

RADOSŁAW TARKOWSKI*, JERZY STOPA**

Szczelność struktury geologicznej przeznaczonej do podziemnego składowania dwutlenku węgla

Słowa kluczowe

Szczelność geologiczna, szczelność techniczna, podziemne składowanie CO₂, podziemne magazyny gazu

Streszczenie

Omówiono znaczenie szczelności obiektów – struktur geologicznych w złożach węglowodorów i w głębokich poziomach wodonośnych przeznaczonych do podziemnego składowania dwutlenku węgla. Scharakteryzowano szczelność geologiczną i techniczną tego typu obiektów, zdefiniowano podstawowe pojęcia w tym zakresie. Odwołano się do polskich doświadczeń w zakresie szczelności podziemnych magazynów gazu ziemnego oraz przemysłowych realizacji technologii sekwestracji gazów kwaśnych w Polsce.

Wprowadzenie

Podstawowym wymogiem obiektów – struktur geologicznych w wyeksploatowanych złożach węglowodorów oraz w głębokich poziomach wodonośnych przeznaczonych do podziemnego składowania CO₂ jest ich szczelność (Tarkowski 2005; Tarkowski i Uliasz-Misiak 2005a). Szczelność struktury/obiektu powinna zapewniać brak znaczących ubytków składowanego gazu. Powinna być ona zagwarantowana w momencie wyboru struktury na podziemne składowisko CO₂, w czasie zatłaczania jak również długo po jego zakończeniu. Powinna ona

* Dr hab. inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;
e-mail: tarkowski@min-pan.krakow.pl

** Dr hab. inż., Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków;
e-mail: stopa@agh.edu.pl

być również systematycznie badana i monitorowana przez służby techniczne w trakcie zatłaczania CO₂ oraz po jego zakończeniu (Reinisch 2000; Tarkowski i Uliasz-Misiak 2005a, b).

Celem artykułu jest przedstawienie problemu szczelności geologicznej i technicznej struktur geologicznych i obiektów przeznaczonych na podziemne składowiska CO₂. Przedstawiono definicje: podziemnego składowania CO₂, struktury geologicznej przeznaczonej na podziemne składowisko CO₂, nadkładu izolującego składowisko, szczelności geologicznej i technicznej obiektu przeznaczonego na podziemne składowiska CO₂, składowiska CO₂.

1. Podstawowe definicje

Podziemne składowanie CO₂ (ang. CCS – *Carbon Capture and Sequestration*) – całościowy kształt działań (wychwytywanie, transport, zatłaczanie do złoża i składowanie) związanych z unieszkodliwianiem CO₂ w dużych ilościach, w celach środowiskowych, poprzez zatłoczenie do głębokich warstw geologicznych.

Składowisko CO₂ – miejsce podziemnego składowania CO₂ wraz z infrastrukturą powierzchniową.

Podziemne składowisko CO₂ – struktura geologiczna pozwalająca na składowanie przemysłowych ilości dwutlenku węgla.

Struktura geologiczna przeznaczona na podziemne składowisko CO₂ – warstwa lub zespół warstw (szczerpane złoża ropy naftowej lub gazu ziemnego, głęboki poziom wodonośny i inne) zamknięta tektonicznie lub sedimentacyjnie, o dobrych właściwościach kolektorskich, poniżej poziomu występowania wód użytecznych, zalegająca na głębokościach pozwalających na racjonalne (pod względem technicznym i ekonomicznym) podziemne składowanie dwutlenku węgla.

Nadkład izolujący składowisko CO₂ – nadkład skalny o znacznej miąższości i niewielkiej przepuszczalności, zapewniający skuteczną izolację przed migracją CO₂ ku powierzchni.

Szczelność geologiczna obiektu przeznaczonego na podziemne składowisko CO₂ – naturalna zdolność struktury geologicznej do zatrzymania gazu w strukturze, bez znaczących ubytków poza jej obszar w trakcie jak i po zatłaczaniu.

Szczelność techniczna obiektu przeznaczonego na podziemne składowisko CO₂ – szeroko pojęta szczelność urządzeń technicznych związanych z instalacją zatłaczania CO₂ (otworów, głowic eksploatacyjnych, rurociągów, gazociągów, zamontowanych urządzeń napowierzchniowych, itp.).

