

Środek pochodzenia roślinnego do zastosowania w płuczkach wiertniczych przy wykonywaniu otworów geotermalnych

Plant-derived agent for use in drilling muds for geothermal well drilling

Grzegorz Zima, Sławomir Błaż, Bartłomiej Jasiński

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych nowego rodzaju środka do płuczek wiertniczych. Badania te przeprowadzono na płuczkach o składach opartych na kompozycji środków pochodzenia naturalnego, takich jak zwiększające lepkość, regulujące filtrację i inhibujące hydratację skał. Opisane badania umożliwiły opracowanie składu płuczki nietoksycznej o właściwościach pozwalających na zastosowanie jej do odwiercenia otworu. Wykonano badania na płuczkach o różnym stopniu zmineralizowania i zawartości fazy stałej. Przeprowadzono również badania w kierunku opracowania płuczki wiertniczej charakteryzującej się skutecznym inhibitowaniem hydratacji skał przy zastosowaniu nietoksycznych środków. Uzyskane wyniki badań pozwoliły na dobór nowych środków chemicznych do płuczek wiertniczych. Przeprowadzone badania umożliwiły opracowanie skutecznego sposobu regulowania filtracji, parametrów reologicznych i właściwości inhibicyjnych płuczek wiertniczych podczas wiercenia otworów geotermalnych, gdzie występuje ryzyko skażenia wód. Wyniki badań otrzymane w proponowanej pracy przyczyniają się ponadto do poszerzenia zakresu materiałów stosowanych w technologii płuczkowej. W ramach opisanej pracy wykonano badania płuczek, w których składach zastosowano dodatek *Psyllium* pozyskanego z rośliny *Plantago ovata* (babka jajowata). Płuczki te w swoich składach zawierały również inne materiały i środki pochodzenia naturalnego. Jako koloid ochronny zastosowano skrobię kleikowaną, jako środek strukturotwórczy – ksantan, welan lub skleroglukan, inhibitor jonowy – KCl oraz blokator węglanowy. Następnie dla uzyskania poprawy inhibicyjnych właściwości płuczek wiertniczych wprowadzono do składu dodatek inhibitora polimerowego w postaci pochodnej alkoholu tłuszczowego. Dotychczas uzyskane wyniki badań wskazują na możliwość wdrożenia do praktyki przemysłowej nowego środka pozyskiwanego z materiału roślinnego do płuczek wiertniczych, szczególnie przeznaczonych do warunków, w których istnieje ryzyko skażenia wód.

Słowa kluczowe: płuczka wiertnicza, *Psyllium*, biopolimery, analiza dyspersyjna, wiercenia geotermalne.

ABSTRACT: The article presents the results of laboratory tests of a new type of drilling fluid agent. These tests were conducted using mud formulations based on the compositions containing agents of natural origin, such as viscosifiers, filtration control agents, and rock hydration inhibitors. The described tests led to the development of a non-toxic fluid composition with properties suitable for use in well drilling. Tests were also carried out on muds with varying degrees of mineralization and solid phase content. Research was also carried out to develop a drilling mud with effective rock hydration inhibition, using non-toxic agents. The results enabled the selection of new chemical agents for drilling fluids. The study led to the development of an effective method for controlling filtration, rheological parameters, and inhibition properties of drilling fluids during geothermal well drilling, where there is a risk of water contamination. Moreover, the research results obtained in this study contribute to expanding the range of materials used in mud technology. In the described work, tests were carried out on drilling muds containing *Psyllium* derived from the *Plantago ovata* plant. These muds also contained other natural materials and agents. Starch was used as a filtration-reducing agent; xanthan, welan, or scleroglucan as a structure-forming agents; KCl as an ion inhibitor; and a calcium carbonate blocker. To improve the inhibitory properties of drilling muds, a polymer inhibitor in the form of a fatty alcohol derivative was added to the mud composition. The test results indicate the potential for introducing a new agent derived from plant material into industrial practice for drilling muds, particularly under conditions where there is a risk of water contamination.

Key words: drilling fluid, *Psyllium*, biopolymers, dispersion analysis, geothermal drilling.

Wstęp

Do wierceń geotermalnych stosuje się płuczki wiertnicze, które w swoim składzie zawierają środki chemiczne o niskiej toksyczności. Ryzyko skażenia wody ogranicza możliwość użycia polimerów syntetycznych i skutecznych inhibitorów hydratacji skał, a tym samym uzyskania wymaganego poziomu zabezpieczenia skał wrażliwych na działanie wody. Zastosowanie środków pochodzenia roślinnego, takich jak inhibitory hydratacji skał, środki ograniczające filtrację lub środki zwiększające lepkość, umożliwia opracowanie składu płuczki nietoksycznej o właściwościach zapewniających bezawaryjne odwiercenie otworu. Płuczki wykorzystywane w warunkach przemysłowych ze względu na ryzyko skażenia wód nie zawierają w swoim składzie skutecznych inhibitorów hydratacji skał, co skutkuje komplikacjami podczas prac wiertniczych. Zastosowanie efektywnych inhibitorów hydratacji skał może stanowić skuteczne rozwiązanie problemów z utrzymywaniem stabilności otworu przy przewiercaniu skał wrażliwych na działanie wody.

