

Grzegorz Zima

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Analiza wpływu nanomateriałów na właściwości osadu filtracyjnego

W artykule przedstawiono wyniki badań nad doбором stężenia nanokrzemionki hydrofobowej oraz innych składników do płuczki wiertniczej, zapewniających uzyskanie stabilnych parametrów reologicznych i niskiej filtracji w warunkach otworopodobnych. Opisano badania nad określeniem wpływu dodatku nanokrzemionki i mikrokrzemionki oraz środków powierzchniowo czynnych na parametry reologiczne, filtrację API i HPHT oraz właściwości inhibitacyjne opracowanych płuczek wiertniczych. W dalszej części artykułu przedstawiono wyniki badań przyczepności kamienia cementowego do skał, na powierzchni których utworzyły się osady z badanych płuczek, oraz skuteczności usuwania tych osadów przez ciecz przemywającą. Na podstawie przeprowadzonych badań zaproponowano składy płuczek zawierających nanokrzemionkę hydrofobową dyspergowaną w poliglikolu w połączeniu ze środkami powierzchniowo czynnymi oraz mikrokrzemionkę.

Słowa kluczowe: płuczka wiertnicza, nanomateriały, nanokrzemionka, mikrokrzemionka, osad ilowy.

Analysis of the effect of nanomaterials on the properties of filter cake

The article presents results of research on the choice of hydrophobic silica nanoparticles and other components concentration in the drilling fluid, that ensures stable rheological parameters and low water loss in borehole conditions. Studies to determine the effect of nanosilica, microsilica and surfactants additions on rheological parameters, inhibition properties, API and HPHT filtration of prepared drilling fluids were described. The following section presents the results of adhesion tests of cement stone to rocks, on which sediment from the scrubbers was formed, and the efficiency of removing these sediments from the washing liquid. Based on the laboratory study, a drilling fluid composition containing a hydrophobic nanosilica dispersed in a polyglycol in combination with surfactants and microsilica was proposed.

Key words: drilling mud, nanomaterials, nanosilica, microsilica, filter cake.

Wprowadzenie

W czasie wiercenia na ścianie otworu powstaje w zależności od składu płuczki osad filtracyjny składający się na ogół z bentonitu, skrobi, karboksymetylocelulozy, polimerów syntetycznych, barytu i zwiercin. Ograniczanie filtracji fazy wodnej z płuczki poprzez tworzenie osadu filtracyjnego nie zapewnia jednak pełnej ochrony ścian otworu. Powszechnie dodawane materiały do płuczek wiertniczych nie zawsze zapewniają utworzenie szczelnego osadu filtracyjnego. Opierając się na dostępnych danych literaturowych, można zauważyć, że ograniczenie wnikania płuczki w przewiercane skały (m.in. łupkowe) może być osiągnięte poprzez zastosowanie w składach płuczek nanocząstek krzemionki o dopasowanej wielkości. Średnie rozmiary nanocząstek powinny być tak dobrane, by mogły doszczelniać osad filtracyjny [16].

Zastosowanie nanokrzemionki hydrofobowej dyspergowanej w płuczce wiertniczej wodnodispersyjnej za pomocą środków powierzchniowo czynnych jest zagadnieniem nowym. W celu stabilizacji oraz poprawy właściwości inhibitacyjnych w badanych płuczках wykorzystano dodatkowo poliglikol oraz połączono dodatek nanokrzemionki z mikrokrzemionką. Materiały obciążające, takie jak blokator węglanowy czy baryt, mają rozmiary ziaren w zakresie $10^2 \div 10 \mu\text{m}$, natomiast mikrokrzemionka – około $15 \mu\text{m}$. Przy zastosowaniu tych materiałów i nanokrzemionki o rozmiarach około $0,1 \mu\text{m}$ możliwe było uzyskanie płuczek wiertniczych tworzących szczelny i słabo przepuszczalny osad.

W artykule opisano również badania nad określeniem wpływu nanokrzemionki i mikrokrzemionki na jakość

cementowania kolumn rur okładzinowych. Przeprowadzone w tym zakresie analizy dotyczyły pomiarów przyczepności kamienia cementowego do skały, na powierzchni której utworzył się osad z płuczki wiertniczej, a także określe-

nia wymywania osadów z płuczek przez ciecz przemylającą. Dla opracowanych płuczek wykonano również badania wpływu ich składu na wartości współczynnika tarcia na kontakcie metal-metal.

Zastosowanie nanokrzemionki w płuczkach wiertniczych

Trudności w czasie wiercenia wynikają między innymi z występowania podwyższonej temperatury i ciśnienia w głębokich otworach oraz czynników związanych ze składem mineralogicznym przewiercanych warstw [7]. Płuczka wiertnicza w związku z tym musi mieć takie właściwości, które umożliwiają bezpieczne i bezawaryjne odwiercenie otworu. Najistotniejszym wyzwaniem przy opracowaniu składu płuczki wodnodispersyjnej jest utrzymanie stabilnych właściwości takich jak parametry reologiczne i filtracja.

Zastosowanie nanocząstek w płuczkach wiertniczych jest problemem stosunkowo nowym, podczas gdy w wielu innych dziedzinach nanotechnologia znalazła zastosowanie już dawno i uznano ją za kluczową technologię w rozwiązywaniu problemów z zakresu biologii, informatyki, środowiska i energetyki [11, 12].

Jednym z najczęściej wykorzystywanych materiałów w nanotechnologii jest ditlenek krzemu (krzemionka – SiO_2). Dostępność tego materiału oraz specyficzne właściwości przyczyniły się do jego szerokiego zastosowania. Jest on trwały w wodzie w podwyższonych temperaturach, a dodatkowo to dobry izolator. Krzemionka jest chemicznie inerta i ulega reakcjom jedynie z wrzącymi, stężonymi roztworami wodnymi KOH i NaOH, stopionymi Na_2CO_3 i K_2CO_3 oraz fluorowodorem lub jego wodnymi roztworami. Średnica nanocząstek ditlenku krzemu produkowanego w przemyśle najczęściej zawiera się w przedziale od 5 do 1000 nm, a ich powierzchnia właściwa mieści się w zakresie od 545 do 2,73 m^2/g [11, 12, 15].