2. Szczelność geologiczna i techniczna struktur/obiektów przeznaczonych na podziemne składowisko CO₂

Po zatłoczeniu CO₂ do warstwy geologicznej, gaz ten częściowo rozpuszcza się w wodzie złożowej powodując zwiększenie jej gęstości, dzięki czemu wykazuje skłonność do

gromadzenia się w dolnych częściach struktury i nie stanowi zagrożenia niekontrolowanego wypływu na powierzchnię. Równocześnie, w wyniku tworzenia się słabego kwasu węglowego, następuje naruszenie równowagi między solanką a minerałami, co prowadzi do reakcji chemicznych powodujących mineralizację części CO₂ i jego unieruchomienie z równoczesnym zmniejszeniem przepuszczalności i porowatości skał (Nodzeński i Hołda 2003; Tarkowski i Uliasz-Misiak 2005a). Konieczność oceny szczelności struktur przeznaczonych do składowania CO₂ wynika stąd, że pozostała część zatłoczonego dwutlenku węgla znajduje się w stanie wolnym i w ośrodku porowatym ma zdolność do migracji. W warunkach ciśnienia i temperatury, typowych dla złóż ropy i gazu ziemnego oraz głębokich warstw wodonośnych dwutlenek węgla występuje w postaci tzw. gęstej fazy gazowej. Jego gęstość jest wtedy znacznie większa niż w warunkach normalnych, niemniej jednak mniejsza od gęstości solanki co powoduje tendencję do migracji ku górze i może być potencjalnym powodem wycieku przez szczeliny geologiczne, uskoki lub zlikwidowane otwory (Tarkowski i Uliasz-Misiak 2005b). Wynika stąd, że we wszystkich przypadkach podziemnego składowania dwutlenku węgla będą występowały problemy szczelności struktury/objektu przeznaczonego na podziemne składowisko. Obejmują one zagadnienia związane ze szczelnością geologiczną i techniczną (Tarkowski i Uliasz-Misiak 2005a). Jedne i drugie są bardzo ważne i wymagają dokładnych badań i analiz jeszcze przed rozpoczęciem składowania dwutlenku węgla. Szczelność struktury geologicznej czy wybranego obiektu jest podstawowym kryterium oceny i wyboru danego obiektu dla celów podziemnego składowania dwutlenku węgla. Dlatego też podstawową zasadą przydatności wybranego miejsca dla składowania tego gazu powinna być szczelność geologiczna struktury i szczelność techniczna obiektu przeznaczonego na składowisko gazu. Nieszczelna struktura geologiczna stwarza zagrożenie dla środowiska naturalnego i ludności. Dyskwalifikuje to jej przydatność dla celów unieszkodliwienia antropogenicznej emisji dwutlenku węgla.

Szczelność obiektów przeznaczonych na składowisko CO₂ powinna być rozpatrywana w odmienny sposób w przypadku wyeksploatowanych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego oraz głębokich poziomów wodonośnych. Szczelność dla złóż gazu i szczelność dla poziomów wodonośnych to osobne zagadnienia. W przypadku poszukiwania i adaptowania na podziemne składowisko CO₂ struktur w poziomach wodonośnych szczelność geologiczna jest zagadnieniem bardziej istotnym niż szczelność techniczna. Na większości wyeksploatowanych złóż węglowodorów (ropy naftowej i gazu ziemnego) częściej będzie natomiast występował problem szczelności technicznej, która powinna być dokładnie rozpoznana (Reinisch 2000; Tarkowski i Uliasz-Misiak 2005a).

Nie każdy obiekt może być brany pod uwagę jako podziemne składowisko dwutlenku węgla. W każdym przypadku, w tym również dla wyeksploatowanego złoża gazu ziemnego, będzie wymagane sprawdzenie szczelności technicznej, ponieważ szczelność geologiczna na tych obiektach z reguły jest zachowana. Porównując różne obiekty przydatne do składowania dwutlenku węgla oraz zasady i kryteria oceny struktur geologicznych należy podkreślić przewagę obiektów szcerpanych złóż węglowodorów nad innymi strukturami np. poziomymi wodonośnymi. Ze względu na znacznie większe pojemności, struktury geolo-

giczne w poziomach wodonośnych są bardziej interesujące w celu podziemnego składowania dwutlenku węgla (Tarkowski 2005).

