

Beata Altkorn, Marek Kwinta
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Metodyka laboratoryjnej symulacji podziemnego magazynowania ropy naftowej i produktów naftowych w kawernach solnych

Wprowadzenie

W stosunku do standardowego przechowywania ropy naftowej i produktów naftowych w zbiornikach naziemnych i podziemnych przechowywanie w kawernie solnej ma szereg zalet:

- kawerny nie zajmują powierzchni magazynowej, zajęta powierzchnia stanowi jedynie 5 do 10% powierzchni, jaka byłaby potrzebna do identycznej objętości składowania w zbiornikach naziemnych; teren na powierzchni, pod którą znajduje się kawerna, może być wykorzystany do celów rolniczych.
- objętość magazynowa składowana pod ziemią jest praktycznie niedostępna, stąd występuje bardzo małe narażenie na potencjalne akty sabotażu lub kłęski żywiołowe; zagrożenie pożarowe i wybuchowe nie występuje lub jest bardzo ograniczone,
- temperatura wewnątrz kawerny jest stała, niezależna od pory roku i nasłonecznienia zbiornika, co eliminuje tzw.

procesy oddychania zbiorników i straty najlżejszych frakcji przez odparowanie,

- sól jest nieprzepuszczalna dla węglowodorów i inerta – nie wchodzi w reakcje chemiczne z ropą ani paliwami – dlatego też nie istnieje problem korozji zbiorników magazynowych,
- z uwagi na brak dostępu powietrza, w kawernie nie występują procesy utleniania paliw, które są w głównej mierze odpowiedzialne za pogarszanie się ich właściwości fizykochemicznych w warunkach przechowywania w zbiornikach naziemnych lub podziemnych,
- kawerny są włączone w system logistyczny rurociągów naftowych, terminali i rafinerii, co zapewnia ekonomiczny transport.

Zalety te powodują, że na całym świecie kawerny solne wykorzystuje się do długotrwałego przechowywania rezerw strategicznych.

Rodzaje rezerw strategicznych

W ramach rezerw strategicznych (tzw. rezerw interwencyjnych) rozróżnia się zapasy obowiązkowe ropy naftowej lub paliw oraz zapasy państwowe ropy naftowej i produktów naftowych. Są to zapasy tworzone, podobnie jak inne rezerwy państwowe, na wypadek występowania zakłóceń w zaopatrzeniu w paliwa, wynikających z nieprzewidzianych zdarzeń i okoliczności, kłęsk żywiołowych oraz dla potrzeb obronności i bezpieczeństwa państwa. Ich istnienie ma zapewnić tzw. bezpieczeństwo paliwowe państwa [9 11, 13, 14]. Rezerwy można podzielić na:

- rezerwy mobilizacyjne – służące realizacji zadań związanych z obronnością i bezpieczeństwem państwa, ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb Sił Zbrojnych oraz bezpieczeństwa publicznego w sytuacjach zagrożenia bezpieczeństwa państwa, a także w czasie podwyższania gotowości obronnej państwa,
- rezerwy gospodarcze – służące w szczególności zaspokajaniu zapotrzebowania na podstawowe surowce, materiały i paliwa oraz utrzymaniu ciągłości zaopatrywania ludności kraju w paliwa w okresach, o których

mowa w pkt. 1, a także eliminowaniu lub łagodzeniu zakłóceń w funkcjonowaniu gospodarki narodowej, wynikających z nieprzewidzianych zdarzeń i okoliczności oraz klęsk żywiołowych.

Zapasy interwencyjne ropy naftowej i produktów naftowych obejmują zapasy:

- obowiązkowe – tworzone i utrzymywane przez producentów i handlowców,
- państwowe – tworzone przez Ministra Gospodarki i utrzymywane przez Agencję Rezerw Materiałowych.

Zapasy interwencyjne powinny zaspokajać zapotrzebowanie na ropę naftową i produkty naftowe w ilości odpowiadającej co najmniej 90-ciodniowemu średniemu dziennemu zużyciu, za wyjątkiem LPG, dla którego przewidziano limit zużycia 30-todniowy.