Wśród płuczek wyodrębnia się tzw. inteligentne systemy płuczkowe: są to ciecze nano, które zawierają cząstki (dodatki) w rozmiarze nano. W zależności od liczby dodatków o nanowymiarach, płuczki mogą być podzielone na proste ciecze nano lub zaawansowane ciecze nano. Płuczki nano posiadające jeden rodzaj dodatku nanocząstek są określane jako proste nanopłuczki, podczas gdy płuczki wiertnicze zawierające więcej niż jeden dodatek nanocząstek są zdefiniowane jako zaawansowane płuczki nano [1, 2].

Autorzy publikacji [3, 4, 10, 13] za podstawowy cel swojej pracy przyjęli zmniejszenie uszkodzenia naturalnej przepuszczalności skał zbiornikowych poprzez ograniczenie filtracji płuczki wiertniczej z dodatkiem nanomateriałów. W badaniach zastosowano trzy różne wielkości nanocząstek krzemionki w celu określenia zakresu wielkości nanocząstek, które w największym stopniu przyczyniają się do ograniczania

filtracji płuczki. Okazało się, że optymalna wielkość nanocząstek mieściła się w zakresie 5÷15 nm. Najlepsze pod względem ekonomicznym i jednocześnie skuteczne stężenie nanocząstek wynosiło od 20% do 30% wag. Nanocząsteczki, wnikając w pory skał, odgrywają kluczową rolę w zwiększaniu stabilności ściany otworu. Sprzyjają temu wyższe wartości filtracji płuczki, które umożliwiają głębsze wnikanie nanocząstek. Zbyt wysoka wartość filtracji może jednak powodować obniżenie stabilności ściany otworu.

Sensoy i Cai oraz współautorzy pokazali w swojej pracy [8, 18], że nanomateriały zmniejszają przepuszczalność skał łupkowych o 5 do 50%. Zauważają oni znaczący postęp w dziedzinie zastosowania nanotechnologii w inżynierii wiercenia otworów w celu pozyskiwania ropy naftowej i gazu. Nanomateriały przyczyniają się do ograniczenia zaników cieczy wiertniczych, poprawy stabilności ścian otworu oraz zwiększają przyczepność zaczynu cementowego do rury [14].

Abdo i Haneef [1, 2] stwierdzili, że zapobieganie utracie cyrkulacji przez płuczki zawierające mikro- i makromateriały LCM (materiały przeciwdziałające zanikom płuczek) często nie przynosi oczekiwanych rezultatów. Skuteczne uszczelnienie porowatych i przepuszczalnych stref spękanych jest możliwe po zastosowaniu materiałów LCM o rozmiarach mikro i makro w połączeniu z materiałami o rozmiarach nano. Nanocząstki wielofunkcyjne przyczyniają się ponadto do zmniejszenia uszkodzenia formacji złożowych.

Badania przeprowadzone przez M. Adela i innych [3, 6, 9, 10, 17, 19] potwierdzają wysoką skuteczność nanomateriałów w obniżaniu filtracji płuczek wiertniczych oraz zmniejszaniu uszkodzenia naturalnej przepuszczalności skał zbiornikowych. W badaniach zastosowano nanokrzemionki o rozmiarach: 5÷15 nm, 10÷25 nm i 70÷95 nm. Płuczki do badań sporządzone zostały na podstawie biopolimeru XCD z dodatkiem KCl i obciążane były barytem. Na podstawie uzyskanych wyników za optymalny rozmiar uznano nanokrzemionkę o wymiarach 5÷15 nm. Najmniejsze cząstki materiału (5÷15 nm) skutecznie przechodzą pomiędzy większymi cząstkami fazy stałej i materiałów obciążających i blokują pory w skale.

W literaturze zagranicznej [1, 2, 4, 5, 18] jako główne zalety płuczek zawierających nanomateriały wymienia się: zmniejszenie uszkodzenia złoża, skuteczność w obniżaniu filtracji płuczek wiertniczych (znacznie lepszą niż polimerów celulozowych) oraz skuteczność przy likwidowaniu zaników płuczki.

Metodyka i plan badań laboratoryjnych

Badania rozpoczęto od opracowania składu płuczek wiertniczych zawierających nanokrzemionkę hydrofobową, poliglikol oraz środki powierzchniowo czynne charakteryzujących się odpowiednimi parametrami reologicznymi oraz filtracją. Badania te polegały na doborze ilości nanokrzemionki oraz ilości i rodzaju środka powierzchniowo czynnego. Użyto w nich trzech rodzajów środków powierzchniowo czynnych (SPCz): produktu addycji tlenu etylenu do oleju rydocynolowego, produktu addycji tlenu etylenu do alkoholu tłuszczowego i estru sorbitolu. Nanokrzemionkę przed dodaniem do płuczki dyspergowano wstępnie przy użyciu sonifikatora w mieszaniu wody i poliglikolu przez okres 30 minut, a następnie tak przygotowaną zawiesinę wprowadzano do płuczek. W płuczках bez dodatku nanokrzemionki stosowano dodatek wody w ilości opowiadającej tej, w której dyspergowano nanokrzemionkę w celu wyeliminowania wpływu rozcieńczenia.