2.1. Szczelność geologiczna

Szczelność geologiczna w przypadku złoża węglowodorów, w szczególności gazu ziemnego, w zasadzie nie budzi zastrzeżeń. Już samo istnienie złoża potwierdza szczelność obiektu. Dlatego też, w przypadku szcerpanego złoża gazu adaptowanego na składowisko dwutlenku węgla, problem szczelności geologicznej nie wymaga specjalnych badań. Szczególnie dotyczy to przypadków, gdy ciśnienie zatłaczania będzie stopniowo podnoszone i w końcowej fazie składowania CO₂ będzie zbliżone do pierwotnego ciśnienia złożowego. Obiekty będące szcerpanymi złożami gazu ziemnego, ze względu na szczelność geologiczną powinny być preferowane; mogą być też najtańszymi obiektami do składowania dwutlenku węgla. Podobna sytuacja może występować (choć nie zawsze) w szcerpanych złożach ropy naftowej.

Problem szczelności geologicznej powinien być przebadany bardzo rygorystycznie dla struktur wodonośnych. W szczególności, brak szczelności geologicznej może występować na niektórych obiektach, w znacznym stopniu zaangażowanych tektonicznie – pociętych uskoki lub pofałdowanych. Konieczna jest tu dokładna analiza warstw uszczelniających przyszłe składowisko gazu. Wymaga to specjalistycznych badań, testów, prób i analiz itd. (Dake 1993). Ich pozytywne wyniki w sposób zasadniczy powinny decydować o przydatności struktury geologicznej na podziemne składowisko dwutlenku węgla.

W wyniku eksploatacji, we wszystkich złożach węglowodorów ciśnienie złożowe jest znacznie obniżone – jest niewielkie. Dlatego też problem szczelności geologicznej na początku składowania dwutlenku węgla nie będzie tak istotny jak pod koniec tego procesu, gdy ciśnienie będzie wzrastać, a jego wielkość będzie się zbliżać do pierwotnego ciśnienia złożowego lub może je nawet nieznacznie przekroczyć (np. o 10–15%). Problem szczelności geologicznej struktur wodonośnych jest tym bardziej istotny, gdyż składowanie CO₂ w tych obiektach z reguły wymaga przewyższonych ciśnień, często 1,1–1,3 razy większych od pierwotnych ciśnień złożowych. W związku z tym w tych obiektach oraz w nadległych, przykrywających je warstwach uszczelniających należy przeprowadzić wcześniej specjalne testy, szczegółowe badania, analizy laboratoryjne itp. Ich wyniki powinny umożliwić ocenę szczelności obiektu – podstawowy warunek niezbędny dla obiektów przeznaczonych na podziemne składowiska CO₂ (Reinisch 2000; Tarkowski i Uliasz-Misiak 2005a, b).

Badania szczelności nieprzepuszczalnych warstw izolujących zalegających nad strukturą wodonośną sprowadzają się najczęściej do sprawdzenia wytrzymałości nadkładu wyżej leżących warstw. W obiektach tego typu przeznaczonych na podziemne składowisko gazu, wymagane będzie znaczne przewyższenie ciśnienia (często ponad 10% lub wyższe od pierwotnego ciśnienia złożowego) dla wytworzenia przestrzeni porowej dla składowania dwutlenku węgla. Ponadto procesy technologiczne, eksploatacja i składowanie dwutlenku węgla w strukturach wodonośnych wymagają pewności, że obiekt jest szczelny. Szczelność

struktur zawodnionych, zalegających zazwyczaj na umiarkowanych głębokościach jest również bardzo istotna, ponieważ najczęściej nad tym obiektem występują poziomy wody pitnej. W związku z tym, w zakresie szczelności geologicznej jak i technicznej, dla tego typu obiektów, w przypadku starania się o koncesję stawiane będą rygorystyczne wymagania.

W procesie rozpoznania obiektu przeznaczonego na składowisko dwutlenku węgla powinny być prowadzone prace zmierzające do poznania walorów i specyfiki złoża, wydzielenia jego optymalnej strefy itd. W szcerpanych złożach gazu ziemnego, w miarę upływu lat eksploatacji i stopnia szcerpania gazu, na podstawie przeprowadzonej analizy materiałów, stosunkowo łatwo i pewnie będzie można wydzielić optymalną strefę złoża do zatłaczania. Pomimo tego, sprawdzenia i dokładnych badań oraz wnikliwej analizy wymagają wyżejległe warstwy uszczelniające. Należy zbadać, czy skały nie zostały rozszczelnione w wyniku prowadzonych prac wiertniczych i wykonanych otworów eksploatacyjnych na złożu. Znacznie trudniejsze jest to w strukturach zawodnionych, które wymagają czasochłonnych (często wieloletnich) badań i analiz dla określenia optymalnej strefy zatłaczania. Dotyczy to również określenia szczelności nadległych warstw izolujących. Okres badań i adaptacji struktury do składowania dwutlenku węgla może być długotrwały. Będzie on znacznie krótszy w przypadku wyeksploatowanych złóż gazu ziemnego czy ropy. W przypadku głębokich poziomów wodonośnych rozpoznanie może trwać kilka lat.

