

Płuczka aminowo-glikolowa szansą na stabilność reaktywnych formacji ilasto-lupkowych oraz frakcji ilastej skał piaskowcowych

Amine-glycol drilling mud as a chance for the stability of reactive clay-shale formations and clay fraction of sandstone rocks

Małgorzata Uliasz, Grzegorz Zima, Bartłomiej Jasiński

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Podczas przewiercania warstw skał ilasto-lupkowych często występują problemy z utrzymaniem stateczności ściany otworu. Wywołują je zarówno czynniki związane z regionalnymi oraz lokalnymi warunkami naprężeniowymi na danym obszarze, z właściwościami mechanicznymi skał w otworze, jak i z fizykochemicznymi oddziaływaniami w układzie skała-płuczka wiertnicza. Procesy fizykochemiczne związane z reakcją płuczki z przewiercanymi reaktywnymi utworami ilowców i mułowców są jednymi z kluczowych przyczyn niestabilności tych warstw. Zapobieganie skutkom tych niekorzystnych procesów fizykochemicznych należy prowadzić poprzez dobór mineralizacji płuczki wiertniczej w odniesieniu do mineralizacji wody w skale oraz zastosowanie w jej składzie inhibitorów polimerowych efektywnie ograniczających hydratację „wrażliwych na wodę” skał ilasto-lupkowych. W związku z tym ciągle są poszukiwane nowe technologie wysokoinhibitowanych płuczek wiertniczych, które pozwoliłyby na zmniejszenie hydratacji przewiercanych warstw w stopniu zbliżonym do efektu zastosowania płuczki inwersyjnej. Takie działanie przypisywane jest płuczkom, w których rolę inhibitora polimerowego pełnią środki zawierające w łańcuchu głównym grupę aminową. Środki te ze względu na specjalny mechanizm oddziaływania na przestrzenie międzypakietowe minerałów ilastych wyróżniają się wyższą skutecznością zapobiegania ich pęcznieniu i dyspersji niż znane i dotychczas stosowane inhibitory polimerowe. W artykule przedstawione zostały wyniki badań nad opracowaniem wysokoinhibitowanej płuczki wiertniczej zawierającej różne rodzaje środków aminowych. Badania laboratoryjne przeprowadzono dla warunków występujących w przewiercanych utworach jednostek karpaccich, jednostki stebnickiej i miocenu autochtonicznego. Celem tych badań była ocena właściwości reologiczno-strukturalnych i inhibitujących oraz filtracji nowej odmiany inhibitowanej płuczki wiertniczej – aminowo-glikolowej. Przeprowadzone w warunkach otworopodobnych badania z różnymi rodzajami środków aminowych wykazały przydatność tej płuczki do przewiercania warstw skał ilasto-lupkowych i dowiercania horyzontów produktywnych występujących na złożu Przemysł.

Słowa kluczowe: płuczka wiertnicza, warstwy ilasto-lupkowe, zapobieganie hydratacji, inhibitor polimerowy, środki aminowe.

ABSTRACT: During drilling through shale rocks, problems with maintaining the stability of the borehole wall often occur. These issues are caused by factors related to both regional and local stress conditions in the impacted area, mechanical properties of rocks in the borehole and physicochemical interactions in the rock-drilling mud system. Physicochemical processes related to the reaction of the drilling mud with the drilled reactive clay and mudstone formations are one of the key reasons for the instability of these layers. Prevention of the effects of these adverse physicochemical processes should be lead through the selection of drilling fluid mineralization in relation to the mineralization of water in the rock and the use of polymeric inhibitors in its composition effectively limiting the hydration of “water sensitive” clay-shale rocks. Therefore, new technologies of highly inhibited drilling muds are still being researched, which would allow to reduce the hydration of the drilled layers to match that of the effect of using an inversion mud. This effect is attributed to the drilling muds, in which the role of the polymer inhibitor is played by agents containing an amino group in the main chain. Due to the special mechanism of impact on the interlayer spaces of clay minerals, these chemical agents are distinguished by a higher effectiveness of prevention of their swelling and dispersion compared to the hitherto known and previously used polymer inhibitors. The article presents the results of research on the development of a highly inhibited drilling mud containing various types of amine agents. The laboratory tests were carried out in conditions occurring in the drilled formations of the Outer Carpathian units, the Stebnik unit as well as the autochthonous Miocene. The aim of these studies was to assess the rheological-structural and inhibiting properties as well as the filtration of the new type of inhibited drilling mud – amine-glycol. Tests carried out in borehole-like conditions with different the types of amine agents showed the suitability of this drilling mud for drilling clay-shale layers and for drilling productive horizons occurring in the Przemysł gas field.

Key words: drilling mud, shale-clay formations, hydration prevention, polymeric inhibitor, amine agents.

Autor do korespondencji: M. Uliasz, e-mail: malgorzata.uliasz@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji: 15.07.2022 r. Zatwierdzono do druku: 05.10.2022 r.

Przegląd wybranych systemów inhibitowanych płuczek wiertniczych

W procesie wiercenia otworu poważnym problemem technicznym jest niestabilność warstw łupkowych zawierających ility, czego konsekwencją jest wydłużenie czasu realizacji i zwiększenie kosztów operacji wiertniczych oraz znaczny wzrost parametrów reologicznych stosowanej płuczki na skutek jej zagęszczania bezużyteczną fazą stałą pochodzącą z urabiania skał. Niestabilność tych warstw, różniących się właściwościami fizykochemicznymi, jest wynikiem złożonych interakcji fizycznych i chemicznych zachodzących w nich w kontakcie z płuczkami wiertniczymi, które związane są z przepływem hydraulicznym, osmozą, dyfuzją jonów, zmianami ciśnienia hydrostatycznego, wymianą jonową, zmianą zawartości wody w łupkach i ciśnienia pęcznienia. Podejmowane próby zapobiegania i kontrolowania intensywności występowania tych zjawisk, które znacząco obniżają wytrzymałość mechaniczną skał ilasto-łupkowych, koncentrują się głównie na projektowaniu systemów inhibitowanych płuczek wiertniczych o właściwościach technologicznych odpowiadających danym warunkom geologiczno-złożowym.

Przewiercanie reaktywnych formacji ilasto-łupkowych wymaga użycia płuczek wiertniczych o wysokiej efektywności zapobiegania ich hydratacji, do których zaliczana jest przede wszystkim płuczka inwersyjna. Na ogół jest ona stosowana w utworach, których skały ilasto-łupkowe wykazują znaczącą skłonność do adsorpcji wody, powodującej zaburzenia ich równowagi na ścianie otworu. Zabezpieczenie przed hydratacją takich warstw przez płuczkę inwersyjną zachodzi na skutek zwilżania ich olejem, który ze względu na ciśnienia kapilarne nie wnika w pory skał zwilżane wodą, oraz występowania ciśnienia osmotycznego generowanego przez niską aktywność fazy wodnej tej płuczki. Procesy te odgrywają podstawową rolę w warstwach skał ilasto-łupkowych „wrażliwych na wodę”, przeciwdziałając ich pęcznieniu lub plastycznemu odkształceniu i zapewniając tym samym stateczność ściany otworu. Natomiast z przewiercaniem szczelinowatych skał łupkowych zaburzonych tektonicznie wiąże się ryzyko ucieczek tej płuczki w mikroszczeliny i pęknięcia z powodu zwilżania (smarowania) ich powierzchni. Występujące w takich przypadkach obniżenie ciśnienia hydrostatycznego płuczki i zwiększenie naprężeń w skale mogą powodować wzrost przewodności szczeliny lub powstawanie nowych pęknięć oraz prowadzić do zawalów ściany otworu (Schlemmer et al., 2003; Montilva et al., 2007). Powyższe problemy, jak również dodatkowo wysokie koszty sporządzania i stosowania płuczki inwersyjnej, uciążliwe warunki jej serwisowania, a także skutki oddziaływania na środowisko sprawiają, że nieprzerwanie prowadzone są badania nad opracowywaniem wodnodispersyjnych płuczek

wiertniczych o działaniu inhibitującym stanowiących alternatywę dla płuczki inwersyjnej.

Na przestrzeni lat opracowano kilka rodzajów inhibitowanych płuczek wiertniczych o różnym stopniu zapobiegania hydratacji skał ilasto-łupkowych. W składach tych płuczek kluczowymi inhibitorami jonowymi są sole potasowe (KCl, HCOOK) oraz inhibitory polimerowe: organiczne (PHPA, poliglikol, polimery kationowe) i nieorganiczne (szkła wodne – krzemian sodowy lub potasowy) (Raczkowski et al., 1999; Chudoba et al., 2000; Uliasz, 2000; Uliasz et al., 2006). Płuczki wiertnicze zawierające PHPA i poliglikol (PEG) to podstawowe systemy płuczek inhibitowanych, które powszechnie stosowane są do przewiercania formacji ilasto-łupkowych w utworach miocenu i triasu. Są to płuczki o podwójnym (KCl-PHPA, KCl-PEG), a najczęściej potrójnym (KCl-PHPA-PEG) inhibitowaniu jonowo-polimerowym.