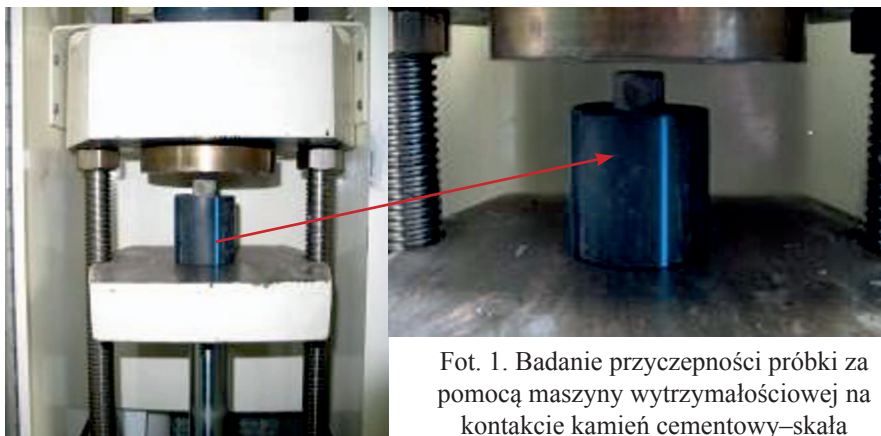
Badania były prowadzone zgodnie z obowiązującymi normami: API 13B-1 – *Recommended Practice Standard Procedure for Field Testing Water-Based Drilling Fluids*, API 13I – *Recommended Practice Standard Procedure for Laboratory Testing Drilling Fluids* oraz procedurami badawczymi spełniającymi wymagania normy PN-EN ISO-9001:2001, przy użyciu standardowej aparatury badawczej do oznaczania właściwości technologicznych płuczek wiertniczych. W dalszych badaniach przeprowadzono pomiary współczynnika tarcia na kontakcie metal-metal w środowisku wybranych płuczek w celu oceny wpływu dodatku nanokrzemionki i mikrokrzemionki na właściwości smarne płuczek. Badania współczynnika tarcia przeprowadzono przy użyciu aparatu EP-tester firmy Fann. Ostatnim etapem działań było określenie wpływu osadu filtracyjnego powstałego z wybranych płuczek na jakość cementowania kolumn rur okładzinowych. W tym celu przeprowadzono pomiary przyczepności kamienia cementowego do skały po oddziaływaniu płuczek oraz możliwości wmywania osadów filtracyjnych z płuczek przez cieczy przemylające.

Badanie dyspersji skały ilasto-lupkowej jest podstawową metodą oceny skuteczności inhibitującego działania płuczek wiertniczych lub roztworów inhibitorów. Metoda ta pozwala na określenie procentowego odzysku zwiercin dyspergowanych w środowisku płuczek wiertniczych.

Badanie przyczepności kamienia cementowego do skały rozpoczynano od wytworzenia osadu z płuczki na rdze-

niu z piaskowca karpackiego. Osad na powierzchni rdzenia tworzono przez obracanie go za pomocą mieszadła w specjalnym uchwycie po zanurzeniu w płuczce wiertniczej. Kolejną czynnością było zalanie rdzeni zaczynem cementowym we wcześniej przygotowanych formach z tworzywa sztucznego, wewnątrz którego centralnie umieszczono rdzeń skalny z osadem. Zaczyn sporządzono według wybranej receptury. Tak przygotowane próbki pozostawiano do sezonowania w wannie termostatycznej w temperaturze 20°C. Po upływie dwóch i siedmiu dni wykonano badania przyczepności kamienia cementowego do próbki skały, co pozwalało określić wpływ osadów z badanych płuczek wiertniczych.

Metodyka badania przyczepności kamienia cementowego do skały została opracowana na podstawie normy PN-85/G-02320 *Cementy i zaczyny cementowe do cementowania w otworach wiertniczych*, pkt. 3.4.5, która dotyczy badań przyczepności kamienia cementowego do rur stalowych. Badania przyczepności przeprowadzono po określonym czasie hydratacji cementu. Próbkę skały wraz z kamieniem cementowym umieszczano między dwiema płytami maszyny wytrzymałościowej (fotografia 1), gdzie pod wpływem płynie przykładanego na próbkę obciążenia mierzono siłę zerwania przyczepności na kontakcie kamień cementowy-skała, którą następnie przeliczano na przyczepność w MPa.



Fot. 1. Badanie przyczepności próbki za pomocą maszyny wytrzymałościowej na kontakcie kamień cementowy-skała

Badania wmywania osadów z płuczek prowadzono na aparacie do erodowania wirowego. Składał się on z uchwytu, w którym umieszczano materiał ceramiczny z wytworzonym osadem, oraz mieszadła mechanicznego umieszczonego nad powierzchnią osadu w stałej odległości. Tworzenie osadu następowało przez kapilarne zasysanie płuczki przez suchy materiał ceramiczny. Następnie na specjalnie przygotowanym stanowisku przeprowadzono wmywanie wytworzonych osadów za pomocą mieszadła mechanicznego przy 600 obr/min, po zanurzeniu w cieczy przemylającej. Jako ciecz przemylającą zastosowano 1-procentowy roztwór

środka stosowanego w przemyśle do usuwania pozostałości płuczki ze ścian otworu przed zabiegiem cementowania (Mudcleaner). Jakość wymywania oceniano na podsta-

wie obserwacji i pomiaru czasu, po którym następowało całkowite usunięcie osadu, czyli uzyskano zupełne oczyszczenie powierzchni krążka ceramicznego.

Badania laboratoryjne nad doбором dodatku nanokrzemionki i SPCz w składach beziłowych płuczek wiertniczych

Badania nad doбором składu płuczek wiertniczych z dodatkiem nanokrzemionki hydrofobowej wykonano z udziałem płuczki na osnowie koloidów typu celulozowego, tj. karboksymetylocelulozy (KMC) i polianionowej celulozy (PAC) oraz biopolimeru XCD. Dla wszystkich płuczek przeprowadzono badania właściwości w warunkach otworopodobnych przy skażeniu chemicznym (chlorki wapnia i magnezu), wprowadzeniu zwiercin (zmielony lupek mioceński) oraz

wygrzewaniu w temperaturze 120°C. Uzyskane wyniki dowiodły, że płuczki z dodatkiem nanokrzemionki hydrofobowej, poliglikolu oraz dodatkowo SPCz (tablica 1) charakteryzują się niższą filtracją niż płuczka bez jej dodatku. Otrzymane wyniki wykazały korzystny wpływ dodatku SPCz na obniżenie filtracji (API i HPHT) płuczek zawierających nanokrzemionkę hydrofobową i poliglikol. W dalszych badaniach, w celu doszczelnienia osadu filtracyjnego, zmodyfi-

Tablica 1. Wyniki analizy dyspersyjnej, pomiarów filtracji oraz współczynnika tarcia w środowisku płuczek wiertniczych zawierających nanokrzemionkę i mikrokrzemionkę