Producenci i importerzy mają obowiązek tworzenia zapasów obowiązkowych paliw ciekłych w zakresie tych

rodzajów paliw, które są przedmiotem ich działalności. Cięży na nich obowiązek gromadzenia i magazynowania zapasów, utrzymywania ich odpowiedniego poziomu jakościowego i ich okresowej wymiany (np. w związku z zastrzeżeniem wymagań obowiązującej specyfikacji). Ustawa [13] określa, że paliwa, z których tworzone są zapasy interwencyjne, powinny spełniać wymagania jakościowe określone w przepisach o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw, za wyjątkiem prężności par dla benzyn i temperatury zablokowania zimnego filtra CFPP dla olejów napędowych, dla poszczególnych okresów roku (wynika to z faktu, że paliwo jest zatłaczane do kawerny i wytlaczane z niej po kilku latach w różnych porach roku). Ustawa określa też, że w chwili wprowadzenia paliw przechowywanych w kawernach do obrotu, muszą one spełniać wszystkie wymagania specyfikacji dla poszczególnych okresów roku.

Polskie kawerny solne wykorzystywane dla celów magazynowania rezerw strategicznych

W Europie kawernami solnymi dysponują Niemcy, Francja i Polska. W chwili obecnej krajowe rezerwy strategiczne paliw są przechowywane od 2002 roku w Podziemnym Magazynie Ropy i Paliw Góra, na terenie Inowrocławskich Kopalni Soli SOLINO należących do Grupy ORLEN. Polski rząd wskazał na konieczność zwiększenia pojemności magazynowej ropy naftowej i paliw płynnych w dokumencie strategicznym *Polityka energetyczna dla Polski do 2030 roku*, wydanym przez Ministra Gospodarki w roku 2009. W związku z tym, Grupa LOTOS i Grupa PERN opracowały wspólny projekt, obejmujący budowę na Pomorzu w pobliżu Gdańska 54 kawern solnych: poj. 100 000 m³ każda, o łącznej pojemności 7 mln m³ (z potencjałem rozbudowy do 20 mln m³) [5, 12]. Dla porównania: aktualna pojemność kawern w IKS Solino

wynosi 3 mln m³, ale również jest planowana jej rozbudowa. W nowych kawernach przechowywane miałyby być nie tylko obowiązkowe rezerwy ropy Polski, lecz także innych sąsiednich krajów, co jest zgodne z przepisami unijnymi. Zainteresowanie tworzeniem dużych pojemności magazynowych w kawernach solnych w Polsce wyrazili również Amerykanie – współpraca w zakresie strategicznych rezerw paliwowych była jednym z przedmiotów obrad polsko – amerykańskiego szczytu gospodarczego, który odbył się w Warszawie w czerwcu bieżącego roku [4]. Należy zatem sądzić, że w najbliższych latach wzrośnie zainteresowanie przemysłu rafineryjnego zlecaniem do INIG prac badawczych, dotyczących prowadzenia badań symulacyjnych przechowywania ropy naftowej i paliw płynnych w kawernach solnych.

Modelowanie warunków przechowywania paliw i rop naftowych w kawernie solnej

Instytut Nafty i Gazu prowadzi badania symulacyjne tego rodzaju od trzynastu lat. Bardzo istotne jest takie dobranie składu komponentowego magazynowanych paliw, aby podczas wieloletniego magazynowania w kawernie solnej nie zmieniły one swoich właściwości fizykochemicznych i nie pogorszyły jakości. Temu z kolei służą badania modelowe, pozwalające wyeliminować te paliwa, które nie rokują utrzymania stałego, wysokiego poziomu jakości podczas długotrwałego magazynowania w kawernie solnej. Przechowywanie ropy naftowej i paliw płynnych w zbiorniku naziemnym lub podziemnym pozwala na proste technicznie,

okresowe pobieranie próbek przechowywanych cieczy w celu kontroli ich jakości. Przechowywanie ich w kawernie solnej nie pozwala na częsty pobór próbek. Z uwagi na stopień technicznej trudności i związane z tym wysokie koszty pobór próbek wykonywany jest rzadko, dlatego nie ma możliwości szybkiego „wychwycenia” nagłego pogorszenia jakości paliwa i z tego względu musi ono być odporne na przechowywanie w warunkach kawerny solnej.

