

Teresa Laskowska, Kazimierz Gąska
INVESTGAS S.A., Warszawa

Nowe metody i technologie zastosowane w czasie ługowania komór, przy budowie magazynów gazu zlokalizowanych w złożach soli

Wprowadzenie

Rozwój społeczno-gospodarczy kraju, sytuacja geopolityczna i wymogi prawne nakładają na Polskę obowiązek magazynowania surowców energetycznych, w tym węglowodorów płynnych oraz lotnych, na wypadek zaburzenia ciągłości dostaw w wyniku różnorodnych czynników. Jedną z form magazynowania substancji jest ich składowanie w wyrobiskach wykonanych w złożach soli; zarówno typu pokładowego, jak i w wysadach solnych.

Pierwsze magazyny tego typu pojawiły się już w XIX w. w Stanach Zjednoczonych. W Europie prym w ich ilości i pojemności wiodą Niemcy oraz Francja. Pierwszym polskim magazynem w strukturach solnych jest Kawernowy Podziemny Magazyn Gazu Mogilno, zrealizowany przez Investgas S.A. Struktura Mogilno to antyklinalne wypiętrzenie utworów paleozoicznych, w jądrze których występują osady cechsztyńskiej serii solnej, sięgające głębokości ponad 6000 m. Podziemne magazyny gazu zlokalizowane są w obrębie udokumentowanego wysadu solnego złoża Mogilno II. Drugim nowo powstającym magazynem gazu jest PMG Kosakowo. Magazyn zlokalizowano w złożu Mechelinki, wchodzącym w skład cechsztyńskiej, pokładowej struktury solnej, w okolicy Zatoki Puckiej.

Magazyny tego typu zawdzięczają swą popularność elastyczności oraz płynności w ich funkcjonowaniu. Spełniają swoją rolę w czasie maksymalnego szczytowego zapotrzebowania, dzięki szybkiemu przejściu z cyklu zatłaczania na cykl oddawania gazu i odwrotnie. Nie jest to możliwe w przypadku magazynów zlokalizowanych w wyeksploatowanych złożach gazu. Do zalet tego typu magazynów zaliczyć można właściwości fizyko-

chemiczne soli (plastyczność, szczelność i brak reakcji chemicznych z gazem ziemnym), możliwą do uzyskania dużą pojemność magazynową i relatywnie niskie koszty magazynowania.

Mimo że technologia magazynowania gazu w kavernach solnych liczy sobie kilkadziesiąt lat, ekonomia oraz dbałość o środowisko przyczyniają się do doskonalenia technik budowy i eksploatacji kawernowych magazynów z wykorzystaniem najnowszych osiągnięć inżynierskich. Budowa magazynu w złożach soli (wytwarzanie komór) jest najdroższym etapem w całościowym procesie jego budowy. Proces ługowania jednej komory magazynowej wynosi ok. 3–4 lat, w tym czasie wydobywa się z komory ok. 1 mln ton soli. Dlatego tak dużą uwagę zwraca się na jak racjonalne i efektywne wykorzystanie środków, z uwzględnieniem wymogów środowiskowych. Doświadczenie zdobyte w ostatniej dekadzie oraz sukcesywne pogłębianie wiedzy zaowocowały wprowadzeniem nowych technik przy rozbudowie magazynu gazu KPMG Mogilno oraz przy budowie magazynu PMG Kosakowo.

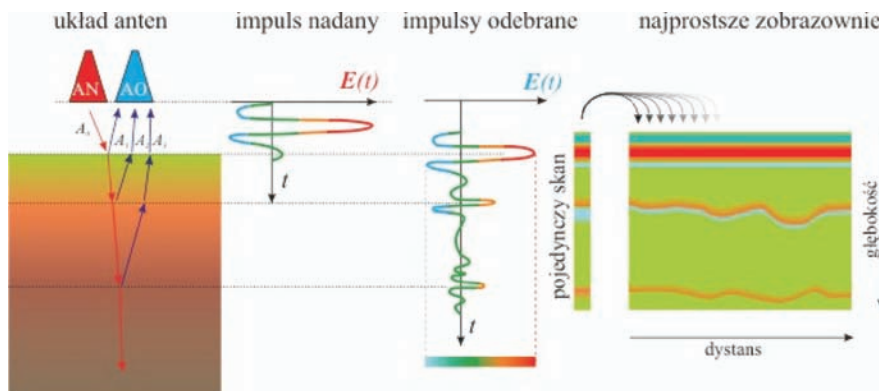
W dalszej części artykułu zaprezentowano nowe metody i technologie zastosowane w czasie ługowania komór:

