

Jan Ziaja*, Wiktoria Molińska**

STABILIZACJA ŚCIANY PRZEWIERTU HORYZONTALNEGO JAKO CZYNNIK DETERMINUJĄCY JEGO WYKONANIE***

1. WSTĘP

Od początku lat 90. ubiegłego stulecia obserwuje się dynamiczny wzrost zastosowania technologii bezwykopowych w Polsce. Spowodowane jest to przede wszystkim korzyściami ekonomicznymi i środowiskowymi. Najbardziej rozpowszechnionymi metodami bezwykopowego wbudowywania sieci podziemnych jest technologia kierunkowych przewiertów horyzontalnych HDD (*Horizontal Directional Drilling*) oraz mikrotunelowanie. W obu tych technikach występują charakterystyczne dla nich komplikacje. Jednym z problemów powodujących utrudnienia podczas wiercenia jest niestabilna ściana otworu. Stanowi to największy problem przy wykonywaniu przewiertów metodą HDD. Obecnie dąży się do zminimalizowania zagrożeń związanych ze stabilnością otworu w celu ograniczenia liczby nieudanych projektów.

W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki badań parametrów płynów wiertniczych stosowanych w technologiach bezwykopowych. Celem tych badań był dobór parametrów reologicznych w tym filtracji płuczki do stabilizacji ściany przewiertu. Analiza została oparta o własne wyniki badań przeprowadzonych w firmie *CETCO Poland Sp. z o.o.* Przebadano kilkanaście płuczek wiertniczych. Porównano ich parametry reologiczne, takie jak: lepkość plastyczna, lepkość pozorna, granica płynięcia i wytrzymałość strukturalna, a także filtracja. Zanalizowano również wpływ rodzaju stosowanej wody przy sporządzaniu płynu wiertniczego na jego parametry reologiczne.

2. STABILNOŚĆ ŚCIANY PRZEWIERTU HORYZONTALNEGO

Stabilność ściany wierconego otworu technologią HDD determinują wymienione dalej czynniki.

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Absolwentka Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH

*** Praca powstała w ramach badań własnych w Katedrze Wiertnictwa i Geoinżynierii WWiNiG AGH

Są to:

- Rodzaj przepływu płynu w otworze – utrzymanie laminarnego przepływu w przestrzeni pierścieniowej, co wiąże się bezpośrednio z ustaleniem dopuszczalnej wartości strumienia objętości przepływu, który nie będzie powodował niszczenia ściany otworu.
- Ciśnienie dynamiczne panujące w otworze – ciśnienie wynikające z obecności płynu w otworze, które rozpira jego ścianę. Istotny w tym przypadku jest dobór odpowiedniego ciśnienia, które będzie wystarczające do utrzymania stabilnego otworu, a nie będzie przekraczało ciśnienia geostatycznego gruntów stanowiących nadkład, co może prowadzić do utraty stabilności otworu i szczelinowania formacji.
- Płyn wiertniczy – odpowiednio dobrany do warunków geologicznych panujących na trasie przewiertu, tworzy na ścianie osad filtracyjny, ograniczający migrację filtratu płuczki w grunt.

3. BADANIA

Do pomiarów parametrów reologicznych płuczek wiertniczych użyto sześćozakresowego lepkościomierza „Fann-35”. Wyniki filtracji otrzymano przy użyciu prasy filtracyjnej. Wszystkie pomiary zostały wykonane zgodnie z normą [1] dotyczącą badania płuczek wiertniczych w warunkach połowych. Wykonano następujące badania:

- 1) Badanie parametrów reologicznych płynu wiertniczego w zależności od rodzaju wody użytej do sporządzenia suspensji.
- 2) Badanie parametrów reologicznych płynu wiertniczego sporządzonego z bentonitu *Super Gel X* firmy *CETCO* w zależności od użytych dodatków.
- 3) Badanie parametrów reologicznych płynu wiertniczego sporządzonego z bentonitu *Hydraul EZ Plus* firmy *CETCO* w zależności od użytych dodatków.

Do wszystkich badań przyjęto stężenie 3% (na 2 l wody, 60 g bentonitu), a czas przygotowania płynu wynosił 5 minut.