Przeprowadzone badania przyczyniły się do opracowania nowego środka do regulowania właściwości płuczek wiertniczych. Opracowana podczas realizacji pracy płuczka charakteryzuje się minimalną toksycznością i po przeprowadzeniu badań w warunkach otworowych może znaleźć zastosowanie w przemyśle.

Materiały pochodzące z roślin rodzaju *Plantago*, kрасnorostów i *Ocimum basilicum* w płuczkach wiertniczych

Wiele badań (Behnamanhar i in., 2014; Kaialy i in., 2014; Salmachi i in., 2016; Okon i in., 2020; Jasiński, 2021; Zhou i in., 2021; Chen i in., 2022; Jasiński i in., 2022) wykazuje, że gdy pod wpływem filtratu płuczki wiertniczej następuje uwodnienie i pęcznienie formacji łupkowej, dochodzi do niestabilności ściany otworu wiertniczego. Gdy filtracja jest duża, powstaje gruby placek ilowy, który może być przyczyną awarii wiertniczych, takich jak nadmierne zużycie narzędzi i przychwycenie przewodu wiertniczego. Wykorzystanie zsyntetyzowanych kopolimerów akrylamidu i termostabilnych monomerów (takich jak 2-akrylamido-2-metylopropanosulfonian, N-winylopirolidon) umożliwiło podniesienie odporności termicznej wodnodispersyjnych płuczek wiertniczych powyżej 160°C. W związku ze wzrastającym zaostreniem przepisów dotyczących ochrony środowiska – w ostatnich latach prowadzi się wiele badań nad opracowaniem przyjaznych dla środowiska środków do płuczek wiertniczych. Ze względu na stosunkowo niską cenę, łatwą modyfikację

i biodegradowalność polimery polisacharydowe są szeroko stosowane w płuczkach wiertniczych w celu poprawy właściwości reologicznych i filtracji.

Psyllium to materiał z łupin nasion roślin z rodzaju *Plantago* (babki), głównie babki jajowatej i babki płesznik. Środek uzyskany z *Psyllium* pochodzi z łupiny nasiennej i uzyskuje się go przez mechaniczne rozdrabnianie zewnętrznej warstwy nasion; jego wydajność wynosi około 25% (wagowo) całkowitego plonu nasion. Materiał otrzymywany z nasion babki jest często określany jako łupina lub łupina psyllium. To biały włóknisty materiał, który jest hydrofilowy, co oznacza, że jego struktura molekularna wykazuje silną tendencję do przyciągania i wiązania wody (Guo i in., 2009; van Craeyveld i in., 2009; Wei i in., 2009; Patel i in., 2018, 2019; Al-Hameedi i in., 2019a; De Oliveira i in., 2020; Zhou i in., 2021). Jak wykazały badania przeprowadzone przez A. Salmachiego i innych (2016), efektywnym środkiem obniżającym filtrację płuczek wiertniczych mogą być także zmielone łuski ziaren pochodzące z rośliny o nazwie babka jajowata. Do tej pory łuski babki jajowatej były szeroko stosowane w medycynie i przemyśle spożywczym. Na podstawie badań oceniono efektywność tego środka, jako przyjaznego dla środowiska surowca, ograniczającego w znaczącym stopniu filtrację płuczek wiertniczych. Stwierdzono, że stężenie wynoszące od 0,75% do 1,0% zmielonych łusek *Psyllium* nadaje cieczy właściwości reologiczne równoważne zastosowaniu 5,0% bentonitu. Przeprowadzone badania wykazały, że roztwór o stężeniu 1,0% środka charakteryzował się 13-proc. obniżeniem filtracji w stosunku do roztworu bentonitu o stężeniu 5,0%. Środek dodany do wody bardzo szybko dysperguje, tworząc żelową strukturę. Oprócz tworzenia żelowej struktury absorbującej wolną wodę z otoczenia nierozpuszczalne części łusek formują bardzo cienki placek filtracyjny, który blokując duże pory, przyczynia się do ograniczenia filtracji. Głównym składnikiem *Psyllium* jest silnie rozgałęziony arabinoksylan, którego główną strukturą łańcucha jest β -D-ksyloza, a łańcuch boczny zawiera niewielką ilość kwasu uronowego. Obecność rozgałęzionych struktur w cząsteczkach polimerów może skutecznie zwiększyć przeszkodę przestrzenną łańcucha cząsteczkowego i sztywność łańcucha głównego oraz poprawić stabilność termiczną polimeru. Według danych literaturowych kwas uronowy ma właściwości przeciwutleniające, które mogą skutecznie hamować rozkład oksydacyjny polimerów w wysokich temperaturach, zwiększając tym samym stabilność termiczną polimeru. Ponieważ łupina babki jajowatej jest środkiem łatwo biodegradowalnym, podejmowane są badania nad zastosowaniem jej w cieczach wiertniczych.