Modelowanie długoterminowego przechowywania paliw i ropy naftowej w kawernie solnej służy rozwiązaniu następujących kwestii:

- jaki jest wpływ złoża i specyficznych warunków składowania w kawernach solnych na właściwości fizykochemiczne i eksploatacyjne ropy naftowej i paliw płynnych (w kawernie panuje ciśnienie hydrostatyczne rzędu 70÷100 bar),
- czy zachodzi zjawisko tworzenia emulsji typu węglowodory – solanka podczas magazynowania,
- czy można ograniczyć sedymentację produktów sta-

zenia węglowodorów, co jest szczególnie ważne przy częstej rotacji napełniania i opróżniania kawerny,

- jak zapobiegać rozwojowi życia mikrobiologicznego w magazynowanej ropie naftowej i w paliwach.

W ostatnich latach wymagania dla paliw zostały zaostrzone, co spowodowało konieczność zmiany wchodzących w ich skład komponentów, stąd wyniki badań paliw starej generacji nie przystają do współczesnych paliw.

Metodyka badań symulacyjnych stosowana przez Instytut Nafty i Gazu

W przeciwieństwie do testów paliw symulujących ich długoterminowe przechowywanie w zbiornikach naziemnych nie istnieją znormalizowane metody badań ropy naftowej i paliw, które symulowałyby zjawiska zachodzące podczas ich długoterminowego przechowywania w kawernach solnych. Ośrodki badawcze posługują się własną metodyką w tym zakresie.

Długotrwałe przechowywanie ropy naftowej w kawernach solnych (ciśnienie, temperatura, obecność soli i solanki) nie ma większego wpływu na jej właściwości fizykochemiczne. Niemniej, istnieją przepisy określające, jakie rodzaje ropy mogą być magazynowane dla potrzeb amerykańskich rezerw strategicznych. Do magazynowania w kawernach są kierowane paliwa lub paliwa bazowe o wcześniej sprawdzonej laboratoryjnie odporności na przechowywanie w tych warunkach. Producent nie powinien ryzykować magazynowania tak ogromnych ilości paliwa, co do którego brak jest potwierdzenia w badaniach, że w warunkach magazynowania w kawernie solnej nie pogorszą się jego parametry jakościowe przed zakończeniem okresu magazynowania. Praktycznie brak jest publikacji w tym zakresie, ponieważ badania takie są prowadzone na rzecz koncernów naftowych i dotyczą składu paliw stanowiącego tajemnicę firmy. Dostępne publikacje dotyczą jedynie oceny zmian właściwości fizykochemicznych magazynowanych paliw w rzeczywistych warunkach kawern solnych [5, 7, 12]. Instytut Nafty i Gazu jest jedynym ośrodkiem badawczym w kraju, który prowadzi badania symulacyjne tego rodzaju. Badania te są prowadzone w Zakładzie Analiz Naftowych w Krakowie.

W warunkach laboratoryjnych nie można zasymulować w pełni warunków panujących w kawernie solnej. Przede wszystkim, w kawernie – z uwagi na jej głębokość – panuje wysokie ciśnienie hydrostatyczne, rosnące wzdłuż głębokości kawerny (wysokości słupa cieczy). Kawerny wylugowane w wysadach solnych mają po kilkaset metrów głębokości, przy czym sam wysad solny znajduje się najczęściej na głębokości kilkuset metrów pod powierzchnią gruntu.