W warunkach otworowych została zastosowana również płuczka krzemianowa zawierająca szkło wodne potasowe. Wykorzystano ją w dwóch otworach do przewiercania warstw ilasto-łupkowych w utworach miocenu (Uliasz et al., 2008). Natomiast płuczka sporządzona na podstawie szkła wodnego sodowego użyta została w utworach triasu podczas wiercenia otworu na Niżu Polskim (Goc i Bielewicz, 2000). Podejmowane były również próby użycia w utworach zapadliska przedkarpackiego płuczki kationowej zawierającej wielkocząsteczkowy kationowy poliakryloamid oraz małowcząsteczkową czwartorzędową poliaminę. Płuczka kationowa pomimo wysokiej efektywności zapobiegania hydratacji warstw skał ilasto-łupkowych, porównywalnej z płuczką inwersyjną, nie zyskała szerszego zainteresowania serwisów płuczkowych – zagranicznych ani krajowych (Uliasz, 2000). Powodem była toksyczność tych polimerów, a głównie ich ograniczona kompatybilność z anionowymi składnikami płuczki wiertniczej, która miała wpływ na jej właściwości reologiczno-strukturalne i wymagała szczególnej ich kontroli w czasie wiercenia otworu.

Systemy inhibitowanych wodnodispersyjnych płuczek wiertniczych są doskonałe głównie za sprawą wykorzystywania w ich składach nowych rodzajów polimerowych inhibitorów hydratacji (Błaż, 2010; Uliasz, 2010, 2011; Uliasz et al., 2015, 2018; Zima et al., 2017; Zima, 2019, 2020). Do grupy tych inhibitorów zaliczane są m.in. związki organiczne zawierające pierwszorzędową grupę aminową ($-NH_2$), będącą pochodną amoniaku (NH_3).

W przeprowadzonych w INiG – PIB badaniach w składach wodnodispersyjnych inhibitowanych płuczek wiertniczych wykorzystano różne środki chemiczne, w których łańcuchu polimerowym występowały grupy aminowe. Spośród tych środków do badań wytypowano poliwinylaminę, polieteroaminę oraz mieszaninę dietylenotriaminy z kwasem octowym. W zależności od rodzaju użytych środków aminowych opra-

cowane wodnodispersyjne płuczki wiertnicze zaproponowane zostały do przewiercania warstw skał ilasto-łupkowych lub dowercania horyzontów produktywnych w utworach złoza Przemysł.

Środki aminowe składnikami inhibitowanych płuczek wiertniczych

W technologii płuczkowej środki aminowe znane są od szeregu lat jako kationowe środki powierzchniowo czynne i polimerowe inhibitory hydratacji skał ilastych, reprezentowane najczęściej przez sole amoniowe. Nowym rodzajem inhibitorów hydratacji skał ilasto-łupkowych wykorzystywanych w składach płuczek wiertniczych są poliaminy zawierające pierwszorzędowe grupy aminowe przyłączone do atomów węgla w łańcuchu głównym. Te wysokoreaktywne grupy można modyfikować w kontrolowanych reakcjach chemicznych, otrzymując związki o różnych masach cząsteczkowych. Jednym z takich polimerów jest poliwiniloamina – PVAm, polielektrolit kationowy zawierający największą liczbę pierwszorzędowych grup aminowych w łańcuchu głównym spośród różnych rodzajów poliamin. W związku z tym, że poliwiniloamina nie ma swojego monomeru, otrzymywana jest w reakcji hydrolizy poli(N-winyloformamidu), (PNVF), przebiegającej zarówno w środowisku kwasowym, jak i zasadowym. Wynikiem hydrolizy kwasowej jest poliwiniloamina w postaci chlorowodoru, natomiast hydrolizy zasadowej – polimer z wolnymi pierwszorzędowymi grupami aminowymi. Ważną rolę w kształtowaniu właściwości fizykochemicznych PVAm odgrywa azot, który posiada wolną parę elektronową. W roztworach o $\text{pH} < 7$ PVAm jest polikationem, ponieważ aminy przyłączają proton do wolnej pary elektronowej na azocie i powstaje kation – protonowana amina (NH_3^+), która z anionem reszty kwasowej tworzy sól. Natomiast po podwyższeniu pH roztworu tej soli powyżej 7 otrzymywana PVAm zawiera wolne grupy aminowe (NH_2) (Bortel et al. 2005, 2007; DiFlavio et al., 2005; Witek et al., 2007; Demirci et al., 2021; Zintegrowana Platforma Edukacyjna).

Wiodącym producentem polimerów opartych na poliwiniloaminie jest firma BASF. Nazwa handlowa otrzymywanych polimerów to Lupamin. Te liniowe polimery, różniące się masą molową, mogą zawierać w roztworze wodnym od 10% do 95% merów winyloaminowych (BASF Products). Natomiast firma Huntsman Corporation zsyntetyzowała polieteroaminy znane pod nazwą Jeffamine. Są to środki, które w łańcuchu polimerowym zawierają pierwszorzędowe grupy aminowe przyłączone do końca szkieletu polieterowego reprezentowanego przez poli(tlenek propylenu), poli(tlenek etylenu) lub mieszaninę tych tlenków (Huntsman Corporation).

Zdolność poliamin do zapobiegania dyspersji i pęcznieniu skał wrażliwych na wodę wynika z ich właściwości fizykochemicznych zależnych od pH roztworu. Zakłada się, że oddziaływanie tych środków na skały ilasto-łupkowe może zachodzić na skutek wiązania neutralnych cząsteczek aminy z minerałami ilastymi poprzez kationy metali lub łączenia się cząsteczek aminy protonowanej w miejsce kationów wymiennych (Patel et al., 2001, 2002; Jarrett i Dye, 2005; Young i Stamatakis, 2006). Xie et al. (2017) dowodzili, że skuteczność ich inhibitującego działania będzie ulegała podwyższeniu wraz ze wzrostem liczby pierwszorzędowych grup aminowych w łańcuchu polimerowym, która z kolei zależy od liczby atomów węgla w tym łańcuchu. Poliaminy liniowe, do 10 atomów węgla w łańcuchu, mogą tworzyć w przestrzeni międzypakietowej warstwę monomolekularną, natomiast w przypadku poliamin rozgałęzionych o liczbie atomów węgla w łańcuchu powyżej 10 – poliwarstwę. Powstawanie tych warstw zachodzi na skutek oddziaływania elektrostatycznego i wiązania wodorowego między pierwszorzędowymi grupami aminowymi i warstwami tetraedrycznymi krzemowo-tlenowymi (SiO_4).

Większa liczba grup aminowych w łańcuchu polimerowym sprzyja silniejszemu wiązaniu cząsteczek amin z powierzchnią pakietów minerałów, blokując dostęp wody do przestrzeni międzypakietowej. Zaadsorbowane cząsteczki amin zabezpieczają ich powierzchnie przed dalszą adsorpcją wody przez minerały ilaste, przy czym jak wykazali Zhang et al. (2016), mniejsze powinowactwo do wody w obecności tych amin będą miały montmorillonit i illit niż kaolinit.

Efektywność inhibitującego działania poliamin jest istotna także ze względu na charakterystykę reologiczną płuczki wiertniczej, określającą zdolność płynięcia i zmiany jej konsystencji w czasie, na które ma wpływ m.in. faza stała pochodząca z urabiania skał (zwierciny). Uwzględniając adsorpcję tych środków także na zwiercinach, ich właściwości fizykochemiczne mają wpływ zarówno na ograniczanie hydratacji rozdrobionej przez świder skały o dużej wrażliwości na wodę, jak i na łączenie drobnodispersyjnych cząstek ilastych w większe zespoły (flokuly). Procesy te zapobiegają powstawaniu w płuczce nadmiaru beużytecznej fazy stałej, ułatwiają transport zwiercin z otworu i oczyszczanie płuczki na sitach, zapobiegając tym samym wzrostowi jej parametrów reologiczno-strukturalnych i tworzeniu na ścianie otworu grubego osadu filtracyjnego.

Uwzględniając powyższe zalety poliamin jako inhibitorów polimerowych, przeprowadzono szeroki zakres badań laboratoryjnych nad opracowaniem inhibitowanej płuczki wiertniczej z udziałem różnych polimerów zawierających grupy aminowe. Ich ilości ustalono doświadczalnie na podstawie nie tylko efektywności zapobiegania hydratacji skał ilasto-łupkowych, ale również kompatybilności działania ze środkami chemicznymi

i fazą stałą o charakterze anionoczynnym w ośrodku dyspersyjnym płuczki o odpowiednim potencjale chemicznym.