Nr płuczki	Skład płuczki [%]		Dyspersja [%] P_1/P_2	Filtracja [cm ³]		Czas usunięcia osadu [min]	Przyczepność kamienia cementowego do rur [MPa]		Współczynnik tarcia [-]
				API 20°C	HPHT 120°C		po 2 dniach	po 7 dniach	
1	biocyd	0,10	90/20	26,0	36,0	25	1,13	1,80	0,145
	XCD	0,15							
	KMC niskolepna	1,00							
	PAC średniolepna	0,10							
	PAC niskolepna	0,20							
	KCl	5,00							
	poliglikol	4,00							
	SPCz	1,00							
	blokator węglanowy	7,00							
2	biocyd	0,10	98/40	7,6	23,0	25	1,09	1,76	0,160
	XCD	0,15							
	KMC niskolepna	1,00							
	PAC średniolepna	0,10							
	PAC niskolepna	0,20							
	KCl	5,00							
	poliglikol	4,00							
	nanokrzemionka hydrofobowa	2,00							
	SPCz	1,00							
	blokator węglanowy	7,00							
3	biocyd	0,10	96/36	6,0	21,0	22	0,98	1,67	0,175
	XCD	0,15							
	KMC niskolepna	1,00							
	PAC średniolepna	0,10							
	PAC niskolepna	0,20							
	KCl	5,00							
	poliglikol	4,00							
	nanokrzemionka hydrofobowa	1,00							
	mikrokrzemionka	1,00							
	SPCz	1,00							
	blokator węglanowy	7,00							

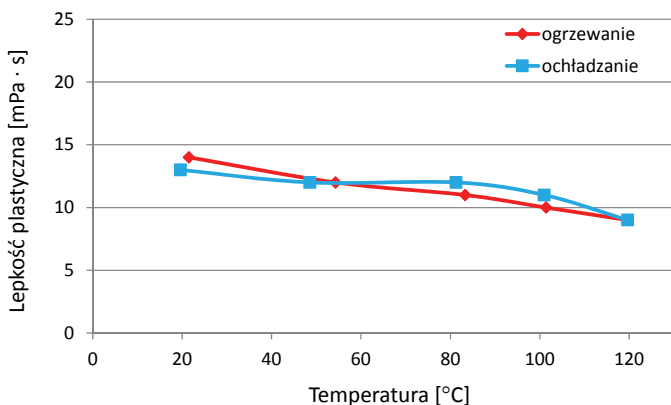
cd. Tablica 2

Nr płuczki	Skład płuczki [%]		Dyspersja [%] P_1/P_2	Filtracja [cm ³]		Czas usunięcia osadu [min]	Przyczepność kamienia cementowego do rur [MPa]		Współczynnik tarcia [-]
				API 20°C	HPHT 120°C		po 2 dniach	po 7 dniach	
4	biocyd	0,10	96/30	20°C	24,0	20	0,90	1,53	0,155
	XCD	0,15							
	KMC niskolepna	1,00							
	PAC średniolepna	0,10							
	PAC niskolepna	0,20							
	KCl	5,00							
	poliglikol	4,00							
	mikrokrzemionka	2,00							
	SPCz	1,00							
	blokator węglanowy	7,00							

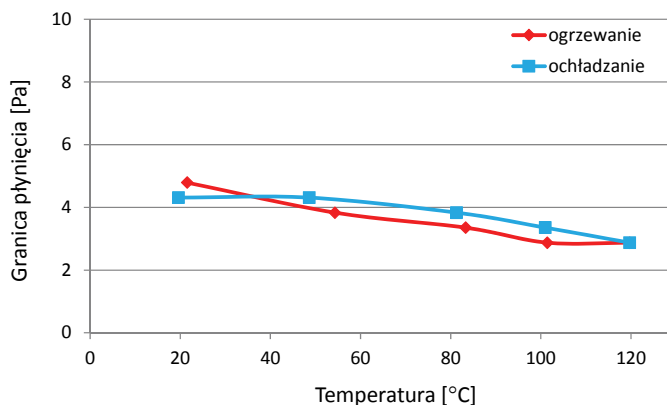
kowano skład płuczek poprzez zastąpienie części nanokrzemionki przez mikrokrzemionkę. Pozwoliło to na uzyskanie płuczek charakteryzujących się niską filtracją, zarówno mierzoną w temperaturze otoczenia, jak i w warunkach HPHT.

W ramach pracy przeprowadzono również badania parametrów reologicznych wybranych płuczek zawierających

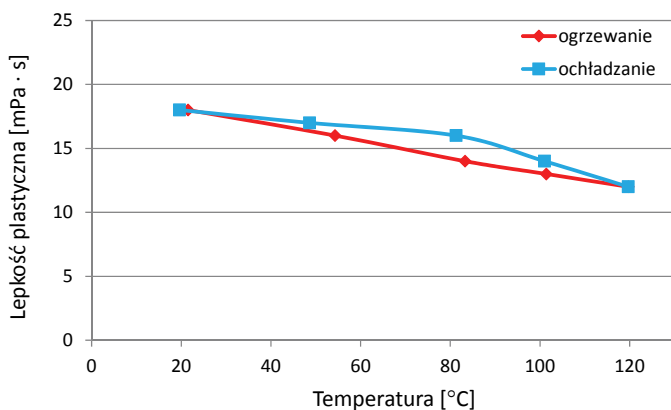
SPCz w warunkach HPHT z wykorzystaniem wiskozymetru OfITE 77. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci zależności lepkości plastycznej i granicy płynięcia od temperatury w zakresie 20÷120°C (rysunki 1–8). Otrzymane wyniki potwierdziły stabilność parametrów reologicznych w cyklu podgrzewania i chłodzenia płuczek wiertniczych.



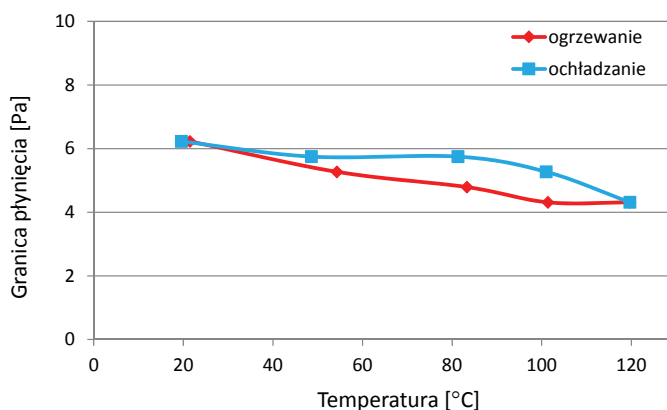
Rys. 1. Zależność lepkości plastycznej płuczki z dodatkiem poliglikolu od temperatury (tablica 1, poz. 1)