- rozpoznanie złoża za pomocą georadaru,
- określenie izolacji olejowej metodą geofizyczną,
- zastosowanie pompy wspomagającej do tłoczenia wody,
- użycie izolacji azotowej, zamiast olejowej,
- udostępnianie komór magazynowych odwiertami kierunkowymi,
- rozpraszanie zrzucanej do Zatoki Puckiej solanki systemem dysz,

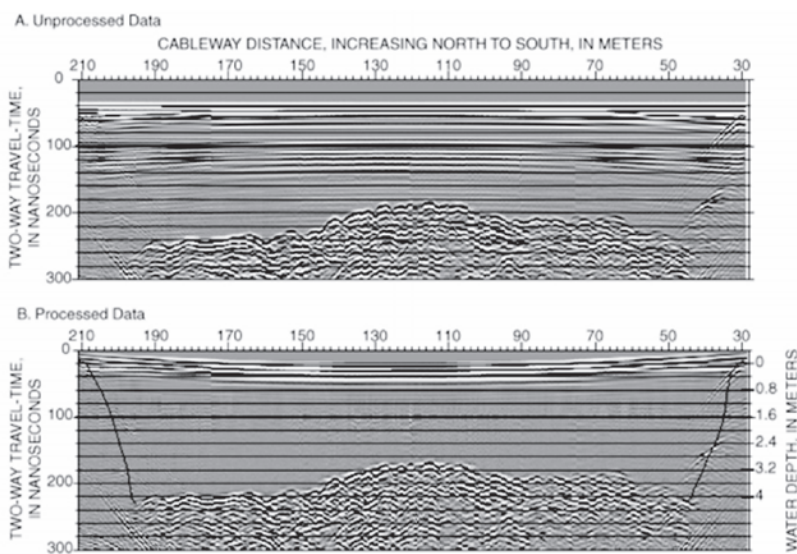
- badanie stanu szczelności zacementowania kolumny eksploatacyjnej z użyciem pakera PIP.

Rozpoznanie złoża za pomocą georadaru (GPR)

Urządzenie GPR jest wykorzystywane przez projektantów na etapie tworzenia projektu posadowienia kawerny magazynowej oraz wykonywania projektu technicznego ługowania. Zasada działania polega na wzbudzeniu, za pomocą nadajnika, fali elektromagnetycznej skierowanej w głąb ośrodka skalnego. Odbita fala, powracając – ma zmienioną długość i częstotliwość. Wynik profilowania GPR w postaci obrazu (falogramu) jest poddawany analizie i interpretacji. Znając długości i częstotliwości fal powrotnych możemy porównać je do wzorcowych dla danego ośrodka skalnego. Szczegółowa interpretacja pozwala poznać budowę wgłębną ośrodka skalnego, co przekłada się na optymalne posadowienie przyszłej komory magazynowej, z pominięciem ryzykownych stref anhydrytów



Rys. 1. Schemat działania georadaru (źródło: www.wikipedia.org)



Rys. 2. Przykładowy falogram z urządzenia GPR, w tym przypadku system depozycyjny rzeki Skagit w USA (źródło: www.usgs.gov)

lub szybko rozpuszczalnych soli potasowo-magnezowych. Minimalizuje się w związku z tym ryzyko uzyskania niekorzystnego kształtu komory oraz możliwego (w przypadku występowania soli potasowo-magnezowych) niekontrolowanego procesu rozługowania.

Określenie izolacji olejowej metodą geofizyczną

Dotychczas ustawienie izolacji olejowej polegało na tłoczeniu obliczonej ilości oleju w przestrzeń pomiędzy zewnętrzne rury ługownicze i otwór bosy. Po tym procesie następował pomiar geofizyczny, przy użyciu sondy zapuszczonej do rur ługowniczych. Pomiar wykonany za pomocą tej technologii cechowała niska precyzja i odchylenia rzędu 10 metrów w obie strony, co wynikało z zakłóceń spowodowanych ścianką rury – oddzielającą mierzone medium od czujnika aparatury pomiarowej. Do dokładnego ustawienia izolacji stosowano manewrowanie rurami, a następnie powtarzane w kilkudniowych odstępach

tłoczenia oleju na przelew, polegające na dotłaczaniu partii oleju i obserwacji, czy po określonym czasie jego ślady pojawiły się wraz z wypływającą solanką w instalacji.