2.2. Szczelność techniczna

Problem szczelności technicznej obiektu adaptowanego na podziemne składowisko CO₂ obejmuje zagadnienia szczelności wykonanych otworów, głowic eksploatacyjnych, rurociągów, gazociągów, zamontowanych urządzeń napowierzchniowych itp., które będą wykorzystywane w procesie składowania dwutlenku węgla (Reinisch 2000; Tarkowski i Uliasz-Misiak 2005a).

Na rozwiercanym lub eksploatowanym złożu może dojść do rozszczelnienia nadległych warstw nieprzepuszczalnych, które wcześniej zapewniały szczelność obiektu. Może to nastąpić w wyniku niedoskonałego cementowania otworów eksploatacyjnych. Istotny jest okres wytrzymałości i szczelności technicznej otworów. Większość otworów w szcerpanych złożach węglowodorów w Polsce, zwłaszcza gazu ziemnego, zbliża się obecnie do granicznego okresu wytrzymałości i szczelności technicznej, tj. do okresu rzędu 30 lat (biorąc pod uwagę okres rozpoznania struktury czy złoża, czas wiercenia, etapowy rozwój procesu eksploatacji). Wynika z tego, że nawet obiekty najbardziej preferowane i najszybsze do adaptacji na podziemne składowisko dwutlenku węgla wymagają dokładnego sprawdzenia szczelności technicznej. Jest to możliwe poprzez badania geochemiczne, zwłaszcza analizę składu gazów gruntowych na terenie przyszłego składowiska oraz standardowe metody badania integralności otworów wiertniczych.

Ponieważ istniejące na złożu otwory po upływie wielu lat mogą stać się nieszczelne, konieczne jest badanie szczelności obiektu, które dotyczy głównie sprawdzenia stanu tech-

nicznego i jakości zacementowania rur okładzinowych oraz kontroli jakości innych prac technicznych wykonanych wcześniej mało precyzyjnie. W eksploatacji złóż gazu ziemnego znane są przypadki niekontrolowanych wypływów gazu (ang. *gas migration problem*), zwykle będące wynikiem niedoskonałego cementowania lub korozji rur. W wyniku tych zjawisk gaz może rozprzestrzeniać się w gruncie wpływając negatywnie na wegetację roślin i stwarzając zagrożenie dla środowiska. Należy podkreślić, że nie jest znana w pełni skuteczna technologia likwidacji tego typu nieszczelności. W literaturze podkreśla się, iż rekonstrukcje otworów w celu usunięcia problemu migracji gazu są kosztowne i nie dają gwarancji sukcesu. Stąd często występuje konieczność eksploatacji takich otworów poniżej limitu ekonomicznego, gdyż ich zamknięcie może powodować odbudowę ciśnienia złożowego i przez to zwiększyć wypływ gazu na powierzchnię. Występowanie tego typu zjawisk dyskwalifikuje złożę jako składowisko dwutlenku węgla. Należy podkreślić, że wypływ składowanego dwutlenku węgla, zjawisko niepożądane, może nie być zaobserwowane w początkowej fazie procesu składowania. Ciśnienie robocze zatłaczania dwutlenku węgla do złoża lub struktury będzie początkowo stosunkowo małe, z uwagi na głębokie szcerpanie złoża. W przypadku istnienia nieszczelności, w miarę upływu czasu i stopniowego wzrostu ciśnienia może wystąpić proces ubytku lub wypływ dwutlenku węgla ze złoża.

Doświadczenia z eksploatacji podziemnych magazynów gazu (PMG) w Polsce mogą być tutaj szczególnie użyteczne. Nieszczelność techniczna już nie na jednym takim obiekcie była przyczyną wykonywania kosztownych prac rekonstrukcyjnych, a w końcowym etapie wcześniej czy później doprowadzała do likwidacji otworów lub też całego obiektu. O znaczeniu tego problemu może świadczyć przykład PMG Roztoki, który po kilkunastu latach eksploatacji został zlikwidowany, ponieważ nie udało się usunąć nieszczelności „starych” otworów wykonanych na tym magazynie. Zagrożenia były tak duże, że obiekt zlikwidowano pomimo, że PMG Roztoki był pierwszym podziemnym magazynem gazu w Europie – działał od 1954 roku (Reinisch 2000).