Ocena oddziaływania różnych środków aminowych na właściwości technologiczne inhibitowanej płuczki wiertniczej

Do badań laboratoryjnych wytypowano środki aminowe, które zsyntezowane zostały w warunkach laboratoryjnych na Wydziale Chemii UJ, a były to: poliwiniloamina wielko-cząsteczkowa (PVAm-W) i małowcząsteczkowa (PVAm-M), oraz produkty handlowe takie jak: B2095, KL-S oraz BP30. Badania laboratoryjne płuczek wiertniczych zawierających wytypowane polimery przeprowadzono dla warunków występowania skał ilasto-łupkowych oraz skał zbiornikowych w utworach miocenu. W związku z tym właściwości reologiczno-strukturalne sporządzonych płuczek w warunkach otworopodobnych określone zostały dla dwóch zakresów temperatur: 20–60°C – płuczki stosowane w warstwach ilasto-łupkowych oraz 20–80°C – płuczki do horyzontów produktywnych zawierających spoiwo ilaste. Natomiast ich właściwości inhibitujące oznaczono w temperaturach 20°C i 50°C na podstawie wyników dwustopniowych testów dyspersji wzorcowej skały ilasto-łupkowej – łupku miocenińskiego, czyli wielkości odzysku tego łupku po dyspersji w danej płuczce wiertniczej (P_1) i wodzie (P_2). Ponieważ ilość odzyskanej skały zależy także od wysokości parametrów reologiczno-strukturalnych płuczki, istotna dla oceny jej właściwości inhibitujących jest wartość P_2 . To wskaźnik świadczący o stopniu zabezpieczenia badanej skały ilastej przez płuczkę inhibitowaną przed dalszą jej hydratacją w środowisku wody.

Płuczka wiertnicza zawierająca poliwiniloaminę

Najszerzy zakres badań przeprowadzono z PVAm-W i PVAm-M, które otrzymano w postaci roztworów o stężeniu 3,8–7% czystego polimeru i wartości pH w zakresie od 6,7 do 9,4. W celu rozpoznania efektywności ich działania

wykonano wstępne badania z użyciem płuczki stanowiącej obciążoną, koloidalną zawiesinę polimerową zawierającą 5% KCl. Otrzymane wyniki tych badań dowiodły, że na stabilność zawiesiny koloidalnej płuczki oraz jej właściwości reologiczne i inhibitujące miały wpływ ilość PVAm i wartość pH jej roztworów. Podwyższanie ilości PVAm-W lub PVAm-M o pH około 9 w płuczce wyjściowej powodowało obniżanie jej parametrów reologicznych oraz sklejanie cząstek łupku dyspergowanego w środowisku tej płuczki kłaczkowatą zawiesiną strąconych polimerów. Zastosowane w płuczce takie same ilości poliwiniloaminy o pH < 7 oprócz pogarszania jej właściwości reologicznych dodatkowo powodowały flokulację fazy stałej.

Na podstawie uzyskanych wyników – dla każdej odmiany poliwiniloaminy ustalono w składzie płuczki wiertniczej graniczne wartości stężenia, które w przeliczeniu na suchą masę wynosiły: PVAm-W – 0,1% i PVAm-M – 0,5–0,7%. Zastosowane stężenia PVAm nie wywoływały znacznego pogorszenia jej parametrów reologicznych i pozwalały na odzyskiwanie w teście dyspersji możliwie największej ilości odpowiedniej jakości próbki łupku miocenińskiego. Jednak pod wpływem działania wody łupki ten ulegał destrukcji od 40% do 50%, dlatego dalszą poprawę właściwości inhibitujących, jak również reologicznych sporządzonej płuczki uzyskano po obniżeniu aktywności chemicznej jej fazy wodnej. Kolejnym krokiem umożliwiającym kontrolę parametrów technologicznych płuczki była obróbka polimerami niejonowymi – alkoholem poliwinylowym (PVA) lub poliglikolem (PEG). Ich podstawowym zadaniem było zapobieganie tworzeniu się flokuł z koloidalnych cząstek bezużytecznej fazy stałej. Spośród zastosowanych polimerów korzystniejszym działaniem – na parametry reologiczne, jak również ze względu na zapobieganie hydratacji próbek łupku – charakteryzował się PEG.

Przeprowadzony cykl badań laboratoryjnych pozwolił na dobór składu płuczki wiertniczej aminowo-glikolowej o kombinowanym działaniu inhibitującym, jonowo-polimerowym, czyli KCl–polimer aminowy (PVAm-W+PVAm-M)–poliglikol, który przedstawiono w tabeli 1. Zastosowany w składzie tej płuczki zestaw inhibitorów charakteryzował się wyższym stopniem

Tabela 1. Skład i parametry technologiczne płuczki aminowo-glikolowej

Table 1. Composition and technological parameters of amine-glycol drilling mud

Skład płuczki [%]		Parametry płuczki aminowo-glikolowej	
Skrobia	2,0–3,0	Gęstość	1,09 kg/dm ³
CMC LV	1,0–1,5	Lepkość plastyczna	32–35 mPa · s
XCD	0,2–0,25	Lepkość pozorna	47,5–55 mPa · s
KCl	7,0	Granica płynięcia	14–19,2 Pa
Poliglikol	1,0–2,0	Wytrzymałość strukturalna	1,6/2,8–3,0/4,0 Pa
PVAm-W	0,1	Filtracja API	3,6–4,4 cm ³
PVAm-M	0,3–0,7	Filtracja HPHT w 50°C	4,4–5,2 cm ³
Blokator węglanowy	7,0	Filtracja HPHT w 100°C	6,8–9,6 cm ³

zabezpieczenia łupku miocenijskiego przed hydratacją niż zestaw KCl–polimer anionowy (PHPA)–poliglikol w składzie płuczki wykorzystywanej w warunkach otworowych, zwanej płuczka o potrójnym inhibitowaniu (Uliasz et al., 2018). Jak wykazały badania dyspersji, w zależności od ilości poliwinylloaminy ubytek masy łupku po oddziaływaniu płuczki wynosił maksymalnie od 2% do 4% (P_1), a po dyspersji w wodzie – od około 6% do 8% (P_2). Niewielkie ubytki badanego łupku określono również po jego dyspersji w płuczce zawierającej odpowiednie do jego właściwości hydrofilowych ilości KCl, PHPA i PEG. Po dyspersji w płuczce wynosiły one tylko od 4% do 6%, lecz działanie wody powodowało duże straty jego masy, mieszczące się w zakresie od około 40% do ponad 60%.

W składzie płuczki, którą zaproponowano do przewiercania utworów występujących w obrębie jednostek karpacko-stebnickich pod rury 9 $\frac{5}{8}$ " ϕ , ilości poliwinylloaminy wynosiły: PVAm-W – 0,1% wag. i PVAm-M – 0,3% wag. Zastosowanie tych środków w połączeniu z polimerem niejonowym – poliglikolem (PEG) w ilości 2%, KCl – 7% oraz polimerami anionowymi regulującymi jej właściwości reologiczno-strukturalne i filtrację

umożliwiło otrzymanie stabilnej zawiesiny koloidalnej płuczki wiertniczej o składzie przedstawionym w tabeli 2. Kolejny etap badań sporządzonej płuczki dowodził prawidłowości zmian wartości tych parametrów po podwyższeniu jej gęstości do 1,24 kg/dm 3 , podgrzaniu do temperatury 50°C, skażeniu zwiercinami reprezentowanymi przez łupkę miocenijską (10%) i rzeczywistą próbką anhydrytu (0,5%) zawierającą jony Ca $^{2+}$ w ilości 128 mg/g skały oraz ponownym podgrzaniu do 50°C. Taka koncentracja anhydrytu pozwalała na skażenie płuczki jonami Ca $^{2+}$ w ilości stanowiącej średnią ich wartość oznaczaną w płuczках otworowych pochodzących z głębokości do około 1000 m. Zastosowana kombinacja koloidów ochronnych zapewniała także odpowiednią kontrolę filtracji płuczki poddawanej obciążaniu, skażaniu zwiercinami i działaniu temperatury.

Również badania wykonane w warunkach otworopodobnych wykazały, że zastosowane wytypowane ilości PVAm, różniące się masą molową i wartością pH, wspomagane dodatkami poliglikolu i KCl, charakteryzowały się kompatybilnością działania z anionowymi składnikami płuczki. Na efektywność ich działania w środowisku płuczki zawierającej polimery

Tabela 2. Zmiany właściwości reologiczno-strukturalnych i inhibitujących oraz filtracji płuczki aminowo-glikolowej zawierającej PVAm-W i PVAm-M pod wpływem skażeń chemicznych i temperatury

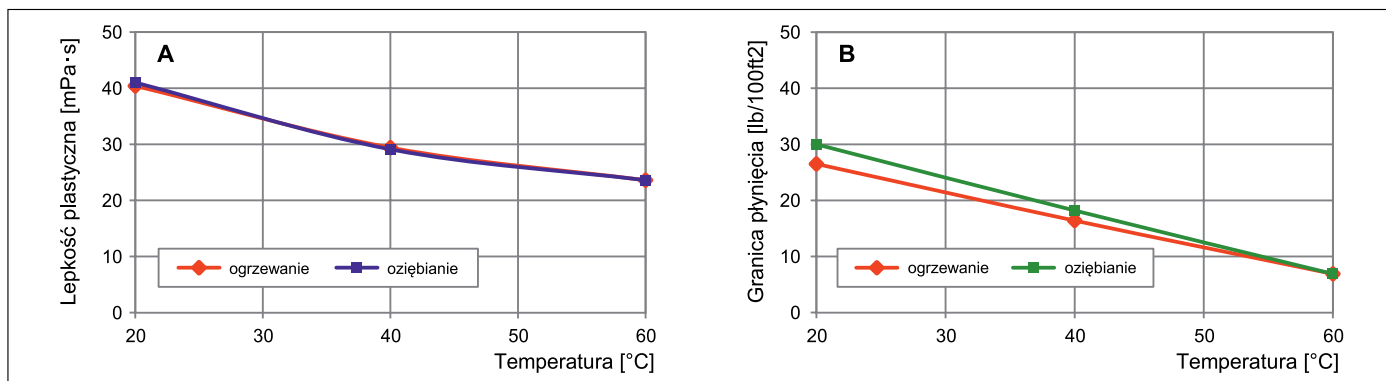
Table 2. Changes in rheological-structural and inhibiting properties as well as in filtration of an amine-glycol drilling mud containing PVAm-W and PVAm-M under the influence of chemical contamination and temperature