Salmachi i inni (2016), Al-Hameedi i inni (2019b) oraz Chen i inni (2022) przeprowadzili badania nad wykorzystaniem *Psyllium* jako przyjaznego dla środowiska środka do obniżania filtracji do odpornych na wysokie temperatury

wodnodispersyjnych płuczek wiertniczych. *Psyllium* ma doskonałą odporność na temperaturę po sezonowaniu w warunkach dynamicznych w temperaturze 160°C. Gdy stężenie *Psyllium* wynosi 1%, obniżenie filtracji API i filtracji HTHP wynosi odpowiednio 76,04% i 56,91%. Mechanizm obniżenia filtracji przez *Psyllium* jest podobny do mechanizmu innych polimerów o dużej masie cząsteczkowej i obejmuje głównie adsorpcję, zagęszczanie i blokowanie fizyczne. Trójwymiarowa struktura sieciowa zawarta w *Psyllium* wykazuje doskonałe zdolności absorpcji wody i zwiększania lepkości. Ponadto grupy adsorpcyjne zawarte w łańcuchu cząsteczkowym mogą zostać zaadsorbowane na powierzchni skały ilastej, co skutecznie poprawia stabilność iltu. Rozgałęzione łańcuchy boczne i kwas uronowy *Psyllium* poprawiają stabilność termiczną cząsteczki i opóźniają rozkład w wysokiej temperaturze. Ponadto jest to materiał przyjazny dla środowiska, odnawialny i tani, a także może zastąpić niektóre naturalne lub syntetyczne polimery stosowane do obniżania filtracji.

Karageny to rodzaj polisacharydów ekstrahowanych z czerwonych wodorostów, zawierających w swej strukturze liczne grupy siarczanowe. Stanowią one surowiec spożywczy używany do wytwarzania galaret i żeli. W jego skład wchodzi przede wszystkim śluz, którego głównym składnikiem jest karagenina oraz inne polisacharydy. Surowcem do produkcji karagenu jest chrząstnica kędzierzawa, krasnorost określany potocznie jako mech irlandzki (*Chondrus crispus*). W swoich pracach De Oliveira i inni (2020) zaproponowali rozszerzenie koncepcji wykorzystania karagenów jako dodatków w celu poprawy odporności na sól wodnodispersyjnych płuczek wiertniczych przy jednoczesnym nadaniu odpowiednich właściwości reologicznych i zapewnieniu niskiej filtracji. Karageny wyizolowane do badań z roślin rzędu *Gigartinales* posiadały strukturę kopolimeru, w której bloki karagenu są rozdzielone sekwencjami karagenu z grupami siarczanowymi. Porównano standardowe parametry reologiczne i filtrację wodnodispersyjnych płuczek wiertniczych zawierających różne karageny. Wyniki wyraźnie pokazują, że najbardziej efektywne obniżenie filtracji jest związane z największą zawartością grup siarczanowych w łańcuchu polimeru, podczas gdy najwyższa lepkość plastyczna jest osiągana przy polisacharydzie z mniejszą liczbą grup siarczanowych. Ustalono, że to nie konformacja helisy polisacharydowej wpływa na właściwości filtracyjne płuczki, ale liczba grup siarczanowych w łańcuchu karagenowym. Karageny wykazują obiecujące właściwości w zakresie regulowania filtracji w przypadku płuczek stosowanych w niższych temperaturach.

Bazylija (*Ocimum basilicum*) jest uniwersalną rośliną zielną uprawianą w wielu częściach świata, szczególnie w regionach tropikalnych (Akbari i Ghoreishi, 2017; Gao i in., 2021; Zhong i in., 2022). Ze względu na obecność warstwy polisacharydowej

w zewnętrznej osłonce nasiona bazylii pęcznią w galaretowatą masę po namoczeniu w wodzie. Ponieważ ilość hydrokoloidu w nasionach bazylii jest wysoka, przeprowadzono porównanie materiału z nasion bazylii z komercyjnymi środkami tego typu, takimi jak ksantan. Istnieje niewiele prac opisujących zastosowanie nasion bazylii w celu poprawy filtracji w płuczkach wiertniczych. Dodanie sproszkowanych nasion bazylii (BSP) do zawiesiny bentonitowej spowodowało wzrost parametrów reologicznych zarówno przed sezonowaniem, jak i po sezonowaniu w temperaturze 120°C. Po sezonowaniu w temperaturze 150°C nie stwierdzono znaczącego wzrostu parametrów reologicznych, co wskazuje na nieefektywność BSP w takiej temperaturze z powodu degradacji cieplnej. Jeśli chodzi o kontrolę filtracji, BSP wykazywały się skutecznością w obniżaniu filtracji zawiesiny bentonitowej po starzeniu w temperaturze 90°C i 120°C, ale mniejszą wydajnością po ekspozycji na starzenie w temperaturze 150°C. Zawiesina bentonitowa zawierająca 1,0% BSP była odporna na zanieczyszczenie solą NaCl i CaCl₂ odpowiednio na poziomie 5,0% i 0,3%, przy nadal skutecznej kontroli filtracji. W obecności soli jednowartościowej i dwuwartościowej adsorpcja polisacharydów z nasion bazylii na cząstkach bentonitu osłabiła flokulację przez sole, co poprawiło stabilność i sprzyjało tworzeniu stosunkowo zwartej osadu filtracyjnego. Wyjątkowe właściwości filtracyjne nasion bazylii sprawiły, że są one zieloną alternatywą dla tradycyjnych materiałów syntetycznych w opracowywaniu płuczek wiertniczych na bazie wody (Akbari i Ghoreishi, 2017; Gao i in., 2021; Zhong i in., 2022).