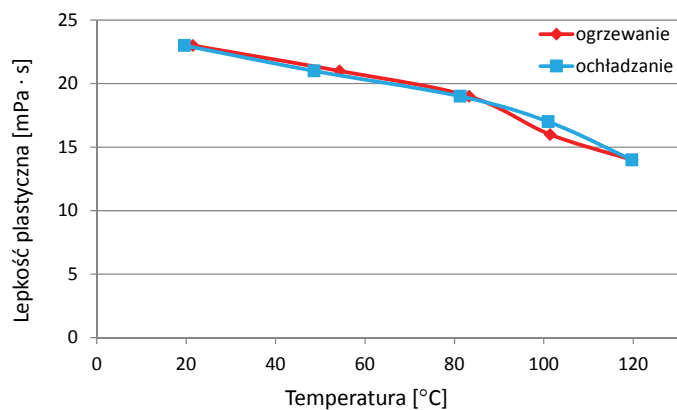
Rys. 2. Zależność granicy płynięcia płuczki z dodatkiem poliglikolu od temperatury (tablica 1, poz. 1)



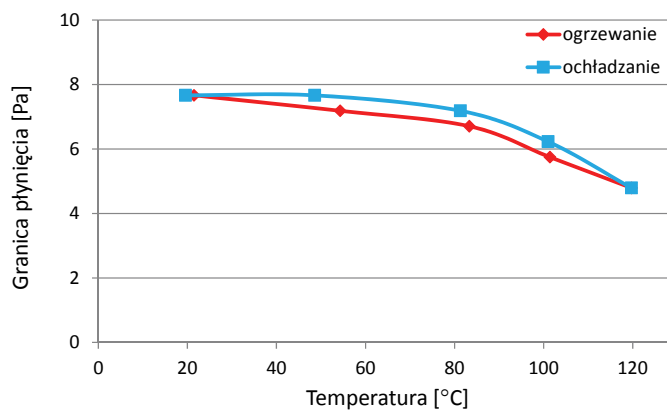
Rys. 3. Zależność lepkości plastycznej płuczki z dodatkiem poliglikolu oraz nanokrzemionki hydrofobowej (1%) i mikrokrzemionki (1%) od temperatury (tablica 1, poz. 2)



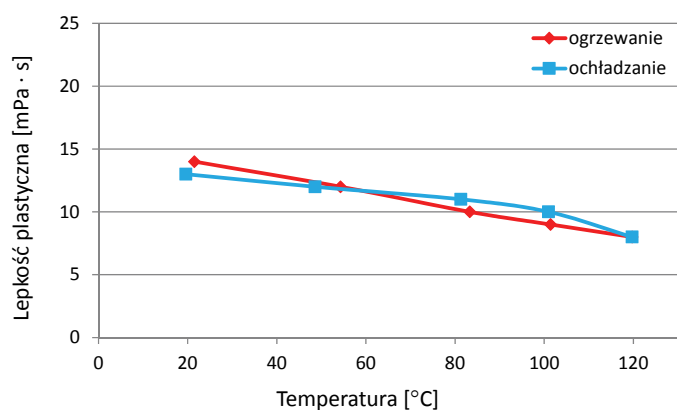
Rys. 4. Zależność granicy płynięcia płuczki z dodatkiem poliglikolu oraz nanokrzemionki hydrofobowej (1%) i mikrokrzemionki (1%) od temperatury (tablica 1, poz. 2)



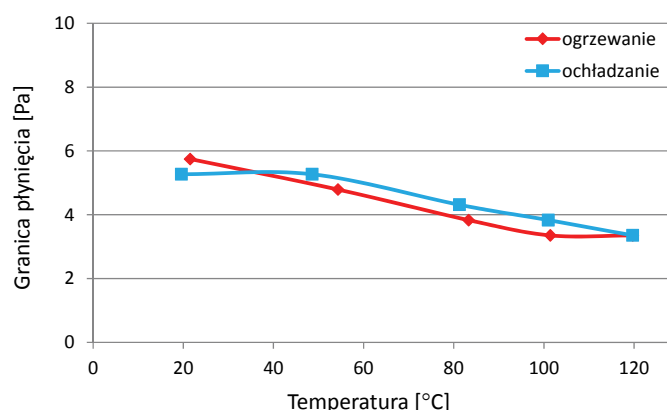
Rys. 5. Zależność lepkości plastycznej płuczki z dodatkiem poliglikolu oraz nanokrzemionki hydrofobowej (2%) od temperatury (tablica 1, poz. 3)



Rys. 6. Zależność granicy płynięcia płuczki z dodatkiem poliglikolu oraz nanokrzemionki hydrofobowej (2%) od temperatury (tablica 1, poz. 3)



Rys. 7. Zależność lepkości plastycznej płuczki z dodatkiem poliglikolu oraz mikrokrzemionki (2%) od temperatury (tablica 1, poz. 4)

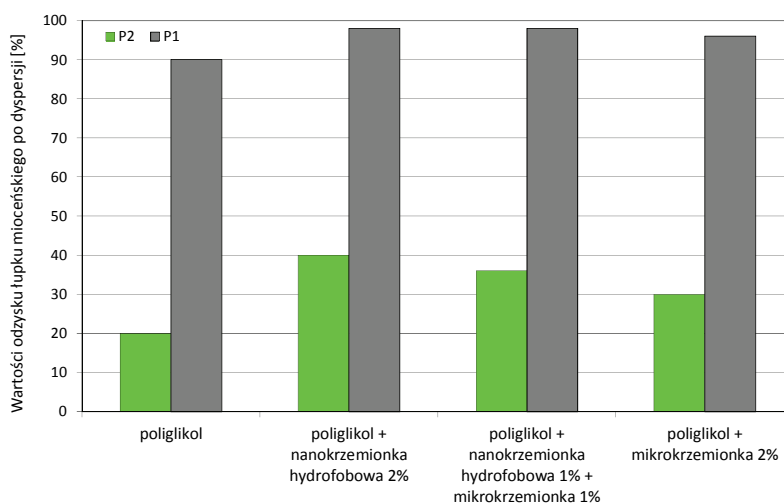


Rys. 8. Zależność granicy płynięcia płuczki z dodatkiem poliglikolu oraz mikrokrzemionki (2%) od temperatury (tablica 1, poz. 4)

Określenie wpływu dodatku nanokrzemionki na właściwości inhibitacyjne płuczek wiertniczych

Cząstki nanomateriałów, tworząc osad na powierzchni skał, wykazują zdolność inhibitowania hydratacji skał ilastych. Właściwości inhibitacyjne wybranych płuczek wiertniczych oceniono na podstawie pomiarów dyspersji łupku mioceńskiego. Wpływ dodatku nanokrzemionki hydrofobowej, poliglikolu i SPCz na podwyższenie właściwości inhibitacyjnych potwierdzono uzyskanymi wynikami badań dyspersji dla poszczególnych składów płuczek (tablica 1) oraz przedstawiono graficznie na rysunku 9.