Nr płuczki	Skład płuczki [%]	Gęstość [kg/dm 3]	Lepkość [mPa·s]		Granica płynięcia [Pa]	Wytrzymałość strukturalna [Pa]	Filtracja API [cm 3]	pH	Dyspersja próbki wzorcowej [%]
			ρ	η_{pt}					
1	Skrobia 2,0 CMC LV 1,5 PAC LV 0,1 XCD 0,2 KCl 7,0 PEG 2,0 PVAm-W 0,1 PVAm-M 0,3 Blok.M25 7,0 NaOH 0,2	1,08	39	55,0	15,3	1,8/2,00	5,6	9,2	98/94
2	Płuczka 1 + zwierciny (miocen) 5,0	1,11	38	54,0	15,3	1,7/1,96	3,0	9,1	98/94
3	Płuczka 2 temperatura 50°C		22	30,0	7,7	0,8/1,10	3,6		96/92
4	Płuczka 2 + baryt do ρ – 1,2kg/dm 3	1,20	41	57,5	15,8	1,6/1,70	2,4	8,9	
5	Płuczka 4 + NaOH 0,2 + zwierciny (miocen) Σ 10% 5,0 + anhydryt (640 mg/dm 3 Ca $^{2+}$) 0,5	1,24	45	64,0	18,2	2,0/2,30	2,0	9,0	
6	Płuczka 5 temperatura 50°C		24	32,5	8,1	0,9/1,30	2,2		96/92

anionowe oraz skażonej zwierzcinami o anionoczynnym charakterze wskazywała jej charakterystyka reologiczna w czasie cyklicznego działania temperatury w zakresie 20–60°C. Otrzymywane wartości lepkości i granicy płynięcia płuczki w funkcji temperatury dowodziły stabilności tych parametrów w warunkach HPHT i zdolności odbudowy jej struktury kolooidalnej, umożliwiającej zawieszanie fazy stałej (rysunki 1–2).

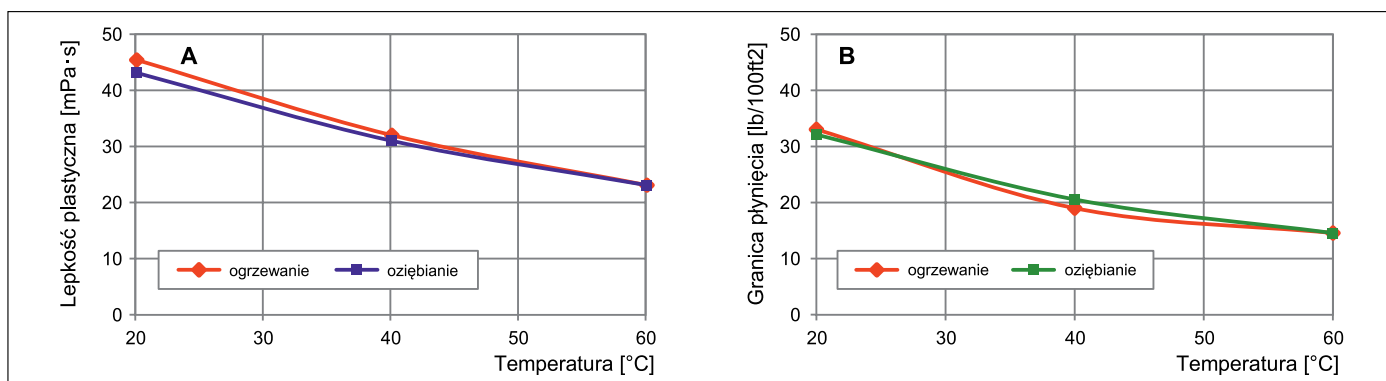
wykorzystano środek o nazwie handlowej B2095. Podobnie jak PVAm otrzymywany jest on przy użyciu N-winyloformamidu i zalecany jest do stosowania w składzie płuczek wiertniczych jako inhibitor pęcznienia minerałów ilastych

Wielokierunkowe badania laboratoryjne płuczki wiertniczej zawierającej poliwinylaminę B2095 wykazały, że podwyższenie jej ilości w zakresie 0,5–2% powodowało obniżenie



Rysunek 1. Wpływ temperatury na lepkość plastyczną (A) i granicę płynięcia (B) płuczki aminowo-glikolowej zawierającej 0,1% PVAm-W + 0,3% PVAm-M

Figure 1. Influence of temperature on the plastic viscosity (A) and yield point (B) of an amine-glycol drilling mud containing 0.1% PVAm-W + 0.3% PVAm-M



Rysunek 2. Wpływ temperatury na lepkość plastyczną (A) i granicę płynięcia (B) płuczki aminowo-glikolowej o gęstości 1,24 kg/dm³ skażonej 10,5% zwierzcin zawierających około 640 mg/l Ca²⁺

Figure 2. Influence of temperature on the plastic viscosity (A) and yield point (B) of an amine-glycol drilling mud with a density of 1.24 kg/dm³ contaminated by 10.5 percent of drill cuttings containing approx. 640 mg/l Ca²⁺

Dowodem skuteczności fizykochemicznego oddziaływania na łupkę mioceński płuczki aminowo-glikolowej zawierającej zadane ilości PVAm w połączeniu z poliglikolem i KCl były wyniki badań dyspersji. Przeprowadzone w temperaturze 20°C i 50°C badania określające właściwości inhibitujące tej płuczki w dwustopniowym teście dyspersji wykazały wysoką jej efektywność w ograniczaniu hydratacji tego łupku, potwierdzoną jakością odzyskiwanych dużych jego ilości. W temperaturze 50°C ubytek masy łupku po oddziaływaniu płuczki wynosił max. 4% (P₁), natomiast po dyspersji w wodzie – 8% (P₂).

Przydatność polimerów aminowych w technologii płuczek wiertniczych potwierdziły kolejne badania, w których

filtracji płuczki oraz niewielki wzrost parametrów reologicznych i ilości odzyskiwanego łupku mioceńskiego, głównie po działaniu wody (P₁ – 88–96%, P₂ – 14–38%). W celu poprawy właściwości inhibitujących płuczki, podobnie jak płuczki zawierającej PVAm, w jej składzie zastosowano poliglikol, który wpłynął na ilość i jakość odzyskiwanych próbek łupku w drugim etapie testu dyspersji.

Na podstawie przeprowadzonej analizy wielkości zmian właściwości reologicznych, a przede wszystkim inhibitujących do badań w warunkach otworopodobnych wytypowano płuczkę zawierającą w składzie zestaw inhibitorów w ilości: 1,5% B2095, 2% poliglikolu i 7% KCl (tabela 3). W związku

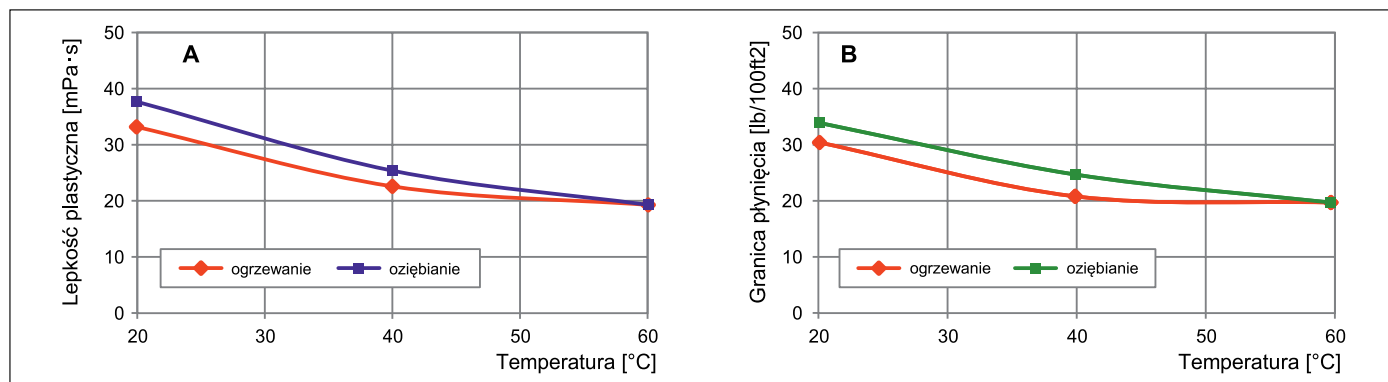
z tym, że sporządzoną płuczkę proponowano do przewiercania warstw ilasto-lupkowych występujących na złożu Przemyśl, pomiary parametrów reologiczno-strukturalnych i filtracji płuczki obciążonej barytem oraz skażonej łupkiem miocенским i anhydrytem przeprowadzono w temperaturze 20–60°C (rysunki 3–4).