Metodyka badań laboratoryjnych

Przeprowadzone badania laboratoryjne dotyczyły opracowania płuczek wiertniczych z wykorzystaniem materiałów pochodzenia naturalnego. Badania obejmowały dobór składu wodnodispersyjnych płuczek wiertniczych na podstawie oceny ich właściwości reologiczno-strukturalnych zapewniających stabilność układu, właściwości inhibicyjnych zapobiegających hydratacji minerałów ilastych oraz wielkości filtracji. Biorąc pod uwagę wyniki wstępnych badań laboratoryjnych wykonanych z użyciem różnych środków chemicznych i materiałów płuczkowych, do opracowania składów cieczy roboczych wytypowano:

- koloid ochronny typu skrobiowego do regulacji filtracji, który również ma wpływ na właściwości reologiczno-strukturalne;
- środki strukturotwórcze zapobiegające sedymentacji fazy stałej, biopolimery: ksantan, welan, skleroglukan – zaliczane do egzopolisacharydów, czyli pozakomórkowych polimerów

węglowodanowych, syntetyzowanych przez mikroorganizmy i wydzielanych na zewnątrz ściany komórkowej lub do środowiska pozakomórkowego;

- *Psyllium* – materiał otrzymany przez zmielenie łusek nasion rośliny *Plantago ovata* (babka jajowata);
- KCl, pełniący rolę jonowego inhibitora hydratacji skał ilasto-łupkowych;
- polimerowy inhibitor hydratacji skał ilasto-łupkowych – pochodną alkoholu tłuszczowego;
- biocyd oraz NaOH do regulacji pH;
- materiał mostkujący – blokator węglanowy do ochrony strefy przyodwiertowej poprzez utworzenie na ścianie odwiertu tymczasowego osadu ograniczającego inwazję filtratu w pory skały.

Przeprowadzone w pierwszej kolejności badania polegały na określeniu wpływu wytypowanych kompozycji środków na wielkość filtracji i właściwości reologiczno-strukturalne płuczek wiertniczych zawierających ustaloną ilość soli i blokatora węglanowego. W związku z tym przygotowanie płuczek wiertniczych polegało na dyspergowaniu w wodzie słodkiej obrobionej biocydem środka skrobiowego, jednego z biopolimerów oraz *Psyllium* przez około 20 godzin, a następnie wprowadzeniu KCl do otrzymanej zawiesiny koloidalnej. Po rozpuszczeniu soli w koloidalnej zawieszynie polimerowej dodawano kolejne składniki. Po około 16–20 godzinach po sporządzeniu płuczki wiertnicze poddawano wstępnym badaniom w temperaturze pokojowej. Celem tych badań było ustalenie wymaganej ilości wytypowanych środków chemicznych dla uzyskania odpowiednich parametrów reologiczno-strukturalnych i filtracji oraz właściwości inhibicyjnych płuczek wiertniczych. Ocenę zdolności płuczek wiertniczych do zapobiegania hydratacji minerałów ilastych przeprowadzono z udziałem wzorcowej skały ilasto-łupkowej reprezentowanej przez łupek mioceński. Wynikiem badania jest procentowy odzysk skały po dyspergowaniu jej okruszków w środowisku płuczki wiertniczej (P_1) i następnie wody (P_2).

Wyniki badań

Realizację zadania rozpoczęto od badań nad doбором składu płuczek wiertniczych charakteryzujących się odpowiednimi właściwościami reologiczno-strukturalnymi i inhibicyjnymi. Przeprowadzona seria badań płuczek sporządzonych na podstawie skrobi kleikowanej, ksantanu i różnych ilości *Psyllium* (do zawartości 1%), z dodatkiem blokatora węglanowego i KCl (tabela 1), wykazała, że płuczki te charakteryzują się stosunkowo niskimi wartościami parametrów reologicznych, które mogą powodować sedymentację fazy stałej, szczególnie w podwyższonej temperaturze. W kolejnej serii badań płuczek

sporządzonych na osnowie skrobi kleikowanej i ksantanu z dodatkiem *Psyllium* powyżej 1,5% oraz blokatora węglanowego i KCl (tabela 1) uzyskano poprawę filtracji, a jej wartości nie przekraczały $4,8 \text{ cm}^3$. Wartości parametrów reologicznych płuczek były znacznie wyższe, szczególnie wytrzymałości strukturalnej i granicy płynięcia. Płuczki zestawione w tabeli 1 po skażeniu fazą stałą i jonami metali dwuwartościowych w badaniach sezonowania w temperaturze 120°C wykazywały znaczny odstój wody i około dwukrotny wzrost filtracji.