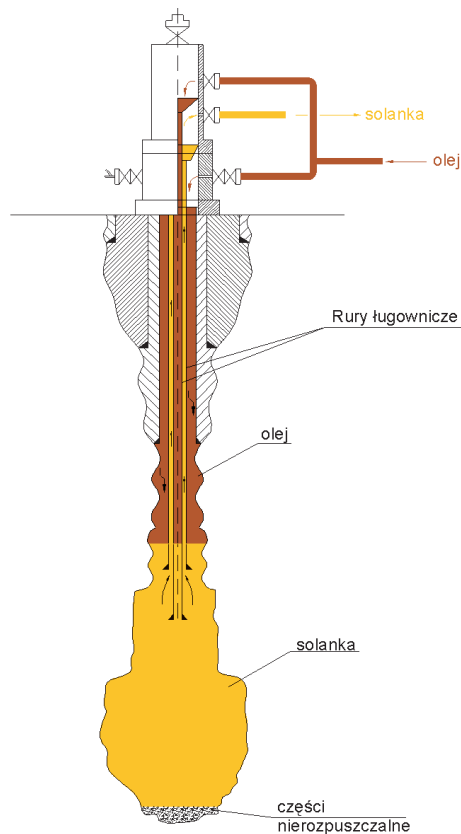
Nowo stosowana metoda opiera się na zasadzie naczyń połączonych. Polega na jednoczesnym tłoczeniu partii oleju w przestrzeń pomiędzy otworem bosym i zewnętrzną kolumnę rur ługowniczych oraz w wewnętrzną kolumnę rur ługowniczych. Podczas tego procesu solanka wypierana jest przestrzenią pomiędzy rurami ługowniczymi. Po ustabilizowaniu się lustra olej-solanka, do wewnętrznej kolumny rur ługowniczych zapuszczona zostaje sonda geofizyczna, celem określenia głębokości kontaktu solanka-olej.

Metoda niesie ze sobą niewymierne korzyści, do których należą:

- brak konieczności manewrowania rurami,
- możliwość dokładnego zbilansowania zatłoczonego oleju solarowego,
- precyzyjne określenie stropu ługowanej kawerny,
- brak konieczności tłoczenia na przelew.

Wszystkie te elementy przekładają się na oszczędność czasu, a co za tym idzie – środków inwestycyjnych przeznaczonych na budowę komór magazynowych.

Metoda została wypróbowana na KPMG Mogilno.



Rys. 3. Idea tłoczenia oleju w celu zbadania izolacji olejowej metodą geofizyczną

Zastosowanie pompy wspomagającej do tłoczenia wody

Wprowadzenie do ruchu pompy wspomagającej – DVMX, przy obecnej konstrukcji głęboko posadowionych, dużych kawern – pozwala podnieść ciśnienie tłoczenia wody