W zależności od warunków geologicznych i charakteru przewierczanych otworów, niewielkie nieszczelności techniczne mogą eliminować się samoczynnie poprzez „zaciśnięcie” lub doszczelnienie otworów plastycznych. Zjawisko takie (np. „zaciskanie” wyżej zalegających ilów lub soli cechsztyńskich powodujące „doszczelnienie” kolumny rur okładzinowych w otworach) obserwuje się na wielu eksploatowanych złożach węglowodorów, zwłaszcza w złożach gazu ziemnego występujących w zachodniej części Niżu Polskiego.

Problem szczelności składowiska CO₂ jako problem techniczny obejmuje nie tylko szczelność wykonanych otworów na wybranej strukturze czy szcerpanym złożu, lecz również szczelność wszystkich gazociągów i kolektorów kopalnianych. Z wielu powodów mogą one okazać się nieszczelne i często wymagają wymiany. Cały system gazociągów i kolektorów kopalnianych, łączących poszczególne odwierty eksploatacyjne i inne otwory na złożu z tłocznia czy z systemem przesyłowym, powinien być ujęty w problematyce badań szczelności składowiska gazu i również podlegać systematycznej kontroli w ramach monitoringu szczelności technicznej obiektu.

Wskazane niedogodności i zagrożenia sugerują, że konieczne jest zwrócenie uwagi na „stare” otwory i przeprowadzenie badań (w tym geofizycznych) w zakresie ich stanu technicznego i szczelności technicznej (np. jakość zacementowania kolumn rur okładziny w otworze, korozja, połączenia gwintowe itp.). Badania takie powinny obejmować wszystkie otwory znajdujące się na obszarze składowiska dwutlenku węgla lub obiektu czy struktury geologicznej przeznaczonej do składowania dwutlenku węgla. Dotyczy to również otworów zlikwidowanych, znajdujących się w strefie przykonturowej złoża bądź poza nią.

3. Doświadczenia przemysłowe w zakresie sekwestracji gazów kwaśnych w Polsce

W połowie lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku uruchomiono w Polsce dwie przemysłowe instalacje powrotnego zatłaczania gazów kwaśnych do stref złożowych, na złożu ropy naftowej Kamień Pomorski oraz na gazu ziemnego Borzęcin (Stopa i in. 2006). Pozwoliło to na selektywne wydobycie ze złóż węglowodorów użytecznych kierując do nich powrotnie szkodliwe dla biosfery składniki w postaci H_2S i CO_2 . Instalacja na złożu Kamień Pomorski od roku 1993 do chwili obecnej zatłacza toksyczny gaz zawierający około 15% H_2S i 4% CO_2 do strefy ropnej, a ilość zatłaczanego gazu wynosi w skali miesiąca średnio 250 tys. nm^3 . Do końca roku 2005 zatłoczono w sumie około 9,5 mln nm^3 kwaśnych gazów. Wcześniej gazy te spalano w pochodni. W okresie 20-letniej eksploatacji złoża spalono 0,3 mld nm^3 gazu oraz 80 tys. ton siarki, która w postaci SO_2 przedostała się do atmosfery. Było to typowe rozwiązanie techniczne stosowane w tym czasie na świecie, np. w Kanadzie. Instalacja na złożu Borzęcin od roku 1996 do chwili obecnej realizuje proces powrotnego zatłaczania kwaśnych gazów zawierających ponad 60% CO_2 i 15% H_2S do strefy wody podścielającej bezpośrednio złożu gazu ziemnego. Gazy kwaśne są produktem odpadowym z procesu aminowego odsiarczania wydobywanego gazu ziemnego. Wydajność tłoczenia wynosi 0,53% produkcji. Do chwili obecnej zatłoczono około 2 mln nm^3 kwaśnych gazów.