Płuczki sporządzone na osnowie skrobi kleikowanej, *Psyllium* i większych ilości jednego z biopolimerów (0,3%) (tabela 2) charakteryzowały się znacznie lepszą odpornością na skażenia i działanie podwyższonej temperatury, nie obserwowano w nich żadnego odstępu wody ani sedymentacji fazy stałej po sezonowaniu w temperaturze 120°C . Oprócz ksantanu w składach płuczek wykorzystano biopolimery charakteryzujące się wyższą odpornością termiczną, tj. skleroglukan i welan.

Zastosowanie do płuczek dodatku inhibitora polimerowego w postaci pochodnej alkoholu tłuszczowego spowodowało podwyższenie parametrów reologicznych i obniżenie filtracji (tabela 2), ponadto nie obserwowano w tych płuczках sedymentacji fazy stałej, a uzyskane wartości filtracji wynosiły $3,8\text{--}4,4 \text{ cm}^3$. Badania te potwierdziły celowość zastosowania w płuczках wyższych stężeń *Psyllium*, zastąpienia ksantanu biopolimerami o wyższej odporności termicznej oraz dodatku pochodnej alkoholu tłuszczowego.

Na potrzeby dalszej realizacji pracy i prezentacji wyników wprowadzono oznaczenia poszczególnych płuczek wiertniczych, które zebrano razem z wynikami w tabelach 1 i 2.

Do badania dyspersji (tabela 1 i 2, rysunek 1) z użyciem opracowanych płuczek wykorzystano skałę wzorcową – łupek mioceński. Przeprowadzone badania potwierdziły wysoką zdolność inhibitowania hydratacji badanej skały przez opracowane płuczki. Odzyski skały po dyspergowaniu w płuczce bez dodatku inhibitora polimerowego (P_1) wynosiły 84–88%, natomiast po ponownym dyspergowaniu w wodzie (P_2) wynosiły 48–80%. Wprowadzenie dodatku inhibitora polimerowego (pochodnej alkoholu tłuszczowego) spowodowało wzrost odzysku skały po dyspersji w płuczce P_1 do wartości 94–96% oraz odzysku po dyspersji w wodzie P_2 do wartości 82–92%.

Podsumowanie

W artykule opisano badania płuczek, w których składach wykorzystano różne ilości dodatku *Psyllium* pozyskanego z rośliny *Plantago ovata* (babka jajowata). Płuczki te w swoich składach zawierały również inne materiały i środki pochodzenia

Tabela 1. Właściwości płuczek wiertniczych sporządzonych na osnowie skrobi kleikowanej i ksantanu (0,2%) z dodatkiem różnych ilości *Psyllium*

Table 1. Properties of drilling muds prepared on the basis of starch and xanthan gum (0.2%) with the addition of different amounts of *Psyllium*

Nr płuczki	Skład cieczy [%]		Gęstość, ρ [kg/m ³]	Lepkość [mPa·s]		Granica płynięcia, τ_y [Pa]	Wytrzymałość strukturalna [Pa]		Filtracja API [cm ³]	pH	Dyspersja P ₁ /P ₂	
				η_{pl}	η_s		I	II			P ₁	P ₂
1	Biocyd Skrobia kleikowana Ksantan Psyllium KCl Blokator węglanowy Oznaczenie płuczki R2,0X0,2P0,2	2,0 0,2 0,2 5,0 5,0	1070	13	18,5	5,3	0,7	1,3	6,6	9,3	70	54
2	Biocyd Skrobia kleikowana Ksantan Psyllium KCl Blokator węglanowy Oznaczenie płuczki R2,0X0,2P0,5	2,0 0,2 0,5 5,0 5,0	1070	16	23,0	6,7	0,9	1,5	4,8	9,2	74	68
3	Biocyd Skrobia kleikowana Ksantan Psyllium KCl Blokator węglanowy Oznaczenie płuczki R2,0X0,2P1,0	2,0 0,2 1,0 5,0 5,0	1070	21	35,5	13,9	2,8	5,1	3,8	9,1	82	70
4	Biocyd Skrobia kleikowana Ksantan Psyllium KCl Blokator węglanowy Oznaczenie płuczki R1,0X0,2P1,5	1,0 0,2 1,5 5,0 5,0	1070	27	58,0	29,7	10,8	12,6	4,8	8,9	86	76
5	Biocyd Skrobia kleikowana Ksantan Psyllium KCl Blokator węglanowy Oznaczenie płuczki R0,5X0,2P1,5	0,5 0,2 1,5 5,0 5,0	1070	27	56,0	27,8	9,5	11,8	4,2	8,8	82	50
6	Biocyd Ksantan Psyllium KCl Blokator węglanowy Oznaczenie płuczki R0X0,2P2,0	0,2 2,0 5,0 5,0	1070	49	108,5	57,1	22,6	22,6	4,8	8,5	70	36

