste water accompanying natural gas exploitation. The possible precipitation of minerals was investigated with the use of a hydrogeochemical model and software PHREEQC. The modeling revealed that the reservoir water was oversaturated with: aragonite, calcite, dolomite, rhodochrosite, siderite; close to saturation with: anhydrite and gypsum. Accordingly, if these minerals occurred in absorptive strata, they would not dissolve, though they could precipitate. The geochemical balance was investigated for various pH. By lowering the pH value decreases the value of the SI but only at lower pH values below 5.5 the water water gets undersaturated with carbonate minerals, which will not precipitate. This can be interpreted as a lack of colmatation threat on the part of carbonate minerals.