Uzyskane wyniki badań świadczyły o prawidłowości zmian parametrów reologiczno-strukturalnych płuczki ze względu na skażenia zwiercinami, w tym jonami Ca²⁺, podwyższanie jej gęstości i działanie temperatury. Również przebieg krzywych lepkości i granicy płynięcia tej płuczki w funkcji temperatury dowodził, że podczas krążenia w otworze – wzrost zawartości

Tabela 3. Zmiany właściwości reologiczno-strukturalnych i inhibitujących oraz filtracji płuczki aminowo-glikolowej zawierającej B2095 pod wpływem skażeń chemicznych i temperatury

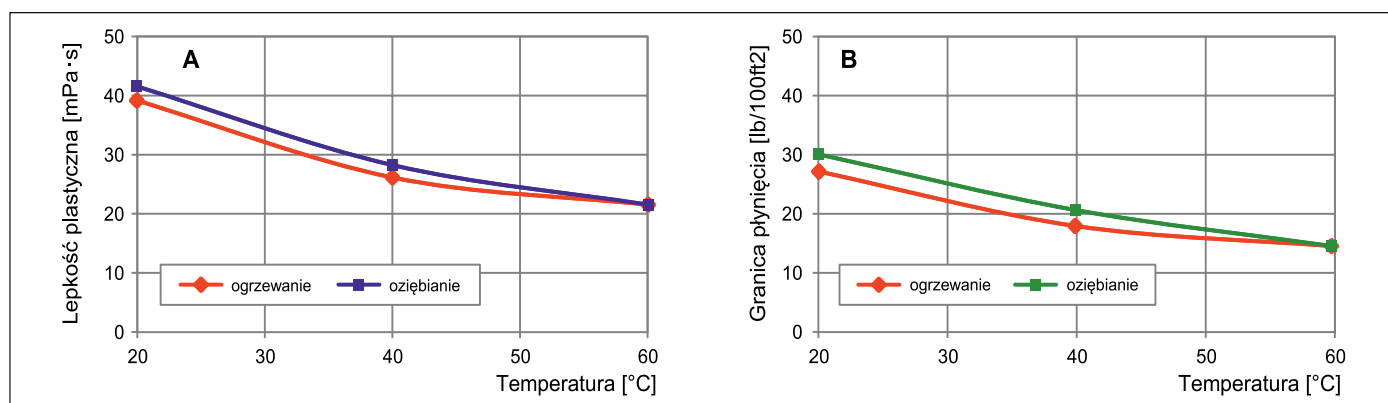
Table 3. Changes in rheological-structural and inhibiting properties as well as filtration of an amine-glycol drilling mud containing B2095 under the influence of chemical contamination and temperature

Nr płuczki	Skład płuczki [%]	Gęstość [kg/dm ³]	Lepkość [mPa·s]		Granica płynięcia [Pa]	Wytrzymałość strukturalna [Pa]	Filtracja API/HPHT (60°C) [cm ³]	pH	Dyspersja próbki wzorcowej [%]
			ρ	η_{pl}	η_s	τ_y			I/II
1	Skrobia 1,5 CMC LV 1,5 PAC LV 0,1 XCD 0,2 KCl 7,0 PEG 2,0 B2095 1,5 Blok.M25 7,0	1,08	31	44,0	12,4	2,1/3,3	11,4/-	9,3	100/86
2	Płuczka 1 temperatura 50°C		18	26,0	7,7	1,4/2,1			98/88
3	Płuczka 1 + zwierciny (miocen) 5,0	1,11	32	46,0	13,4	2,1/3,0	3,8/-	9,4	98/72
4	Płuczka 3 temperatura 50°C		18	27,5	9,1	1,2/1,8	-4,4		94/74
5	Płuczka 3 + baryt do $\rho - 1,2 \text{ kg/dm}^3$ 0,1 + zwierciny (miocen) $\Sigma 10\%$ 5,0 + anhydryt (640 mg/dm ³ Ca ²⁺) 0,5	1,24	40	57,5	16,7	2,0/2,8	2,8/-	9,2	
6	Płuczka 5 temperatura 50°C		22	30,0	7,7	1,1/1,5	-3,2		100/76



Rysunek 3. Wpływ temperatury na lepkość plastyczną (A) i granicę płynięcia (B) płuczki aminowo-glikolowej zawierającej 1,5% B2095 skażonej 5% zwiercin

Figure 3. Influence of temperature on the plastic viscosity (A) and yield point (B) of an amine-glycol drilling mud containing 1.5% B2095 contaminated by 5 percent of drill cuttings



Rysunek 4. Wpływ temperatury na lepkość plastyczną (A) i granicę płynięcia (B) płuczki z dodatkiem 1,5% B2095 o gęstości 1,24 kg/dm³ skażonej 10,5% zwiercin zawierających około 640 mg/l Ca²⁺

Figure 4. Influence of temperature on the plastic viscosity (A) and yield point (B) of an amine-glycol drilling mud with additive 1.5% B2095 with a density of 1.24 kg/dm³ contaminated by 10.5 percent of drill cuttings containing approx. 640 mg/l Ca²⁺

fazy stałej nie powinien powodować koagulacyjnego tworzenia struktury utrudniającej oczyszczanie płuczki. Zdolność ograniczania hydratacji skał ilasto-lupkowych przez płuczkę zawierającą jako podstawowy inhibitor polimerowy poliaminę (B2095) wspomaganą działaniem dodatkowego inhibitora polimerowego – poliglikolu i inhibitora jonowego – KCl potwierdziły badania dyspersji łupku mioceńskiego wykonane w temperaturze 20°C i 50°C. Odzyskiwane ilości tego łupku po dyspersji w płuczce wynosiły około 98% (P₁), a po działaniu wody – około 80% (P₂). W przypadku tej płuczki otrzymana wartość P₂ była jednak niższa o około 14% w porównaniu z płuczką z dodatkiem 0,1% PVAm-W i 0,3% PVAm-M oraz o około 37% wyższa niż w przypadku płuczki stosowanej w warunkach otworowych zawierającej PHPA.

Płuczka wiertnicza zawierająca polieteroaminę

Kolejnym środkiem aminowym zawierającym pierwszorzędowe grupy aminowe wykorzystanym do badań była polieteroamina pod nazwą KL-S. Podobnie jak w przypadku poliwiniloamin jej efektywność działania w środowisku płuczki wiertniczej została określona dla warunków występowania skał ilasto-lupkowych w utworach miocenu.

Celem przeprowadzonych badań laboratoryjnych było określenie zmian właściwości reologiczno-strukturalnych oraz inhibitujących płuczki aminowo-glikolowej zawierającej KL-S w ilości 1% i 1,5%, której działanie wspomaganą stałą ilością poliglikolu i KCl. Uzyskane wyniki badań wykazały wpływ ilości KL-S przede wszystkim na parametry reologiczne płuczki, głównie skażonej zwiercinami.

Tabela 4. Zmiany właściwości reologiczno-strukturalnych i inhibitujących oraz filtracji płuczki aminowo-glikolowej zawierającej KL-S pod wpływem skażeń chemicznych i temperatury

Table 4. Changes in rheological-structural and inhibiting properties as well as filtration of an amine-glycol drilling mud containing KL-S under the influence of chemical contamination and temperature

Nr płuczki	Skład płuczki [%]	Gęstość [kg/dm ³]	Lepkość [mPa·s]		Granica płynięcia [Pa]	Wytrzymałość strukturalna [Pa]	Filtracja API/HPHT (60°C) [cm ³]	pH	Dyspersja próbki wzorcowej [%]
			ρ	η_{pt}					
1	Skrobia 1,5 CMC LV 1,5 PAC LV 0,1 XCD 0,2 KCl 7,0 PEG 2,0 KL-S 1,5 Blok.M25 7,0	1,08	26	37,0	22/10,6	1,6/2,3	6,8/-	10,0	98/88
2	Płuczka 1 temperatura 50°C		15	21,0	12 / 5,7	0,9/1,4			98/90