Początkowo w INiG prowadzono badania symulacyjne jedynie w warunkach podwyższonej temperatury. Wyniki tych badań, choć symulacja nie była doskonała, pozwalały na zróżnicowanie paliw na odporne na przechowywanie w warunkach modelowych i paliw, których właściwości fizykochemiczne w tych warunkach ulegały znacznemu pogorszeniu, co dyskwalifikowało je do przechowywania w kawernach solnych. Aktualnie metodyka INiG obejmuje również określenie wpływu ciśnienia, wynoszącego 100 bar, na parametry jakościowe paliw.

Symulacja w warunkach modelowych, w celu określenia przydatności paliwa do długotrwałego przechowywania w warunkach kawerny solnej, obejmuje przechowywanie badanych paliw na stanowisku badawczym, w którym paliwo ma kontakt z solą i solanką w warunkach podwyższonej temperatury i wysokiego ciśnienia.

Jeżeli prowadzi się badania mające na celu określenie częstotliwości i skali rotacji zawartości kawerny (okresowej wymiany części zawartości kawerny na paliwo „świeże” w celu zmniejszenia ryzyka pogorszenia właściwości fizykochemicznych przechowywanego paliwa) – ze względu na sposób wykonywania symulacji rotacji w warunkach laboratoryjnych, nie ma aktualnie możliwości technicznych symulacji w warunkach ciśnieniowych. Metodyka INiG podlega jednak ciągłemu rozwojowi, w miarę jak przemysł rafineryjny zgłasza potrzebę rozwiązania istniejących problemów badawczych w tym zakresie.

Kolejnym parametrem, którego nie można zasymulować w warunkach laboratoryjnych, jest zmiana temperatury wzdłuż wysokości kawerny. Pomiar w warunkach rzeczywistych [2] wykazały, że wzdłuż głębokości kawerny występuje wzrost temperatury przechowywanego paliwa lub ropy naftowej. W warunkach laboratoryjnych można jedynie zastosować stałą temperaturę.

Nie jest również możliwe zasymulowanie w warunkach laboratoryjnych wzrostu prężności par ropy naftowej i benzyn silnikowych, występującego w warunkach rzeczywistych. Wzrost ten wynika z występowania w kawer-

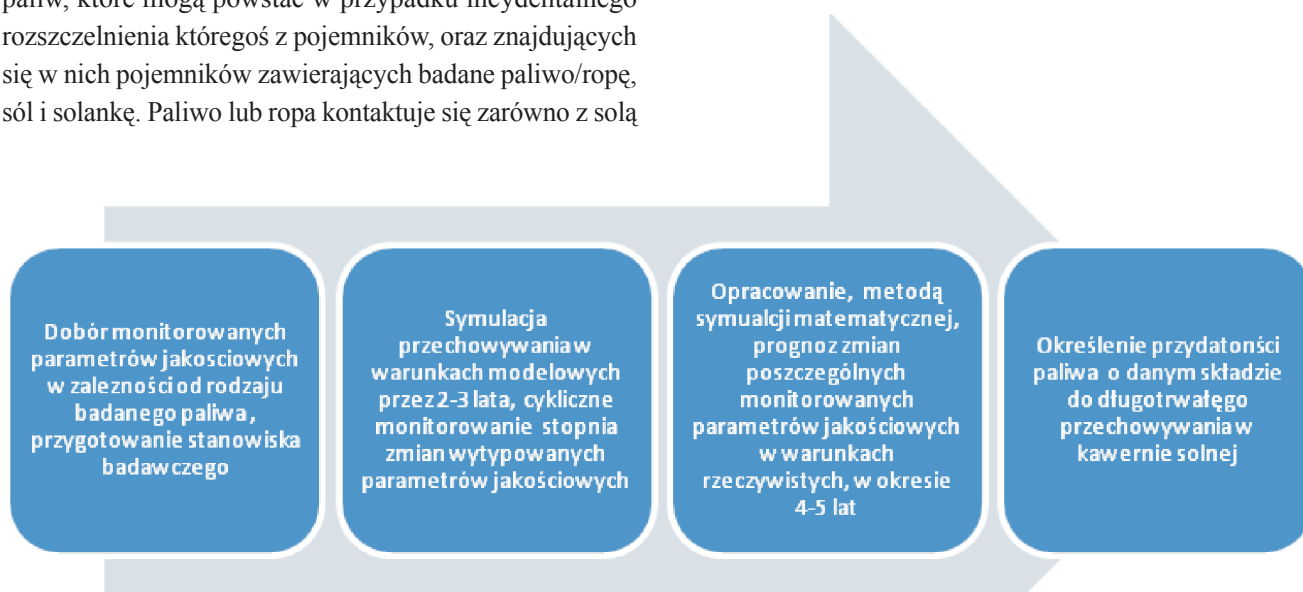
nie gradientowego ciepła geotermalnego i potencjalnego przenikania gazu ziemnego z górotworu do pojemności magazynowej kawerny [5, 12]. W warunkach rzeczywistych w kawernie profilaktycznie przeprowadza się okresowo proces odgazowania zawartości kawerny dla obniżenia prężności par.