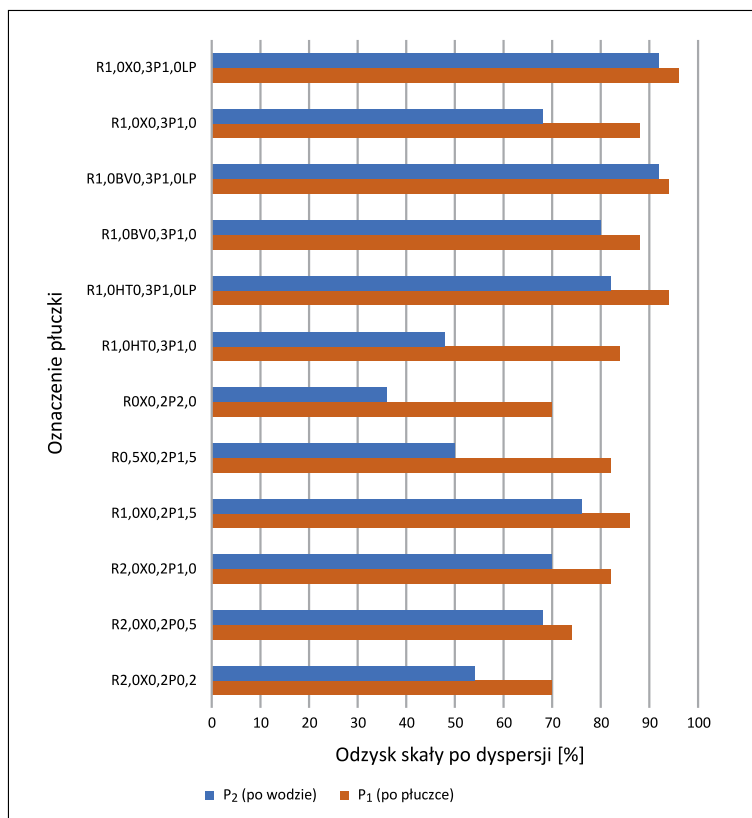
Tabela 2. Właściwości płuczek wiertniczych sporządzonych na osnowie skrobi kleikowanej (1%), różnych biopolimerów (0,3%) i *Psyllium* (1,0%), z dodatkiem pochodnej alkoholu tłuszczowego w porównaniu z płuczkami bez jego dodatku

Table 2. Properties of drilling muds prepared on the basis of starch (1%), various biopolymers (0.3%), and *Psyllium* (1.0%) with the addition of a fatty alcohol derivative compared to fluids without its addition

Nr płuczki	Skład cieczy [%]		Gęstość, ρ [kg/m ³]	Lepkość [mPa·s]		Granica płynięcia, τ_y [Pa]	Wytrzymałość strukturalna [Pa]		Filtracja API [cm ³]	pH	Dyspersja P_1/P_2	
				η_{pl}	η_s		I	II			P_1	P_2
1	Biocyd Skrobia kleikowana Welan <i>Psyllium</i> KCl Blokator węglanowy Oznaczenie płuczki R1,0HT0,3P1,0	1,0 0,3 1,0 5,0 5,0	1070	19	42,5	22,6	9,0	9,3	4,6	9,3	84	48
2	Płuczka 1 + pochodna alkoholu tłuszczowego Oznaczenie płuczki R1,0HT0,3P1,0LP	3,0	1070	25	52,0	25,9	9,2	13,4	3,8	9,1	94	82
3	Biocyd Skrobia kleikowana Skleroglukan <i>Psyllium</i> KCl Blokator węglanowy Oznaczenie płuczki R1,0BV0,3P1,0	1,0 0,3 1,0 5,0 5,0	1070	20	30,0	9,6	1,9	2,6	5,2	9,5	88	80
4	Płuczka 3 + pochodna alkoholu tłuszczowego Oznaczenie płuczki R1,0BV0,3P1,0LP	3,0	1070	24	40,5	15,8	3,4	5,1	4,2	9,1	94	92
5	Biocyd Skrobia kleikowana Ksantan <i>Psyllium</i> KCl Blokator węglanowy Oznaczenie płuczki R0,5X0,2P1,0	1,0 0,3 1,0 5,0 5,0	1070	21	39,0	17,3	5,2	6,6	5,2	9,3	88	68
6	Płuczka 5 + pochodna alkoholu tłuszczowego Oznaczenie płuczki R1,0X0,3P1,0LP	3,0	1070	25	46,5	20,6	6,0	7,9	4,4	9,1	96	92