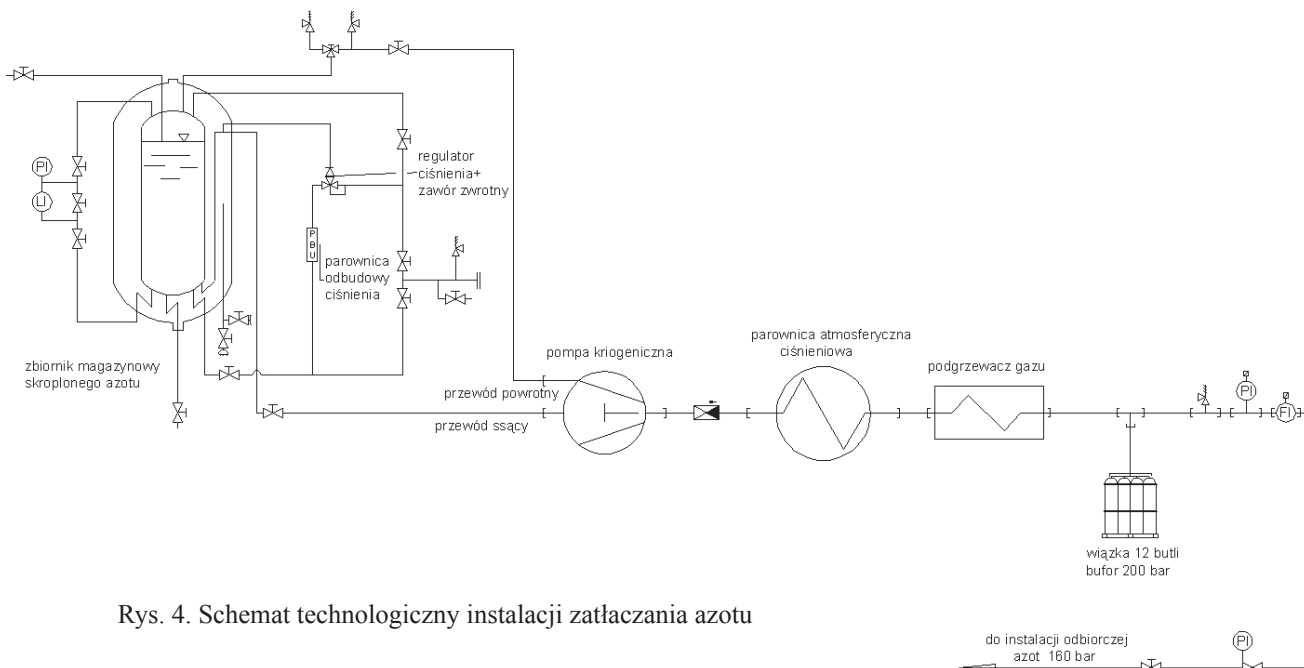
na głowicy ługowniczej do 10 MPa i zwiększyć wydatek tłoczenia wody do otworu. Tłoczenie wody technologicznej zawsze przekłada się na straty w wydatku tłoczenia, spowodowane m.in.: oporami przepływu, wysokością słupa solanki i gęstością wytłaczanej solanki z kawerny oraz topografią terenu. Zastosowanie na ciągu technologicznym dodatkowej pompy pozwala na utrzymanie zamierzonego wydatku oraz ciśnienia wody. Pompy kopalni KS Mogilno pozwalają na uzyskanie ciśnienia kolektorowego w budynku AKP KPMG Mogilno na poziomie ruchowym 4,5 MPa. Zastosowanie dodatkowej pompy wspomagającej przekłada się na skrócenie czasu ługowania komór magazynowych, poprzez zwiększenie wydobywania w czasie ługowania. Pokazuje to tablica 1.

Tablica 1. Tabela porównanie efektywności ługowania przy użyciu pompy DVMX oraz bez niej, na przykładzie komór Z-11 oraz Z-5

Parametr	Z-11 (ługowanie z pompą wspomagającą)	Z-5 (ługowanie bez pompy)
Wydatek maksymalny [m ³ /h]	140–150	100
Wydobycie soli [t]	755 884	755 632
Czas ługowania [dni]	964	1214

Użycie izolacji azotowej zamiast olejowej

Normy środowiskowe oraz prowadzona przez firmę strategia zrównoważonego rozwoju przyczyniły się do opracowania nowatorskiej – w skali kraju – metody ługowania przy wykorzystaniu izolacji azotowej.

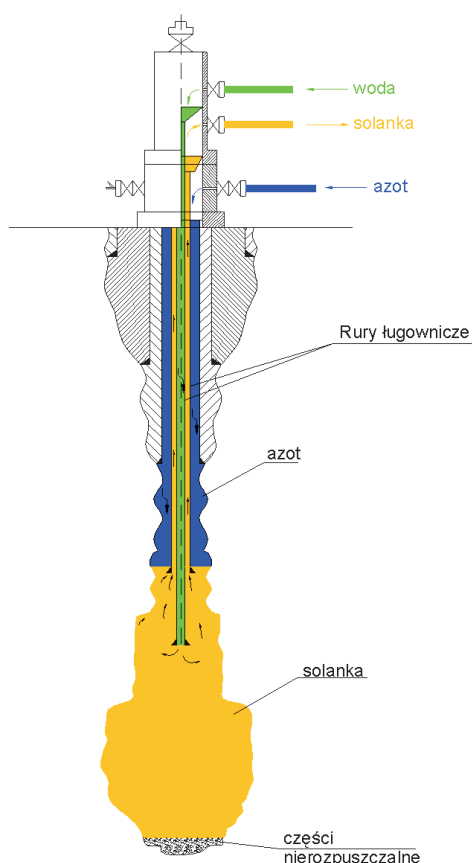


Rys. 4. Schemat technologiczny instalacji zatłaczania azotu

Ługowanie tego typu eliminuje prawdopodobieństwo negatywnego wpływu inwestycji na środowisko. Ługowanie przy zastosowaniu tej metody prowadzone będzie w nowo budowanym magazynie gazu PMG Kosakowo.