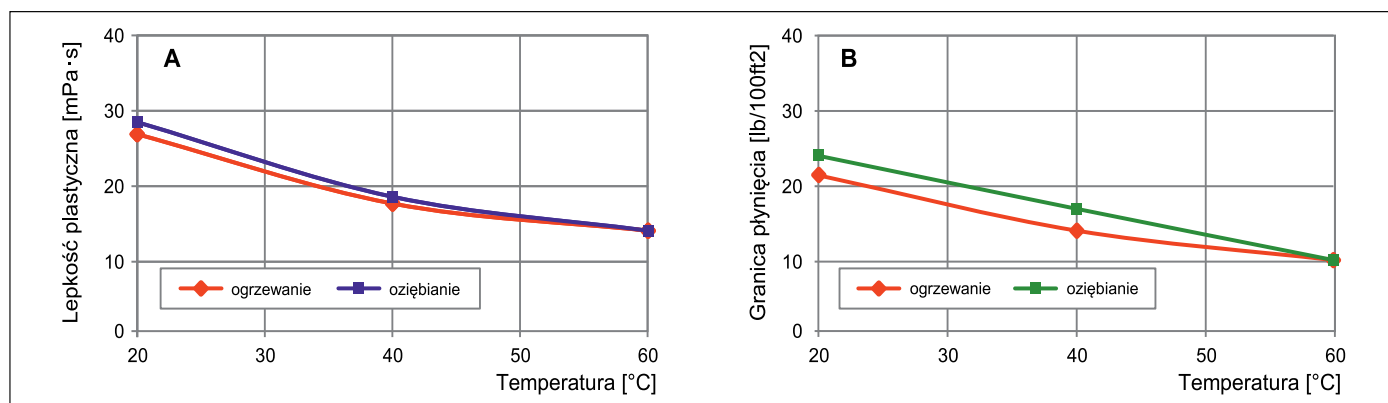
cd. Tabela 4/cont. Table 4

Nr płuczki	Skład płuczki [%]	Gęstość [kg/dm ³]	Lepkość [mPa · s]		Granica płynięcia [Pa]	Wytrzymałość strukturalna [Pa]	Filtracja API/HPHT (60°C) [cm ³]	pH	Dyspersja próbki wzorcowej [%]
			ρ	η_{pl}					
3	Płuczka 1 + zwierciny (miocen) 5,0	1,11	28	41,0	26/12,5	1,6/2,1	3,6/-	9,8	98/84
4	Płuczka 3 temperatura 50°C		17	23,0	12 / 5,8	0,8/1,2	-/4,4		98/86
5	Płuczka 5 + baryt do $\rho - 1,2 \text{ kg/dm}^3$ + zwierciny (miocen) $\Sigma 10\%$ + anhydryt (640 mg/dm ³ Ca ²⁺) 5,0 0,5	1,23	35	49,5	29/13,9	1,8/2,1	2,8/-	9,7	
6	Płuczka 6 temperatura 50°C		21	27,5	13 / 6,2	0,9/1,3	-/3,6		98/86

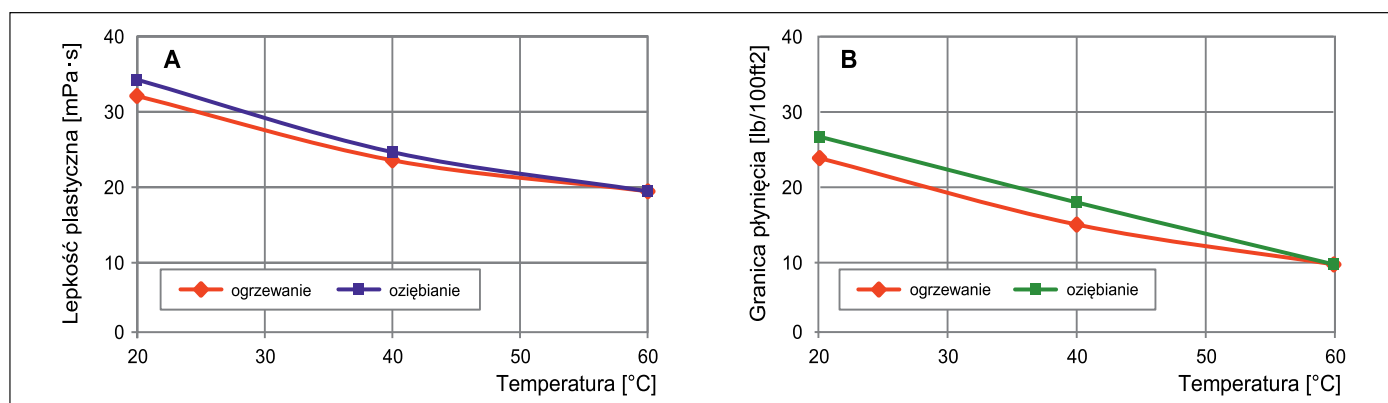
Płuczka obrobiona 1,5% KL-S miała wyższe parametry reologiczne i większą stabilność suspensji w czasie sezonowania niż z dodatkiem 1%. Po 15 dniach sezonowania płuczki w temperaturze otoczenia zaobserwowano m.in. odstój wody, a jej parametry reologiczne tylko w niewielkim stopniu uległy obniżeniu. W tym samym czasie płuczka z dodatkiem 1% KL-S uległa rozwarstwieniu, wystąpił duży odstój wody i sedymentacja fazy stałej oraz znaczne obniżenie wartości jej parametrów reologicznych. Natomiast wyniki badań płuczki dotyczące określenia stopnia zabezpieczenia skał ilasto-lupkowych przed hydratacją dowodziły wysokiej efektywności jej inhibitującego działania bez względu na ilość zastosowanej polieteroaminy. Badania dyspersji wykonane w temperaturze 20°C i 50°C wykazały, że największy ubytek masy łupku mioceniowego po działaniu płuczki wynosił 4%, a w przypadku wody – 14%. Wyniki przeprowadzonych badań przyczyniły się do ustalenia ilości KL-S w składzie płuczki aminowo-glikolowej proponowanej do zastosowania w warunkach

otworowych, której właściwości technologiczne przedstawiono w tabeli 4.

Wytypowany skład płuczki aminowo-glikolowej, w której zastosowano kombinację inhibitorów hydratacji skał ilasto-lupkowych: 1,5% KL-S, 2% poliglikolu i 7% KCl, poddano badaniom w warunkach otworopodobnych. Otrzymywane wyniki badań na każdym etapie ich pomiaru świadczyły o charakterystycznych zmianach parametrów reologicznych płuczki związanych ze skażeniem fazą stałą zawierającą Ca²⁺, z obciążaniem i wygrzewaniem. Kompatybilne działanie zastosowanych polimerów o różnej jonowości w warunkach HPHT wykazywało wpływ na inhibitowanie fazy stałej i ograniczanie jej aktywności koloidalnochemicznej. W związku z tym zmiany wartości lepkości i granicy płynięcia powodowane działaniem temperatury dowodziły stabilności suspensji płuczki podczas ogrzewania i oziębiania (rysunki 5–6). Działanie tych polimerów umożliwiało także kontrolę filtracji płuczki w warunkach HPHT, której maksymalna wartość w temperaturze 60°C wynosiła 4,4 cm³.



Rysunek 5. Wpływ temperatury na lepkość plastyczną (A) i granicę płynięcia (B) płuczki aminowo-glikolowej zawierającej 1,5% KL-S
 Figure 5. Influence of temperature on the plastic viscosity (A) and yield point (B) of an amine-glycol drilling mud containing 1.5% KL-S



Rysunek 6. Wpływ temperatury na lepkość plastyczną (A) i granicę płynięcia (B) płuczki z dodatkiem 1,5% KL-S o gęstości 1,23 kg/dm³ skażonej 10,5% zwierzcin zawierających ok. 640 mg/l Ca²⁺

Figure 6. Influence of temperature on the plastic viscosity (A) and yield point (B) of an amine-glycol drilling mud with additive 1.5% KL-S with a density of 1.23 kg/dm³ contaminated by 10.5 percent of drill cuttings containing approx. 640 mg/l Ca²⁺

Płuczka wiertnicza do dowiercania zawierająca poliaminę

Środek aminowy o nazwie BP30, który stanowi mieszaninę dietylenotriaminy z kwasem octowym, wykorzystany został do opracowania płuczki aminowo-glikolowej do dowiercania horyzontów produktywnych złoża Przemysł. Biorąc pod uwagę głębokość udostępniania tych horyzontów i występowanie skażeń chemicznych, badania w warunkach otworopodobnych wykonano w temperaturze 20–80°C w obecności około 250 mg/dm³ jonów Ca²⁺. W celu ustalenia składu płuczki do dowiercania przeprowadzone badania dotyczyły określenia wpływu ilości BP30 na jej właściwości reologiczno-strukturalne i inhibitujące, a przede wszystkim na stopień uszkodzenia przepuszczalności skały zbiornikowej, reprezentowanej przez piaskowiec wzorcowy.

Zadane ilości BP30 – 1% i 2%, które wytypowano na podstawie wstępnych wyników badań, miały zasadniczy wpływ na wielkość wskaźnika uszkodzenia przepuszczalności piaskowca wzorcowego. Nie spowodowały natomiast istotnych zmian parametrów reologiczno-strukturalnych płuczki, przyczyniły się tylko do niewielkiej poprawy jej właściwości inhibitujących wraz ze wzrostem ilości BP30.