Ze względu na toksyczne właściwości gazów kwaśnych, jak również wysokie ciśnienie zatłaczania, niezbędne jest zapewnienie pełnego bezpieczeństwa prowadzonego procesu. W omawianej instalacji zastosowano gazociąg prowadzony w rurze ochronnej, której przestrzeń pierścieniowa jest poddana ciągłemu monitoringowi. Instalacja jest wyposażona w automatyczną aparaturę sterującą i sygnalizacyjną. Zrzuty gazowe mogą wystąpić jedynie w warunkach awaryjnych jako wydmuchy z zaworów bezpieczeństwa lub podczas przekroczenia parametrów procesu i są wówczas natychmiast spalane w piecach Clausa. Proces zatłaczania gazów kwaśnych przebiega w warunkach bardzo wysokiej korozyjności potencjalnej, wynikającej z wysokiej wartości ciśnienia cząstkowego H_2S i CO_2 oraz sprzyjającej dla procesu korozji temperatury. Pomimo tego rzeczywista korozyjność w instalacji zatłaczania gazów kwaśnych jest zdecydowanie niższa od potencjalnej, co zostało ustalone na podstawie wyników przeprowadzonych badań. Jest to efekt działania par monoetanolaminy, która jest sorbentem w procesie odsiarczania gazu ziemnego i działa inhibującą na proces korozji. Zarówno w jednym, jak i w drugim przypadku prowadzone są systematyczne

badania geochemiczne, które dotychczas nie wykazały jakichkolwiek nieszczelności typu geologicznego ani technicznego. Ponad 10-letni okres bezawaryjnej pracy pozwala na stwierdzenie, że przy zachowaniu staranności i wysokiej kultury technicznej składowanie geologiczne szkodliwych gazów może być prowadzone w sposób bezpieczny.

Podsumowanie

Zdefiniowano: podziemne składowanie CO₂, składowisko CO₂, strukturę geologiczną przeznaczoną na podziemne składowisko CO₂, podziemne składowisko CO₂, nadkład izolujący składowisko CO₂, szczelność geologiczną i szczelność techniczną obiektu przeznaczonego na podziemne składowisko dwutlenku węgla.

Scharakteryzowano szczelność geologiczną struktur geologicznych w złożach ropy naftowej, gazu ziemnego oraz w poziomach wodonośnych przeznaczonych na podziemne składowisko dwutlenku węgla podkreślając znaczenie szczegółowego rozpoznania struktur w głębokich poziomach wodonośnych.

Omówiono problem szczelności technicznej obiektów przeznaczonych na podziemne składowisko dwutlenku węgla. Odwołano się do polskich doświadczeń w zakresie szczelności podziemnych magazynów gazu ziemnego (PMG).

Przedstawiono doświadczenia przemysłowe w zakresie sekwestracji gazów kwaśnych w Polsce, w szczególności w odniesieniu do zagadnienia szczelności technicznej instalacji.

LITERATURA

- D a k e L.P. – *Fundamental of Reservoir Engineering*. Elsevier, Amsterdam-New York 1993.
- N o d z e ń s k i A., H o łą d a S., 2003 – Oddziaływanie fizykochemiczne dwutlenku węgla ze środowiskiem centrów magazynowania. *Polityka Energetyczna* t. 6, z. spec., s. 357–366.
- R e i n i s c h R., 2000 – Wybrane, istotne aspekty Podziemnych Magazynów Gazu (u progu XXI wieku), Wydawnictwo PLJ, 301 s., Warszawa.
- S t o p a J., L u b a s J., R y c h l i c k i S., 2006 – Underground storage of acid gas in Poland – experiences and forecasts. 23rd World Gas Conference, Amsterdam 2006.
- T a r k o w s k i R., 2005 – Geologiczna sekwestracja CO₂. *Studia. Rozprawy i Monografie* nr 132. IGSMiE PAN, 106 s.
- T a r k o w s k i R., U l i a s z - M i s i a k B., 2005a – Uwarunkowania i kryteria podziemnego składowania CO₂. W: Podziemne składowanie CO₂ w Polsce w głębokich strukturach geologicznych (ropo-, gazo- i wodonośnych). Praca zbiorowa pod red. R. Tarkowskiego. Wyd. IGSMiE PAN Kraków, s. 37–53.
- T a r k o w s k i R., U l i a s z - M i s i a k B., 2005b – Monitoring podziemnego składowania CO₂. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 21, z. 2, s. 35–58.

RADOSŁAW TARKOWSKI, JERZY STOPA

TIGHTNESS OF A GEOLOGICAL STRUCTURE DESTINED TO UNDERGROUND CARBON DIOXIDE STORAGE

Key words

Geological tightness, technical tightness, underground CO₂ storage, underground natural gas reservoir

Abstract

Summary. It has been discussed a tightness of objects – geological structures within hydrocarbon deposits and within deep aquifers, destined to underground carbon dioxide storage. There has been characterized a geological and engineering tightness of such objects together with a definition of basic concepts of the domain. There occurred references to Polish experience concerning tightness of natural gas underground reservoirs, as well as to an industrial implementation of the acid gas sequestration technology in Poland.