Istota badań w modelowej kawernie sprowadza się do przechowywania próbek paliw i rop naftowych w obecności soli kamiennej i solanki, bez dostępu powietrza, na stanowisku badawczym konstrukcji własnej Instytutu Nafty i Gazu, przez 2–3 lata. Co 6 miesięcy dokonywana jest ocena wybranych właściwości fizykochemicznych paliw. W celach porównawczych w tych samych warunkach, ale bez obecności soli i solanki, przechowywane są również próbki paliw o tym samym składzie (lub tej samej ropy naftowej), co pozwala odróżnić procesy zachodzące pod wpływem obecności soli i solanki od zachodzących wyłącznie pod wpływem podwyższonej temperatury i ciśnienia. Próbkę kontrolną bada się co drugi cykl, czyli w odstępach rocznym. Próbkę paliwa są przechowywane w warunkach modelowych przez okres 2–3 lat, po czym – na podstawie zachodzących zmian parametrów jakościowych – sporządza się prognozę zmian dla każdego z parametrów jakościowych w okresie kolejnych 4–5 lat. Schemat badań symulacyjnych przedstawiono na rysunku poniżej.

Stanowisko badawcze składa się z komór cieplnych, zapewniających stałą temperaturę 35°C, z systemem bezpieczeństwa w zakresie odprowadzania ewentualnych par paliw, które mogą powstać w przypadku incydentalnego rozszczelnienia któregoś z pojemników, oraz znajdujących się w nich pojemników zawierających badane paliwo/ropę, sól i solankę. Paliwo lub ropa kontaktuje się zarówno z solą

kamienną (pokruszony rdzeń solny, pochodzący ze złoża w IKS Solino na głębokości odpowiadającej głębokości rzeczywistej kawerny solnej), jak i z nasyconą solanką. Symulacja laboratoryjna nie jest w stanie oddać proporcjonalnie powierzchni kontaktu objętości paliwa w kawernie rzeczywistej z solą i solanką, dlatego też ten wskaźnik jest jedynie przybliżony. Z uwagi na rozszerzalność cieplną cieczy, pojemnik nie może być napełniony całkowicie. Wolna przestrzeń jest wypełniona azotem, gdyż w rzeczywistej kawernie powietrze może znaleźć się jedynie w wyniku rozpuszczenia się w solance lub ropie albo paliwie podczas procesu przepompowywania.

INiG posiada dwa rodzaje stanowisk badawczych: do symulacji w warunkach bezciśnieniowych (pod ciśnieniem atmosferycznym) oraz model ciśnieniowy, gdzie – w miejsce ciśnienia hydrostatycznego – stosuje się nadciśnienie około 100 bar, wytworzone sztucznie. W przypadku prowadzenia badań w systemie bezciśnieniowym stosuje się pojemniki szklane szczelnie zamknięte zakrętką z poli-propylenem z pierścieniem uszczelniającym. W przypadku modelu ciśnieniowego stosuje się metalowe pojemniki ciśnieniowe dwuzaworowe z wewnętrzną powłoką teflonową i zaworem bezpieczeństwa. W celu uzyskania ciśnienia 100 bar w cylindrze dwuzaworowym (modelu kawerny ciśnieniowej) stosuje się ręczną pompkę ciśnieniową, którą podaje się solankę przez dolny zawór pojemnika, aż do momentu zadziałania zaworu przelewowego umieszczonego na drugim końcu pojemnika.