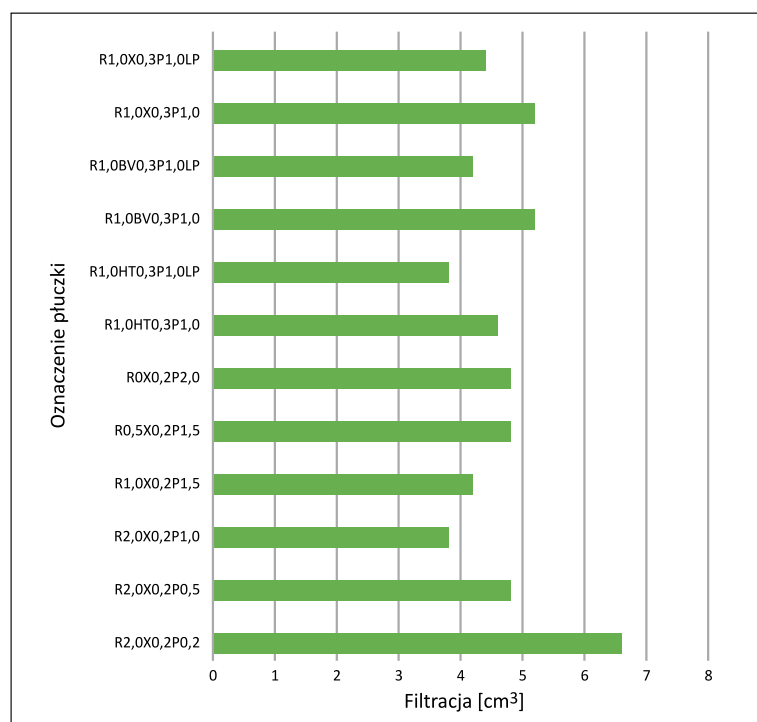
naturalnego. Jako koloid ochronny zastosowano skrobię kleikowaną, jako środek strukturotwórczy – ksantan, inhibitor jonowy – KCl oraz blokator węglanowy. W dalszym etapie badań w celu poprawy stabilności termicznej biopolimer ksantan zastąpiono biopolimerami przeznaczonymi do wyższych temperatur, czyli

welanem i skleroglukanem. Następnie dla uzyskania poprawy inhibicyjnych właściwości płuczek wiertniczych wprowadzono do składu dodatek inhibitora polimerowego (pochodna alkoholu tłuszczowego). Wykonano badania zmian ich właściwości pod wpływem skażenia fazą stałą i solami wapnia i magnezu.



Rysunek 1. Wyniki analizy dyspersyjnej łupku mioceńskiego w środowisku płuczek wiertniczych zawierających dodatek *Psyllium*

Figure 1. Results of dispersion analysis of Miocene shale in the drilling muds containing *Psyllium* additive



Rysunek 2. Porównanie filtracji płuczek wiertniczych zawierających dodatek *Psyllium*

Figure 2. Comparison of filtration of drilling muds containing *Psyllium* additive

Na płuczkach zawierających skażenia przeprowadzono testy sezonowania w temperaturze 120°C.

Na badanych płuczkach – zarówno z dodatkiem tylko inhibitora jonowego (KCl), jak i z dodatkiem obu inhibitorów, tj. KCl i pochodnej alkoholu tłuszczowego – przeprowadzono badania dyspersji łupku mioceńskiego (tabele 1 i 2, rysunek 1). Wszystkie opracowane płuczki zapobiegały dyspersji próbek skały wzorcowej, przy czym najwyższą zdolność ograniczania ich hydratacji posiadały ciecze zawierające w składzie dodatek pochodnej alkoholu tłuszczowego. Uzyskane wyniki wskazują, że dodatek *Psyllium* posiada wysoką efektywność obniżania filtracji w płuczkach sporządzonych na podstawie środka skrobiowego i biopolimeru z dodatkiem pochodnej alkoholu tłuszczowego. Działanie tego środka jest również widoczne w ograniczaniu hydratacji skał ilastych – uzyskane wartości odzysku skały, szczególnie wartości P₂, wynoszą około 90%, co jest wartością praktycznie niespotykaną w przypadku płuczek wodnodispersyjnych.

Otrzymane wyniki świadczą o potrzebie kontynuowania badań opracowanych płuczek i wprowadzenia ewentualnych modyfikacji składu w celu dostosowania do warunków otworowych. Biorąc pod uwagę konieczność zastosowania nietoksycznych płuczek wiertniczych, które będą charakteryzowały się wysoką zdolnością ograniczania hydratacji skał i będą wykazywały stabilność parametrów reologiczno-strukturalnych w podwyższonej temperaturze w obecności skażeń chemicznych, na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych zaproponowano następujące składy płuczek wiertniczych:

Woda wodociągowa	1 m ³
Biocyd	1 l
Skrobia kleikowana	10 kg
<i>Psyllium</i>	10 kg
Biopolimer*	3,0 kg
KCl	50 kg
Blokator węglanowy	50 kg
Pochodna alkoholu tłuszczowego	3,0 l

* welan lub skleroglukan, lub ksantan

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Płuczka wiertnicza do wierceń geotermalnych sporządzona z wykorzystaniem materiałów pochodzenia naturalnego*, praca INiG – PIB; nr zlecenia 0018/KW/2024, nr archiwalny: DK-4100-0004/2024.