Najwyższe wartości odzysku łupku w płuczce i w wodzie uzyskano w płuczce z dodatkiem nanokrzemionki hydrofobowej oraz poliglikolu. P_1 – odzysk łupku w płuczce – osiągał wartości bliskie 100%, a P_2 – odzysk łupku po dyspersji w wodzie – wynosił około 40% (rysunek 9). Dodatek mikrokrzemionki powoduje pogorszenie właściwo-

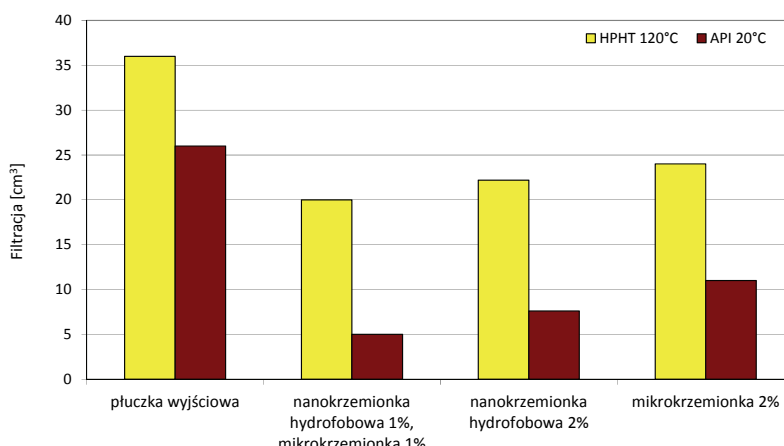


Rys. 9. Wyniki analizy dyspersyjnej łupku mioceńskiego w środowisku płuczek z dodatkiem nanokrzemionki hydrofobowej i mikrokrzemionki

ści inhibitacyjnych płuczek. Wartości P_2 ulegają obniżeniu do około 30%.

Badanie wpływu dodatku nanokrzemionki na ograniczenie filtracji płuczki w warunkach otworopodobnych

Dla opracowanych płuczek wykonano badania filtracji HPHT (tablica 1, rysunek 10). W podwyższonej temperaturze (120°C) uzyskano podobną zależność filtracji płuczek od ich składu jak w przypadku filtracji API w temperaturze otoczenia. Przeprowadzone badania potwierdziły korzystny wpływ dodatku nanokrzemionki hydrofobowej w połączeniu z SPCz oraz mikrokrzemionki na obniżenie filtracji płuczek w temperaturze otoczenia (filtracja API) i warunkach otworopodobnych (filtracja HPHT – 120°C). Przy czym w płuczce zawierającej tylko mikrokrzemionkę filtracja była wyższa niż w przypadku płuczek z nanokrzemionką hydrofobową.

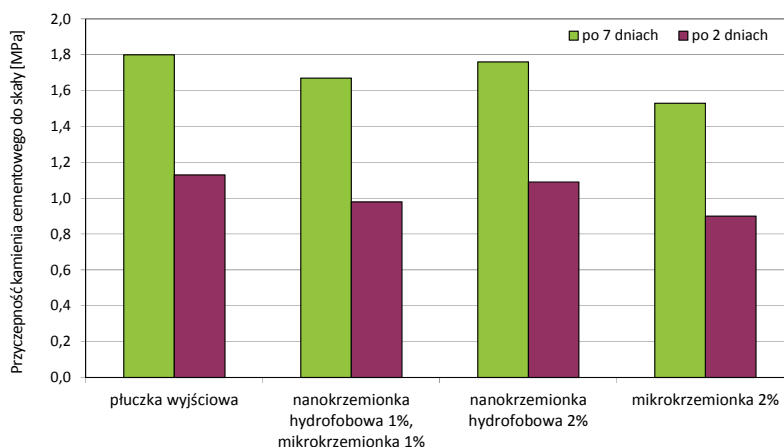


Rys. 10. Wartość filtracji API (20°C) i HPHT w temperaturze 120°C płuczek z dodatkiem nanokrzemionki hydrofobowej i mikrokrzemionki

Badania wpływu osadu płuczek wiertniczych na przyczepność kamienia cementowego

W celu porównania wpływu składu osadu płuczkowego na przyczepność kamienia cementowego do skały przeprowadzono badania z użyciem czterech płuczek wiertniczych. Składy wykorzystanych płuczek przedstawiono w tablicy 1.

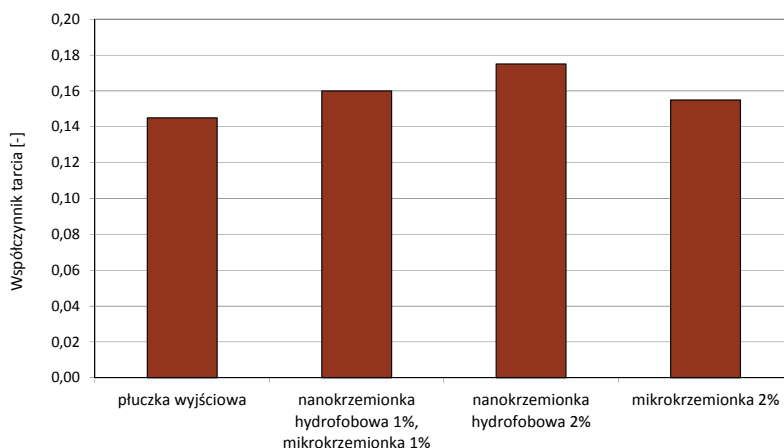
Na podstawie wykonanych badań (tablica 1, rysunek 11) stwierdzono, że najwyższą wartość przyczepności uzyskano dla rdzenia pokrytego osadem zawierającym jedynie blokator węglanowy (płuczka 1). Przyczepność do rdzenia pokrytego osadem posiadającym samą nanokrzemionkę (płuczka 3) była nieznacznie niższa, natomiast najniższe wartości przyczepności uzyskano dla osadów zawierających mikrokrzemionkę (płuczki 2 i 4).