Metoda polega na zastąpieniu tradycyjnej izolacji (olej solarowy) obojętnym gazem, którym jest azot.

Skroplony azot, z izolowanego perlitem zbiornika, pompą kriogeniczną przetłaczany jest do parownicy wysokociśnieniowej. Stamtąd, w stanie gazowym, kierowany jest do kawerny magazynowej, w celu utrzymania izolacji stropu. Kontrola procesu ługowania kawerny oraz uzyskanie planowanego jej kształtu bez izolowania stropu byłoby niemożliwe do wykonania. Jednocześnie ługowanie z izolacją olejową wiązałoby się z degradacją środowiska naturalnego Zatoki Puckiej, co jest niedopuszczalne. Podjęto więc decyzję o użyciu azotu do regulacji poziomu stropu komory w trakcie ługowania.

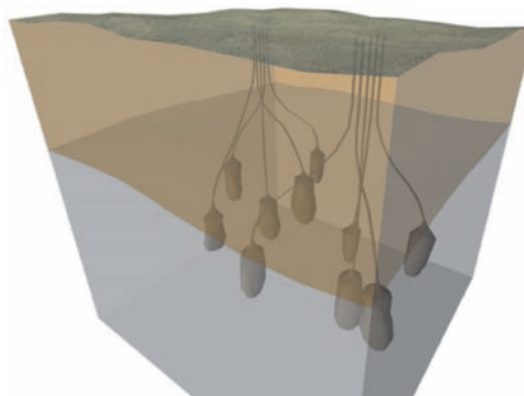


Rys. 5. Ługowanie przy wykorzystaniu izolacji azotowej

Udostępnianie komór magazynowych odwiertami kierunkowymi

Nowością jest udostępnianie komór magazynowych odwiertami kierunkowymi. Wiercenia otworów kierun-

kowych, na przykładzie PMG Kosakowo, polegają na celowym skrzywieniu osi otworu, począwszy od pewnej głębokości. W złożu soli otwór jest pionowy. Takie rozwiązanie pozwala na rozmieszczenie otworów wiertniczych pod przyszłe głowice eksploatacyjne obok siebie. Ogranicza się w ten sposób powierzchnię zajęta pod infrastrukturę, co ma wpływ na ograniczenie kosztów budowy. Zachowane są przy tym niezbędne filary bezpieczeństwa pomiędzy sąsiednimi komorami.