Uzyskane wyniki badań dowodziły, że zastosowanie do dowiercania horyzontów produktywnych płuczki aminowo-glikolowej zawierającej 2% BP30 powinno w większym stopniu ograniczyć uszkodzenie przepuszczalności skał strefy przyotworowej. Wartość wskaźnika uszkodzenia (WU) piaskowca wzorcowego po oddziaływaniu płuczki z dodatkiem 2% BP30 była o około 30% niższa niż w przypadku płuczki zawierającej 1% BP30. W związku z tym płuczka aminowo-

Tabela 5. Zmiany właściwości reologiczno-strukturalnych i inhibitujących oraz filtracji płuczki do dowiercania aminowo-glikolowej zawierającej **BP30** pod wpływem skażeń chemicznych i temperatury

Table 5. Changes in rheological-structural and inhibiting properties as well as filtration of an amine-glycol drilling mud containing **BP30** under the influence of chemical contamination and temperature

Nr płuczki	Skład płuczki [%]	Gęstość [kg/dm ³]	Lepkość [mPa·s]		Granica płynięcia [Pa]	Wytrzymałość strukturalna [Pa]	Filtracja API/HPHT (80°C) [cm ³]	pH	Dyspersja próbki wzorcowej [%]
			ρ	η_{pl}					
1	Skrobia 1,5 CMC LV 1,5 PAC LV 0,1 XCD 0,2 KCl 7,0 PEG 2,0 BP30 2,0 Blok.M25 7,0 NaOH 0,3 + zwierzcin (miocen) 5,0	1,110	25	35,5	10,0	1,50/1,90	3,6/-	9,1	M. 92/70

cd. Tabela 5/cont. Table 5

Nr płuczki	Skład płuczki [%]	Gęstość [kg/dm ³]	Lepkość [mPa · s]		Granica płynięcia [Pa]	Wyrzymałość strukturalna [Pa]	Filtracja API/HPHT (80°C) [cm ³]	pH	Dyspersja próbki wzorcowej [%]
			ρ	η_{pl}					
2	Płuczka 1 temperatura 50°C			14	19,5	5,2	0,70/1,60		M. 88/72
3	Płuczka 1 + Blok.M25 do $\rho - 1,17 \text{ kg/dm}^3$	1,175	26	36,0	9,6	1,14/1,20	3,2/-	9,0	
4	Płuczka 3 + NaOH 0,2 + zwierzyny (miocen) $\Sigma 10\%$ 5,0 + anhydryt (256 mg/dm ³ Ca ²⁺) 0,2	1,200	27	37,0	9,6	1,20/1,24	2,8/-	9,3	
5	Płuczka 4 temperatura 50°C			15	20,5	5,2	0,70/1,10		M. 92/70 P. 98/94

M – łupek wzorcowy (miocen); P – rzeczywista próbka piaskowca ze złoża Przemysł z głębokości 2215–2233 m

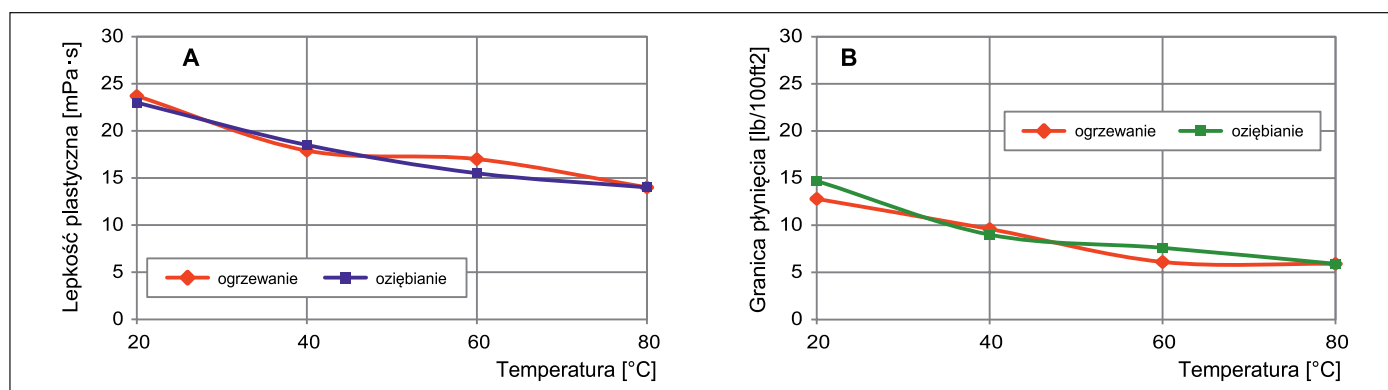
-glikolowa zawierająca zestaw jonowo-polimerowy odpowiedzialny za jej właściwości inhibitujące, czyli 7% KCl, 2% PEG i 2% BP30, poddana została badaniom w warunkach otworopodobnych.

Zmiany właściwości badanej płuczki – reologiczno-strukturalnych i wielkości filtracji w obecności zanieczyszczeń stanowiących zwierzyny zawierające m.in. około 250 mg/l jonów Ca²⁺ zadanych anhydrytem oraz efektywność oddziaływania na skały różniące się stopniem zailenia przedstawione zostały w tabeli 5 oraz na rysunkach 7 i 8.

Przeprowadzone badania dowiodły, że analizowana płuczka do dowiercania poddawana obciążaniu, skażaniu i wygrzewaniu charakteryzowała się stosunkowo niskimi i stabilnymi parametrami reologicznymi, zachowując zdolność zawieszania fazy stałej. Miała także niską filtrację, której maksymalna wartość wynosiła 5,6 cm³ w temperaturze 80°C. Ze względu

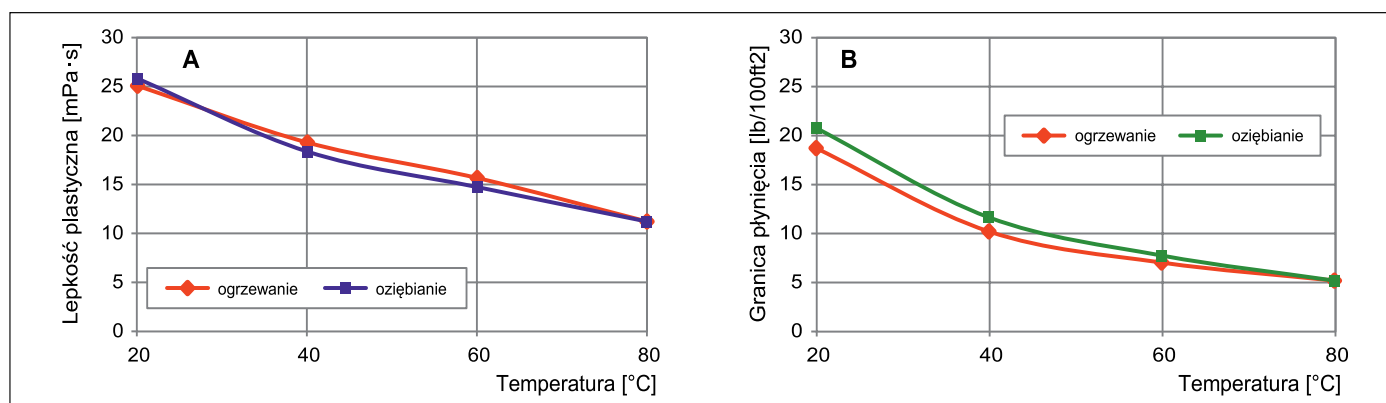
na niskie pH roztworu tego środka wymagała częstej kontroli jego wartości.

Stabilność reologiczna płuczki w całym cyklu ogrzewania i oziębiania (20–80°C), potwierdzona przebiegiem krzywych lepkości i granicy płynięcia, dowodziła jej odporności na skażenia drobnodispersyjną i pęczniącą fazą stałą. Świadczyła równocześnie, że unikatowe właściwości fizykochemiczne BP30 miały wpływ na ograniczanie hydrofilności tej fazy i jej podatności na dyspergowanie. Zdolność zapobiegania hydratacji skał ilasto-łupkowych przez sporządzoną płuczkę (KCl-PEG-BP30) potwierdziły także wyniki dwustopniowego testu dyspersji wykonanego w 20°C i 50°C. Średnie ilości odzyskiwanego łupku wzorcowego wynosiły: P₁ – około 93%, P₂ – około 71%, natomiast próbek okuchowych pochodzących ze strefy złożowej – odpowiednio: P₁ – około 98%, P₂ – około 94%.