Rys. 1. Schemat prowadzenia badań symulacyjnych przechowywania paliw w kawernie solnej

Dobór monitorowanych parametrów jakościowych ropy i paliw

Wartość monitorowanych parametrów jakościowych odnosi się do wymagań aktualnej obligatoryjnej specyfikacji danego paliwa i/lub normy zakładowej zlecniodawcy badań oraz do wymogów aktualnej Światowej Karty Paliw. Wystarczy, aby jeden z parametrów jakościowych w prognozie uległ pogorszeniu poniżej dopuszczalnego poziomu lub niebezpiecznie zbliżył się do wartości granicznej, aby stwierdzić, że badane paliwo nie nadaje się do przechowywania w kawernie solnej.

Paliwo do badań może dostarczyć zlecniodawca, jeżeli jest to paliwo z aktualnej produkcji. Partię paliwa do badań może również wytworzyć INiG w Zakładzie Paliw i Procesów Katalitycznych z powierzonych surowców i według ustalonej ze zlecniodawcą receptury, jeżeli jest to paliwo przyszłościowe, jeszcze niewdrożone do produkcji.

Poniżej przedstawiono, na przykładzie badania benzyn silnikowych, filozofię doboru parametrów jakościowych, które podlegają monitorowaniu. Zakres monitorowanych parametrów jest uzgadniany ze zlecniodawcą badań.

Monitorowany parametr jakościowy:

1. Skład frakcyjny
2. Prężność par
3. Gęstość
4. Barwa
5. Kwasowość
6. Liczba oktanowa motorowa
7. Okres indukcyjny
8. Zawartość żywic obecnych (po przemyciu rozpuszczalnikiem)
9. Zawartość żywic nieprzemycanych (bez przemycia rozpuszczalnikiem)
10. Zawartość żywic potencjalnych
11. Zawartość węglowodorów typu olefinowego i aromatycznego
12. Liczba bromowa
13. Zawartość metali: Ca, Mg, K, Na
14. Zawartość wody
15. Korozja na miedzi
16. Korozja na trzpieniach stalowych

W przypadku benzyn silnikowych w zakres badań wchodzi parametry jakościowe określające ich podatność na zmiany podczas przechowywania:

- okres indukcyjny – jest miarą stabilności chemicznej benzyny w czasie długotrwałego przechowywania. Minimalna wartość okresu indukcyjnego, wymagana dla benzyn silnikowych zarówno przez specyfikację obligatoryjną (rozporządzenie), jak i normę EN 228,

wynosi 360 minut – również dla benzyn silnikowych z zawartością bioetanolu. Światowa Karta Paliw określa to wymaganie na poziomie minimum 480 minut,

- zawartość żywic nieprzemycanych i obecnych – jest miarą skłonności badanej benzyny silnikowej do tworzenia osadów w systemie zasilania silnika samochodowego, a także w komorze spalania. Wysokie wartości tych dwóch parametrów dla badanej benzyny silnikowej będą wskazywać na zachodzenie procesów utleniania w paliwie. Do puli żywic nieprzemycanych należy wliczyć żywice obecne (związki nierozpuszczalne w n-heptanie i związki nielotne – potencjalne zanieczyszczenia oraz dodatki). Limit dopuszczalnej zawartości żywic obecnych według EN 228 wynosi 5 mg/100 ml, natomiast EN 228 nie precyzuje wymagań dla zawartości żywic nieprzemycanych. Światowa Karta Paliw określa zawartość żywic nieprzemycanych na maksymalnym dopuszczalnym poziomie 30 mg/100 ml, a żywice po przemyciu – maksymalnie 5 mg/100 ml,
- zawartość żywic potencjalnych – parametr ten obejmuje cały „potencjał” badanej benzyny silnikowej do tworzenia żywic i osadów w układzie zasilania samochodu i jest dodatkowym wskaźnikiem stabilności chemicznej benzyny, stosowanym w celach badawczych. Parametr ten nie jest ujęty ani w normie EN 228, ani w Światowej Karcie Paliw, jednak można go z powodzeniem zastosować do dodatkowej oceny stabilności paliwa. Niska zawartość żywic potencjalnych może świadczyć o mniejszej tendencji danej benzyny do utleniania podczas przechowywania. Co prawda, w kawernie nie ma dostępu powietrza, ale – jak już wspomniano – nie da się uniknąć jego obecności w postaci rozpuszczonej w solance lub paliwie (ropie naftowej). Dlatego też nie można całkowicie wykluczyć zachodzenia procesów utleniania w przechowywanym paliwie lub ropie.