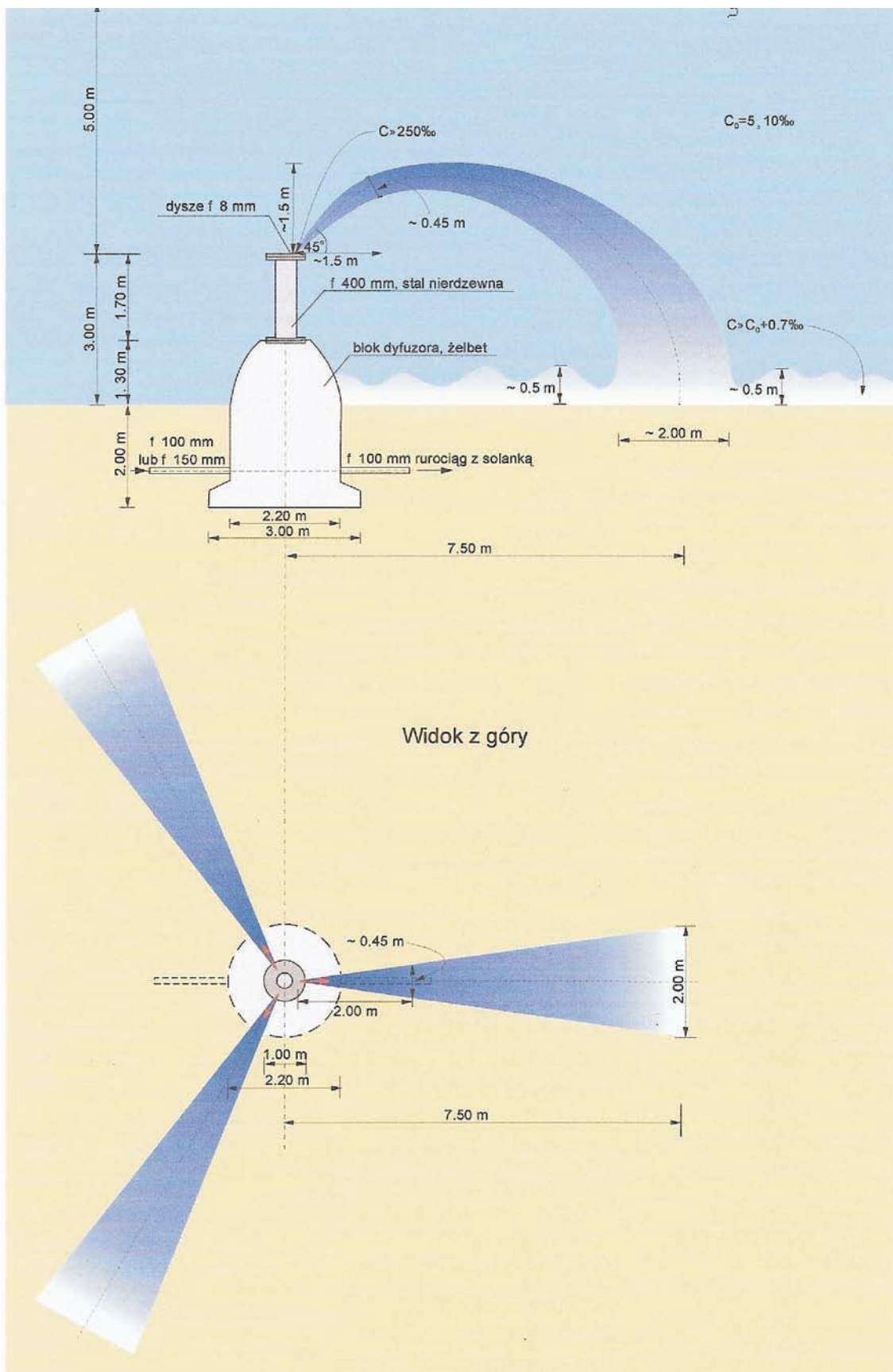
Rys. 6. Idea otworów kierunkowych wdrożona na PMG Kosakowo

Rozprowadzanie zrzucanej do Zatoki Puckiej solanki systemem dysz

Na PMG Kosakowo zastosowano innowacyjne rozwiązanie utylizacji solanki. Uzyskana w wyniku procesu solanka rozprowadzana będzie systemem specjalnych dysz (dyfuzorów) bezpośrednio w wodach Zatoki Puckiej. Zapobiegnie to nadmiernemu, miejscowemu zasoleniu wód Zatoki Puckiej.

Etapy procesu rozprowadzania solanki na PMG Kosakowo:

- przygotowana solanka będzie odprowadzana rurociągiem DN 300 w głąb Zatoki Puckiej,
- ilość odprowadzanej solanki będzie wynosić max 300 m³/godz., przy stężeniu średnim 250 kg/m³,
- rurociąg będzie zakończony dyfuzorem, usytuowanym w odległości 2,3 km od linii brzegowej – w rejonie, gdzie głębokość wody wynosi 8 m,
- zastosowanie dyfuzora zapewni dotrzymanie wymogu stawianego przez Wydział Ochrony Środowiska i Rolnictwa Urzędu Wojewódzkiego, aby w „polu bliskim” miejsca zrzutu wzrost zasolenia był nie większy niż 0,5 psu (0,5 kg soli na 1 m³ wody), w stosunku do aktualnego zasolenia bazowego wody Zatoki, wynoszącego 7,5 psu.