Rysunek 7. Wpływ temperatury na lepkość plastyczną (A) i granicę płynięcia (B) płuczki aminowo-glikolowej zawierającej 2% BP30 skażonej 5% zwierzcin

Figure 7. Influence of temperature on the plastic viscosity (A) and yield point (B) of an amine-glycol drilling mud containing 2% BP30 contaminated by 5 percent of drill cuttings



Rysunek 8. Wpływ temperatury na lepkość plastyczną (A) i granicę płynięcia (B) płuczki z dodatkiem 2% BP30 o gęstości 1,2 kg/dm³ skażonej 10,2% zwiercin zawierających około 250 mg/l Ca²⁺

Figure 8. Influence of temperature on the plastic viscosity (A) and yield point (B) of an amine-glycol drilling mud with additive 2% BP30 with a density of 1.2 kg/dm³ contaminated by 10.2 percent of drill cuttings containing approx. 250 mg/l Ca²⁺

Podsumowanie

Przeprowadzona analiza wyników badań laboratoryjnych płuczek wiertniczych zawierających w składzie nowy rodzaj inhibitora polimerowego wykazała, że:

- poddany badaniom nowej generacji inhibitor polimerowy w postaci różnych rodzajów poliamin, tj. poliwiniloaminy (PVAm, B2095), polieteroaminy (KL-S) oraz mieszaniny środka aminowego z kwasem octowym (BP30), można wykorzystać do sporządzania inhibitowanych płuczek wiertniczych aminowo-glikolowych;
- dla zwiększenia efektywności inhibitującego działania opracowanych płuczek wiertniczych oraz otrzymania jednorodnej i stabilnej ich suspensji o odpowiedniej charakterystyce reologicznej – proponowane związki aminowe należy stosować w kombinacji z KCl i poliglikolem;
- w składzie płuczki aminowo-glikolowej do przewiercania formacji ilasto-łupkowych w utworach miocenu może być zastosowana poliwiniloamina jako: PVAm-W w ilości 0,1% i PVAm-M w ilości 0,3–0,5% lub B2095 – 1,5–2%, jak również polieteroamina KL-S – 1,5%, których inhibitujące działanie powinno być wspomagane odpowiednią ilością KCl i poliglikolu;
- w składzie płuczki aminowo-glikolowej do dowiercania piaskowcowo-łupkowych horyzontów produktywnych na złożu Przemysł może być zastosowany BP30 w ilości 2% w połączeniu z KCl i poliglikolem;
- opracowane nowe systemy beziłowych inhibitowanych płuczek wiertniczych charakteryzują się przede wszystkim wysoką zdolnością zapobiegania hydratacji skał ilasto-łupkowych oraz zapewniają właściwą ochronę skał zbiornikowych strefy przyodwiertowej, których spoiwem są minerały ilaste.

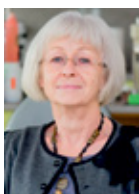
Literatura

- BASF Products. <<https://www.basf.com/products>> (dostęp: 04.2022).
- Błaż S., 2010. Nowa generacja płuczek do przewiercania reaktywnych skał ilastych. *Nafta-Gaz*, 66(5): 390–398.
- Bortel E., Witek E., Kochanowski A., Pazdro M., 2005. Poliwiniloamina źródłem nowych możliwości rozwoju polimerów hydrofilowych. *Polimery*, 50(7–8): 491–500.
- Bortel E., Witek E., Pazdro M., Kochanowski A., 2007. N-winyloformamid – nowy ekologiczny monomer wodorozpuszczalny. *Polimery*, 52(7–8): 503–510.
- Chudoba J., Uliasz M., Zima G., 2000. Płuczka wiertnicza z dodatkiem szkła wodnego o różnych modułach. *XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt. „Nowe Metody i Technologie w Geologii Naftowej, Wiertnictwie, Eksploatacji Otworowej i Gazownictwie. Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków. Materiały konferencyjne*, t. 1: 59–61.
- Demirci S., Sütekin S.D., Kurt S.B., Güven O., Sahiner N., 2021. Poly(vinyl amine) microparticles derived from N-Vinylformamide and their versatile use. *Polymer Bulletin*, 79(9): 1–23. DOI: 10.1007/s00289-021-03874-9.
- DiFlavio J.L., Bertoia R., Pelton R., Leduc M., 2005. The mechanism of polyvinylamine wet-strengthening. *13th Fundamental Research Symposium, Cambridge*, September 2005. DOI: 10.15376/frc.2005.2.1293.
- Goc A., Bielewicz D., 2000. Zastosowanie płuczki krzemianowej w rejonie Kościana przez PN „Diament”. *Wiertnictwo, Nafta, Gaz*, 17: 67–72.
- Huntsman Corporation. <<https://www.huntsman.com>> (dostęp: 04.2022).
- Jarrett M., Dye B., 2005. Organo-amine Surfactant Salts as Hydration Suppressants for Reactive Clay. *AADE-05-NTCE-02*.
- Montilva J., van Oort E., Brahim R., Dye B., Luzardo J.P., McDonald M., Quintero L., 2007. Improved Drilling Performance in Lake Maracaibo Using a Low-Salinity High-Performance Water-Based Drilling Fluid. *AADE-07-NTCE-21*.
- Patel A., Stamatakis E., Friedheim J.E., Davis E., 2001. Highly Inhibitive Water-Based Fluid System Provides Superior Chemical Stabilization of Reactive Shale Formations. *AADE-01-NC-HO-55*.
- Patel A., Stamatakis E., Young S., Cliffe S., 2002. Designing for the Future – A Review of the Design, Development and Testing of a Novel, Inhibitive Water-Based Drilling Fluid. *AADE-02-DFWM-HO-33*.

- Raczkowski J., Chudoba J., Uliasz M., 1999. Płuczka wiertnicza krzemianowa. *X Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt. „Nowe Metody i Technologie w Geologii Naftowej, Wiertnictwie, Eksploatacji Otworowej i Gazownictwie. Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków. Materiały konferencyjne*, t. 2: 123–133.
- Schlemmer R., Patel A., Friedheim J., Young S., Bloys B., 2003. Progression of Water-Based Fluids Based on Amine Chemistry – Can the Road Lead to True Oil Mud Replacements? *AADE-03-NTCE-36*.
- Uliasz M., 2000. Wpływ polimerów kationowych na inhibujące właściwości płuczek wiertniczych. *Prace Instytutu Górniczego i Gazownictwa*, 107: 1–66.
- Uliasz M., 2010. Wykorzystanie związków aminowych w technologii płuczek wiertniczych. *Nafta-Gaz*, 66(7): 577–585.
- Uliasz M., 2011. Wpływ polimerów z I-rzędowymi grupami aminowymi na właściwości inhibacyjne płuczki wiertniczej. *Nafta-Gaz*, 67(1): 19–27.
- Uliasz M., Chudoba J., Herman Z., 2006. Płuczki wiertnicze z inhibitorami polimerowymi i ich oddziaływanie na przewiercane skały. *Prace Instytutu Nafty i Gazu*, 139: 1–72.
- Uliasz M., Zima G., Błaż S., 2008. Płuczka krzemianowo-potasowa i jej zastosowanie w warunkach otworowych. *Wiadomości Naftowe i Gazownicze*, 4: 12–15.
- Uliasz M., Zima G., Błaż S., Jasiński B., Wiśniowski R., Wysocki S., 2015. An analysis of the possibilities of using new types of polymeric inhibitors in the technology of drilling fluids in shale formations. *Nafta-Gaz*, 71(11): 884–892. DOI: 10.18668/NG2015.11.11.
- Uliasz M., Zima G., Jasiński B., Szajna A., Witek E., 2018. Ocena wpływu poliwinylaminy na inhibujące właściwości płuczki wiertniczej. *Nafta-Gaz*, 74(9): 669–675. DOI: 10.18668/NG.2018.09.05.
- Witek E., Pazdro M., Bortel E., 2007. Mechanism for Base Hydrolysis of Poly(N-vinylformamide). *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 44: 503–507.
- Xie G., Luo P., Deng M., Su J., Wang Z., Gong R., Xie J., Deng S., Duan Q., 2017. Investigation of the inhibition mechanism of the number of primary amine groups of alkylamines on the swelling of bentonite. *Applied Clay Science*, 136: 43–50. DOI: 10.1016/j.clay.2016.11.005.
- Young S., Stamatakis E., 2006. Novel Inhibitor Chemistry Stabilizes Shales. *AADE-06-DF-HO-39*.
- Zhang S., Sheng J.J., Qiu Z., 2016. Water adsorption on kaolinite and illite after polyamine adsorption. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 142: 13–20. DOI: 10.1016/j.petrol.2016.01.040.
- Zima G., 2019. New shale hydration inhibitors adapted to the downhole conditions. *Nafta Gaz*, 75(12): 751–758. DOI: 10.18668/NG.2019.12.03.
- Zima G., 2020. Płuczka wiertnicza z dodatkiem pochodnych alkoholi tłuszczowych. *Nafta Gaz*, 76(3): 162–174. DOI: 10.18668/NG.2020.03.03.
- Zima G., Uliasz M., Błaż S., Jasiński B., Wiśniowski R., Wysocki S., 2017. Nowe rodzaje inhibitorów i ich wpływ na właściwości hydratacyjne skał ilasto-lupkowych. *Nafta-Gaz*, 73(1): 36–42. DOI: 10.18668/NG.2017.01.04.
- Zintegrowana Platforma Edukacyjna. <<https://www.zpe.gov.pl>> (dostęp: 04.2022).



Dr inż. Grzegorz ZIMA
 Adiunkt w Zakładzie Technologii Wiercenia
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Lubicz 25 A
 31-503 Kraków
 E-mail: grzegorz.zima@inig.pl



Dr inż. Małgorzata ULIASZ
 Adiunkt; kierownik Zakładu Technologii Wiercenia
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Lubicz 25 A
 31-503 Kraków
 E-mail: malgorzata.uliasz@inig.pl



Mgr inż. Bartłomiej JASIŃSKI
 Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie
 Technologii Wiercenia
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Lubicz 25 A
 31-503 Kraków
 E-mail: bartlomiej.jasinski@inig.pl