Monitorowanie pozostałych dobranych parametrów jakościowych ma, między innymi, określić podatność/odporność badanego paliwa na przechodzenie do niego wody i pierwiastków metalicznych z solanki i soli oraz określić prekursorzy utlenienia (liczba bromowa), lotność itp.

Badania porównawczej (kontrolnej) benzyny silnikowej, przechowywanej bez soli i solanki w tych samych warunkach ciśnienia i temperatury, wykonywane są po 12 i 24 miesiącach symulacji magazynowania (co drugi cykl). Z uwagi na fakt, że przedstawiony powyżej zakres badań wymaga w każdym cyklu badawczym zużycia ilości badanego paliwa rzędu 3 litrów, na etapie przygotowywania stanowiska badaw-

czego napełnia się badanym paliwem kilkadziesiąt pojemników (szklanych – w przypadku stanowiska bez ciśnienia lub stalowych ciśnieniowych – w przypadku stanowiska z symulacją ciśnienia), przygotowując je w odpowiedniej ilości, żeby ze stanowiska wyjmować każdorazowo taką liczbę pojemników, która zapewni odpowiednią ilość paliwa do badań. Pozostałe pojemniki w stanie nienaruszonym są przechowywane dalej. Po wyjęciu pojemników szklanych ze stanowiska badawczego pozostawia się je do ostygnięcia w temperaturze pokojowej, po czym ocenia się wygląd warstwy soli i solanki w celu ustalenia, czy nie wytrąciły się zanieczyszczenia lub nie powstały emulsje na granicy faz. Paliwo ostrożnie dekantuje się z poszczególnych pojemników znad warstwy soli i solanki, aby nie zanieczyścić próbki solanką, po czym zlewa się do jednego, szczelnie zamykanego pojemnika i ujednorodnia poprzez wytrząsanie. Tak przygotowana próbka jest kierowana do badań jakościowych.

W przypadku pojemników ciśnieniowych – po wyjęciu pozostawia się je do ostygnięcia w temperaturze pokojowej i przenosi badane paliwo do pojemników szklanych, gdzie poddaje się je ujednorodnieniu. W przypadku benzyn – schładza się dodatkowo pojemnik ciśnieniowy do temperatury poniżej 0°C, a paliwo przenosi do schłodzonych pojemników szklanych.

Wyniki monitorowania co 6 miesięcy jako wartości parametrów jakościowych są ujmowane w postaci graficznej. Sól i solanka nie są poddawane badaniom.

W wyniku matematycznego modelowania, wyniki uzyskane w warunkach modelowych są przenoszone na warunki rzeczywiste kawerny solnej. Badanie modelowe prowadzone przez 2 lata umożliwia przeniesienie wyników na warunki rzeczywiste dla 6-8 lat magazynowania. Ponieważ raczej nie stosuje się dłuższego przechowywania paliw w kawernach solnych, są to wyniki całkowicie wystarczające.

Wnioski

1. Przyjęta w INiG metodyka badań symulacyjnych pozwala na monitorowanie potencjalnej zmiany parametrów fizykochemicznych ropy naftowej i paliw płynnych podczas długotrwałego magazynowania w kawernie solnej.
2. Badania laboratoryjne dają wystarczające przybliżenie do warunków rzeczywistych, aby można było na ich podstawie prognozować zmiany jakości paliw (lub właściwości ropy naftowej) w warunkach rzeczywistych magazynowania w kawernie solnej.