Literatura

- Akbari I., Ghoreishi S.M., 2017. Generation of porous structure from basil seed mucilage via supercritical fluid assisted process for biomedical applications. *Pharmaceutical Sciences and Developmental Research*, 3(1): 30–35.
- Al-Hameedi A.T., Alkinani H.H., Dunn-Norman S., Alashwak N.A., Alshammari A.F., Alkhamis M.M., Albazzaz H.W., Mutar R.A., Alsaba M.T., 2019a. Environmentally friendly drilling fluid additives: can food waste products be used as thinners and fluid loss control agents for drilling fluid? *SPE Symposium: Asia Pacific Health, Safety, Security, Environment and Social Responsibility, Malaysia*. DOI: 10.2118/195410-MS.
- Al-Hameedi A.T., Alkinani H.H., Dunn-Norman S., Alshammari A.F., Mutar R., 2019b. Laboratory study of environmentally friendly drilling fluid additive to be exploited as a multifunctional bio-enhancer additive in water-based drilling fluid. *AADE Fluids Technical Conference and Exhibition, Denver*. AADE-19-NTCE-SPP-01.
- Behnmanhar H., Noorbakhsh S.S., Maghsoudloojaferi H., 2014. Environmentally Friendly Water-Based Drilling Fluid for Drilling of Water-Sensitive Formations. *Journal of Petroleum and Gas Exploration Research*, 4: 60–71. DOI: 10.14303/jpger.2014.018.
- Chen X., Gao X., Chen J., Liu Y., Song C., Liu W., Wan Y., Kong X., Guan Y., Qiu Z., Zhong H., Yang J., Cui L., 2022. Application of Psyllium Husk as a Friendly Filtrate Reducer for High-Temperature Water-Based Drilling Fluids. *ACS Omega*, 7(32): 27787–27797, DOI: 10.1021/acsomega.1c04999.
- de Oliveira V.A.V., dos Santos Alves K., da Silva-Junior A.A., Araújo R.M., Balaban R.C., Hilliou L., 2020. Testing carrageenans with different chemical structures for water-based drilling fluid application. *Journal of Molecular Liquids*, 299: 112139. DOI: 10.1016/j.molliq.2019.112139.
- Gao X., Zhong H.-Y., Zhang X.-B., Chen A.-L., Qiu Z.-S., Huang W.-A., 2021. Application of sustainable basil seed as an eco-friendly multifunctional additive for water-based drilling fluids. *Petroleum Science*, 18: 1163–1181. DOI: 10.1016/j.petsci.2021.05.005.
- Guo Q., Cui S.W., Wang Q., Goff H.D., Smith A., 2009. Microstructure and rheological properties of psyllium polysaccharide gel. *Food Hydrocolloids*, 23: 1542–1547. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2008.10.012.
- Jasiński B., 2021. Analiza możliwości podwyższenia stabilności termicznej płuczek wiertniczych poprzez dobór środków chemicznych. *Nafta-Gaz*, 77(3): 152–163. DOI: 10.18668/NG.2021.03.02.
- Jasiński B., Uliasz M., Budak P., Majkrzak M., Kłyż Ł., 2022. Badania nad doбором materiałów blokujących do tymczasowego uszczelnienia ścian otworu. *Nafta-Gaz*, 78(5): 358–374. DOI: 10.18668/NG.2022.05.04.
- Kaialy W., Emami P., Asare-Addo K., Shojaei S., Nokhodchi A., 2014. Psyllium: a promising polymer for sustained release formulations in combination with HPMC polymers. *Pharmaceutical Development and Technology*, 19: 269–277. DOI: 10.3109/10837450.2013.775156.
- Okon A.N., Akpabio J.U., Tugwell K.W., 2020. Evaluating the locally sourced materials as fluid loss control additives in water-based drilling fluid. *Heliyon*, 6: e04091. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04091.
- Patel M.K., Tanna B., Gupta H., Mishra A., Jha B., 2019. Physicochemical, scavenging and anti-proliferative analyses of polysaccharides extracted from psyllium (*Plantago ovata* Forssk) husk and seeds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133: 190–201. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.04.062.
- Patel M.K., Tanna B., Mishra A., Jha B., 2018. Physicochemical characterization, antioxidant and anti-proliferative activities of a polysaccharide extracted from psyllium (*P. ovata*) leaves. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118: 976–987. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.06.139.
- Salmachi A., Talemi P., Tooski Z.Y., 2016. Psyllium Husk in Water-Based Drilling Fluids: An Environmentally Friendly Viscosity and Filtration Agent. *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, Abu Dhabi, UAE*. DOI: 10.2118/183308-MS.
- van Craeyveld V., Delcour J.A., Courtin C.M., 2009. Extractability and chemical and enzymic degradation of psyllium (*Plantago ovata* Forsk) seed husk arabinoxylans. *Food Chemistry*, 112: 812–819. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.06.035.
- Wei Z., Wang H., Chen X., Wang B., Rong Z., Wang B., Su B., Chen H., 2009. Time- and dose-dependent effect of psyllium on serum lipids in mild-to-moderate hypercholesterolemia: a meta-analysis of controlled clinical trials. *European Journal of Clinical Nutrition*, 63: 821–827. DOI: 10.1038/ejcn.2008.49.
- Zhong H., Gao X., Zhang X., Chen A., Qiu Z., Kong X., Huang W., 2022. Minimizing the filtration loss of water-based drilling fluid with sustainable basil seed powder. *Petroleum*, 8(1): 39–52. DOI: 10.1016/j.petlm.2021.02.001.
- Zhou G., Qiu Z., Zhong H., Zhao X., Kong X., 2021. Study of Environmentally Friendly Wild Jujube Pit Powder as a Water-Based Drilling Fluid Additive. *ACS Omega*, 6(2): 1436–1444. DOI: 10.1021/acsomega.0c05108.



Mgr inż. Sławomir BŁAŻ
Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Technologii Wiercenia
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: slawomir.blaz@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



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