Rys. 11. Wpływ osadu filtracyjnego z płuczek wiertniczych zawierających nanokrzemionkę hydrofobową i mikrokrzemionkę na wartości przyczepności na kontakcie kamień cementowy–formacja skalna (piaskowiec)

Badania właściwości smarnych płuczek zawierających nanokrzemionkę hydrofobową i mikrokrzemionkę

Pomiary współczynnika tarcia na kontakcie metal–metal (tablica 1, rysunek 12) wykazały wpływ dodatku mikrokrzemionki na obniżenie współczynnika tarcia. Im większa zawartość mikrokrzemionki w płuczce, tym wartość współczynnika tarcia niższa. Najwyższe wartości współ-



Rys. 12. Wartości współczynnika tarcia na kontakcie metal–metal w środowisku płuczek zawierających nanokrzemionkę hydrofobową i mikrokrzemionkę

czynnika tarcia uzyskano dla płuczki z dodatkiem nanokrzemionki. Jest to najprawdopodobniej spowodowane małymi rozmiarami fazy stałej (nanokrzemionki) tworzącej bardzo cienką błonkę na powierzchni metalu. Mikrokrzemionka tworzy grubszą błonkę pokrywającą powierzchnię me-

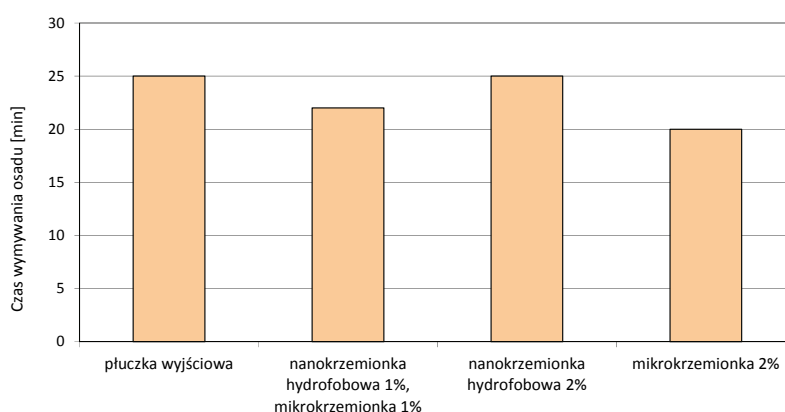
tal i tym samym przyczynia się do zmniejszenia tarcia na kontakcie metal-metal. Należy zaznaczyć, że dla wszystkich badanych płuczek uzyskano niskie wartości współczynnika tarcia ($0,145 \pm 0,175$) wynikające z zastosowania w składzie płuczki poliglikolu (rysunek 12).

Badania wymywania osadów z płuczek wiertniczych zawierających nanokrzemionkę hydrofobową i mikrokrzemionkę

Osady tworzące się podczas filtracji badanych płuczek były cienkie i dość mocno zbite (fotografia 2). Ze względu na swoją małą grubość nie powinny w znaczący sposób przyczynić się do pogorszenia jakości cementowania kolumn rur okładzinowych. Struktura osadów może natomiast stwarzać trudności w ich wymywaniu przez ciecz przemysłową przed zabiegiem cementowania. Przeprowadzone badania wykazały nieznaczne różnice w czasie wymywania osadów z płuczek z dodatkiem nanokrzemionki hydrofobowej i mikrokrzemionki. Osady zawierające mikrokrzemionkę były nieznacznie łatwiej wymywane. Jako ciecz przemysłową zastosowano 1-procentowy roztwór środka. Wyniki zebrano w tablicy 1 oraz na rysunku 13.

Niepewność uzyskanych wyników pomiarów zaprezentowanych w artykule oznaczono na podstawie klasy dokładności urządzeń pomiarowych na poziomie: dla pomiarów reolo-

gicznych – 0,2%, dla pomiarów współczynnika tarcia – 0,3%, dla pomiarów filtracji – 0,8%, dla pomiarów dyspersji – 1% oraz dla pomiarów przyczepności do rur – 0,6%.



Rys. 13. Czas wymywania osadów z płuczek wiertniczych zawierających nanokrzemionkę hydrofobową i mikrokrzemionkę przez ciecz przemysłową



a) płuczka 1, tab. 1

b) płuczka 2, tab. 1

c) płuczka 3, tab. 1

d) płuczka 4, tab. 1

Fot. 2. Osady filtracyjne wytworzone z płuczek wiertniczych

Podsumowanie

W przeprowadzonych badaniach uzyskano pozytywne wyniki obniżenia filtracji poprzez doszczelnienie osadu filtracyjnego płuczek wiertniczych przy zastosowaniu nanokrzemionki hydrofobowej dyspergowanej w wodnym roztworze poliglikolu i środka powierzchniowo czynnego. Nie zaobserwowano znaczących różnic we właściwościach płuczek zawierających użyte w badaniach środki powierzchniowo czynne. Dodatkowe doszczelnienie osadu filtracyjnego

z płuczek wiertniczych jest możliwe poprzez zastosowanie dodatku mikrokrzemionki do płuczek zawierających nanokrzemionkę hydrofobową i środka powierzchniowo czynnego. Utworzony w ten sposób osad przyczynia się do ograniczenia filtracji, szczególnie przy połączeniu dodatku nanokrzemionki hydrofobowej i mikrokrzemionki. Najlepsze właściwości inhibitacyjne płuczki wiertniczej uzyskano przy dodatku nanokrzemionki hydrofobowej, natomiast dodatek