Literatura

- [1] Chuan-liang S. Yu-fei T.: *Temperature and Pressure Variations in Salt Caverns Used for Oil Reserve during Storage Process*. 2009 International Conference on Energy and Environment Technology, Guilin, China, October 16-October 18.
- [2] *Evaluation of the effects of long-term storage in salt caverns on the physical and chemical properties of certain crude oils and distillate fuel oils*. Final report, July 1979, Kavernen Bau-und-Betriebs-GmbH dla US Department of Energy.
- [3] Klecan R., Orzechowski P., Miga K.: *Przechowywanie olejów napędowych i paliwa lotniczego w podziemnych zbiornikach utworzonych w wysadach solnych*. „Nafta-Gaz” 1984, nr 5, s. 188–192.
- [4] *Krok dalej. Polsko-amerykańska współpraca gospodarcza. Stan obecny i perspektywy*, pkt. *Strategiczne rezerwy paliwowe*. Materiały na Polsko-Amerykański Szczyt Gospodarczy. Warszawa, 20 czerwca 2012.
- [5] Lord D., Rudeen D.: *Analysis of Crude Oil Vapor Pressures at the U.S. Strategic Petroleum Reserve*. Sandia Report SAND2005-4322. Prepared by Sandia National Laboratories USA, Printed August 2005.
- [6] Melaniuk J.: *The PERN “Przyjaźń” Group Presentation*. Konferencja Poland’s Natural Gas Revolution: Energy, Security and Geopolitics, 15.10.2011. Rice University, Houston, USA.
- [7] Niederhoff P.: *Long-term behaviour of crude and distillate fuel oil stored in salt caverns*. ISRM International Symposium, Rockstore 80, June 23-27, 1980, Stockholm, Sweden.
- [8] Olechnowicz P.: *LOTOS Project Cavern, Establishing a Strategic Petroleum Reserve in Poland*. Konferencja Poland’s Natural Gas Revolution: Energy, Security and Geopolitics, 15.10.2011. Rice University, Houston, USA.
- [9] *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16.12.2009 r. w sprawie szczegółowego wykazu surowców oraz produktów naftowych objętych systemem zapasów interwencyjnych* (Dz.U. z 2009 roku nr 220, poz. 1727).
- [10] *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 24.04.2007 r. w sprawie rejestru producentów i handlowców obowiązanych do tworzenia i utrzymywania zapasów obowiązkowych ropy naftowej lub paliw* (Dz.U. z 2007 roku nr 81, poz. 548).
- [11] *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 24.04.2007 r. w sprawie szczegółowego sposobu tworzenia i utrzymywania zapasów obowiązkowych ropy naftowej lub paliw oraz ustalania ich ilości* (Dz.U. z 2007 roku nr 81, poz. 547).
- [12] *Strategic Petroleum Reserve. Annual Report for calendar year 2006.*, US. Department of Energy, DOE/FE-0511, p. 88
- [13] *Ustawa z dnia 16.02.2007 r. o zapasach ropy naftowej, produktów naftowych i gazu ziemnego oraz zasadach postępowania w sytuacjach zagrożenia bezpieczeństwa paliwowego państwa i zakłóceń na rynku naftowym* (Dz.U. z 2007 roku nr 52, poz. 343 z późn. zm.).
- [14] *Ustawa z dnia 29.10.2010 r. o rezerwach strategicznych* (Dz.U. z 2010 roku nr 229, poz. 1496 z późn. zm.).



Dr inż. Beata ALTKORN – adiunkt, kierownik Zakładu Analiz Naftowych Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie, autor wielu norm z zakresu badania produktów naftowych i biopaliw. Autor projektów badawczych, specjalista w zakresie uregulowań prawnych związanych z produktami naftowymi oraz autor ekspertyz z zakresu metod badań paliw silnikowych.