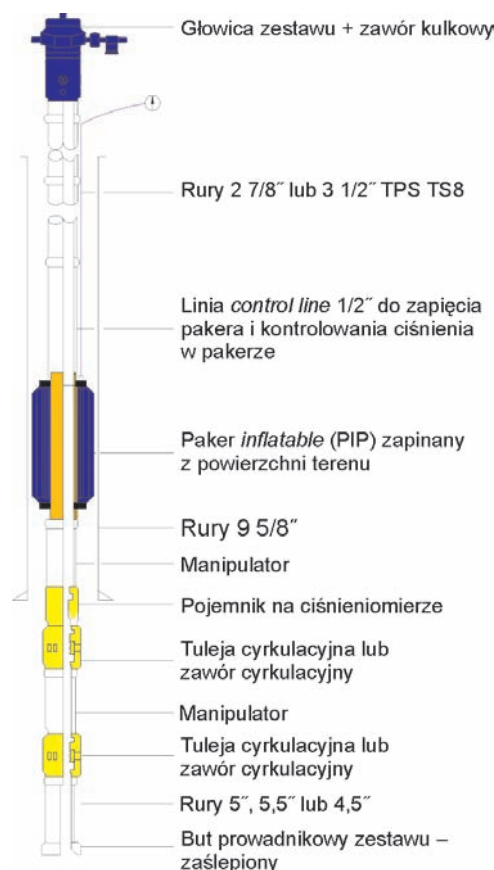


Rys. 7. Schemat wypływu pojedynczej strugi solanki z głowicy oraz sposób rozmieszczenia dysz w głowicy

Badanie stanu szczelności zacementowania kolumny eksploatacyjnej z użyciem pakera PIP

Do tej pory do badania stanu szczelności zacementowania kolumny eksploatacyjnej stosowano zestaw z pakierem rozpieranym na nodze. W tym celu trzeba było wykonać korek cementowy pod nogę pakera i dać stosunkowo duży nacisk na paker, aby zrównoważyć ciśnienie występujące w przestrzeni podpakerowej.

Single Set Production Packer (PIP) jest to rozpierany hydraulicznie paker, którego uszczelniacze i kotwica pozwalają odizolować zarówno strefy w otworach nieorowanych, jak i zacementowanych. Doszczelnienie otworu wiertniczego i zakotwiczenie jest realizowane napelnionym elementem uszczelniającym, zapinanym przepływem płynu wzdłuż zestawu przewodu. Paker zapinany jest ciśnieniem z pompy, dlatego nie jest wymagany duży ciężar przewodu. Dzięki temu może być on stosowany w otworach płytkich oraz w innych sytuacjach, gdzie nie jest możliwe wywarcie nacisku na paker. Metodę cechuje większa dokładność niż to ma miejsce w przypadku sposobu tradycyjnego.



Rys. 8. Przykładowy schemat zestawu do badania szczelności metodą ciśnieniową

Wnioski

Złoża soli stanowią bardzo dobry – o ile nie najlepszy – sposób na magazynowanie gazu ziemnego. Innowacyjne rozwiązania wdrożone na potrzeby podziemnych magazynów gazu przyczyniają się do ulepszenia budowy w następujący sposób:

- GPR umożliwi uniknięcie ryzyka niekorzystnego posadowienia komory w górotworze,
- określenie izolacji olejowej metodą geofizyczną wpływa na oszczędność czasu budowy inwestycji,
- zastosowanie pompy wspomagającej do tłoczenia wody skraca czas ługowania kawern,

- użycie izolacji azotowej oraz zastosowanie systemu dysz do rozprowadzania solanki ma aspekt proekologiczny,
- udostępnienie komór magazynowych otworami kierunkowymi umożliwia ograniczenie powierzchni zajętej pod infrastrukturę.

Wszystkie powyższe metody przyczyniają się do udoskonalenia funkcjonowania magazynów i – idąc w harmonii ze środowiskiem i strategią zrównoważonego rozwoju – w znacznym stopniu ograniczają koszty ich budowy.

Artykuł nadesłano do Redakcji 19.04.2010. Przyjęto do druku 19.04.2010.

Recenzent: doc. dr inż. Andrzej Froński



Teresa LASKOWSKA – Prezes Zarządu Investgas S.A.; wykształcenie wyższe ekonomiczne w zakresie zarządzania przedsiębiorstwem i wyższe techniczne w zakresie inżynierii ochrony środowiska. Od ponad dwudziestu lat specjalizuje się w techniczno-ekonomicznych procesach przygotowania i realizacji projektów z zakresu magazynowania i transportu węglowodorów.



Kazimierz GĄSKA – Dyrektor Eksploatacji i Budowy PMG; wykształcenie wyższe techniczne w zakresie górnictwa i geologii, studia podyplomowe w zakresie podziemnego magazynowania gazu. Od 1992 roku nadzoruje realizację pierwszego w kraju podziemnego magazynu gazu w złożu soli kamiennej KPMG Mogilno, a od dwunastu lat – również jego eksploatację.