mikrokrzemionki powoduje obniżenie właściwości inhibicyjnych płuczek. Zdolności smarne płuczek zależą również od ilości nanokrzemionki i mikrokrzemionki w ich składzie. Dodanie mikrokrzemionki do płuczki wpływa na obniżenie współczynnika tarcia na kontakcie metal–metal, natomiast powoduje obniżenie przyczepności kamienia cementowego do rdzeni pokrytych osadem płuczki o około 20%. Osady filtracyjne z płuczek wiertniczych zawierających oprócz nanokrzemionki dodatek mikrokrzemionki są łatwiej wmywane niż płuczki zawierające tylko nanokrzemionkę. Pomiar parametrów reologicznych z wykorzystaniem wiskozymetru HPHT potwierdzają stabilność ter-

miczną płuczek wiertniczych z dodatkiem nanokrzemionki hydrofobowej i mikrokrzemionki w cyklu podgrzewania i chłodzenia płuczek. Uzyskane wyniki wskazują na celowość dodawania mikrokrzemionki do płuczki wiertniczej zawierającej nanokrzemionkę hydrofobową ze względu na korzystny jej wpływ na obniżenie filtracji, poprawę właściwości smarnych i łatwiejszą wmywalność osadu pomimo pogorszenia właściwości inhibicyjnych płuczki oraz nieznacznego wpływu na pogorszenie przyczepności kamienia cementowego do skały. Optymalnym rozwiązaniem jest zatem zastosowanie połączenia nanokrzemionki z mikrokrzemionką w stosunku 1 : 1.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2017, nr 5, s. 312–320, DOI: 10.18668/NG.2017.05.03

Artykuł nadesłano do Redakcji 8.12.2016 r. Zatwierdzono do druku 14.02.2017 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt.: *Analiza wpływu nanomateriałów na właściwości osadu filtracyjnego* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 38/KW/16, nr archiwalny: DK-4100-38/16.

Literatura

- [1] Abdo J., Haneef M.D.: *Clay Nanoparticles Modified Drilling Fluids for Drilling of Deep Hydrocarbon Wells*. Appl. Clay Sci. vol. 86, s. 76–82.
- [2] Abdo J., Haneef M.D.: *Nano-Enhanced Drilling Fluids: Pioneering Approach to Overcome Uncompromising Drilling Problems*. Journal of Energy Resources Technology 2012, vol. 134, nr 1, s. 014501; DOI: 10.1115/1.4005244.
- [3] Adel M., Ragab S., Noah A.: *Reduction of Formation Damage and Fluid Loss using Nano-sized Silica Drilling Fluids*. Petroleum Technology Development Journal: An International Journal, July 2014, vol. 2, s. 75–88.
- [4] Agarwal S., Tran P., Soong Y., Martello D., Gupta R.: *Flow Behavior of Nanoparticle Stabilized Drilling Fluids and Effect of High Temperature Aging*. Presented at the AADE National Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas, 12–14.04.2011, AADE-11-NTCE-3, s. 1–6.
- [5] Aly A.M.: *Understanding the Mechanism of Nanoparticles Applications in Enhanced Oil Recovery*. SPE-175806-MS, 2015; DOI: 10.2118/175806-MS.
- [6] Amanullah M., Al-Tahini A.M.: *Nano-Technology – Its Significance in Smart Fluid Development for Oil and Gas Field Application*. SPE 126102 presented at the SPE Saudi Arabia Section Technical Symposium and Exhibition, Alkhobar, Saudi Arabia, 09–11.05.2009.
- [7] Bielewicz D., Bortel E.: *Polimery w technologii płuczek wiertniczych*. AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2000.
- [8] Cai J., Chenevert M.E., Sharma M.M., Friedheim J.E.: *Decreasing Water Invasion Into Atoka Shale Using Non-modified Silica Nanoparticles*. SPE-146979-PA, 2012; DOI: 10.2118/146979-PA.
- [9] Contreras O., Hareland G., Husein M., Nygaard R., Al-Saba M.: *Application of In-House Prepared Nanoparticles as Filtration Control Additive to Reduce Formation Damage*. SPE-168116-MS, 2014; DOI: 10.2118/168116-MS.
- [10] Contreras O., Hareland G., Husein M., Nygaard R., Al-Saba M.: *Experimental Investigation on Wellbore Strengthening In Shales by Means of Nanoparticle-Based Drilling Fluids*. SPE-170589-MS, 2014; DOI: 10.2118/170589-MS.
- [11] Dębińska E.: *Niekonwencjonalne zaczyny cementowe z dodatkiem nanokrzemionki*. Nafta-Gaz 2015, nr 5, s. 290–300.
- [12] Dębińska E.: *Wpływ nanokrzemionki na parametry mechaniczne kamienia cementowego*. Nafta-Gaz 2014, nr 4, s. 229–235.
- [13] Friedheim J., Young S., De Stefano G., Lee J., Guo Q.: *Nanotechnology for Oilfield Applications – Hype or Reality?* SPE 157032, 2012, s. 1–7.
- [14] Hareland G., Wu A., Lei L., Husein M.M., Zakaria M.F.: *Innovative Nanoparticle Drilling Fluid and Its Benefits to Horizontal or Extended Reach Drilling*. SPE-162686-MS, 2012; DOI: 10.2118/162686-MS.
- [15] Jankiewicz B.J., Choma J., Jamiola D., Jaroniec M.: *Nanostruktury krzemionkowo-metaliczne. I. Otrzymywanie i modyfikacja nanocząstek krzemionkowych*. Wiadomości Chemiczne 2010, vol. 64, s. 913–942.
- [16] Jung C.M., Zhang R., Chenevert M., Sharma M.: *High-Performance Water-Based Mud Nanoparticles for Shale*. SPE-168799-MS, 2013; DOI: 10.1190/URTEC2013-106.
- [17] Mahmoud O., Nasr-El-Din H.A., Vryzas Z., Kelessidis V.C.: *Nanoparticle-Based Drilling Fluids for Minimizing Formation Damage in HP/HT Applications*. SPE-178949-MS, 2016; DOI: 10.2118/178949-MS.
- [18] Sensoy T., Chenevert M.E., Sharma M.M.: *Minimizing Water Invasion in Shales Using Nanoparticles*. SPE 124429, presented at SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, 2009; DOI: 10.2118/124429-MS.
- [19] Sharma M.M., Chenevert M.E., Guo Q., Ji L., Friedheim J., Zhang R.: *A New Family of Nanoparticle Based Drilling Fluids*. SPE-160045-MS, 2012; DOI: 10.2118/160045-MS.



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