Badanie 1

Pierwszym zadaniem był pomiar suspensji bentonitowej sporządzonej z bentonitu *Super Gel X* na osnowie: wody morskiej, wodociągowej i destylowanej. Badanie to przeprowadzono w celu wykazania, jak i rodzaj wody wpływa na parametry reologiczne i filtrację płuczki. Zestawienie wyników przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1
Parametry płuczki *Super Gel X* na osnowie 3 różnych wód

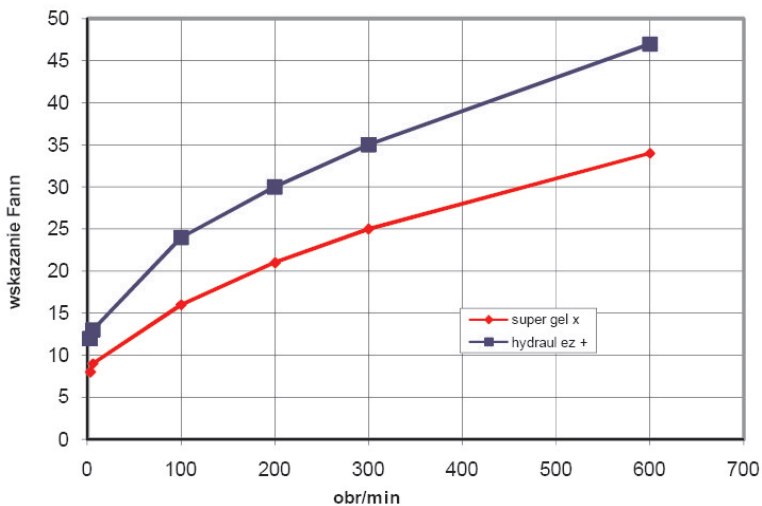
Super Gel X	Lepkość plastyczna [mPas]	Lepkość pozorna [mPas]	Granica płynięcia [N/m ²]	Wytrzymałość strukturalna I [N/m ²]	Wytrzymałość strukturalna II [N/m ²]	Filtracja API [ml/30min]
Woda destylowana	10	24	28	13	16	18,8
Woda wodociągowa	9	17	16	7	9	21,58
Woda morska	5	9	8	4	5	33,58

Z zaprezentowanych badań wynika, że Super Gel X na bazie wody destylowanej osiąga lepsze parametry reologiczne niż minimum wymagań jakościowych dla tego produktu [2]. Przy zastosowaniu wody wodociągowej zauważyć można wyraźny spadek lepkości pozornej i granicy płynięcia, a także wytrzymałości strukturalnej I i II. Następuje również niewielki wzrost filtracji. W przypadku wody morskiej płuczka wiertnicza zdecydowanie traci swoje właściwości. W porównaniu do płynu na osnowie wody destylowanej, parametry reologiczne płuczek w tym przypadku spadają dwukrotnie. Tak się też dzieje z lepkością plastyczną. Trzykrotny spadek zanotowano w wartościach lepkości pozornej, granicy płynięcia oraz wytrzymałościach strukturalnych. Filtracja badanej zawiesiny w znacznym stopniu wzrosła do 33,58 [ml/30 min] w porównaniu do suspensji na osnowie wody destylowanej.

Badanie 2 i 3

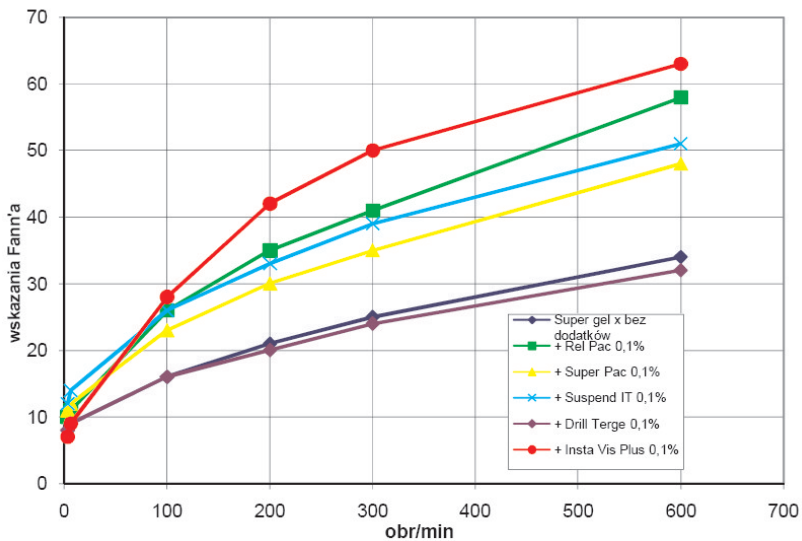
Do kolejnych badań przeznaczono dwa bentonity firmy CETCO: *Super Gel X* oraz *Hydraul EZ Plus*. Suspensje z nich sporządzone mieszano z dodatkami polimerowymi oraz detergentami na osnowie wody wodociągowej.

Na podstawie wyników przedstawionych na rysunku 1 można zauważyć różnice między suspensją *Hydraul Ez Plus* a *Super Gel X* bez żadnych dodatków. Poszczególne wartości wskazują na lepsze parametry reologiczne *Hydraul Ez Plus*.



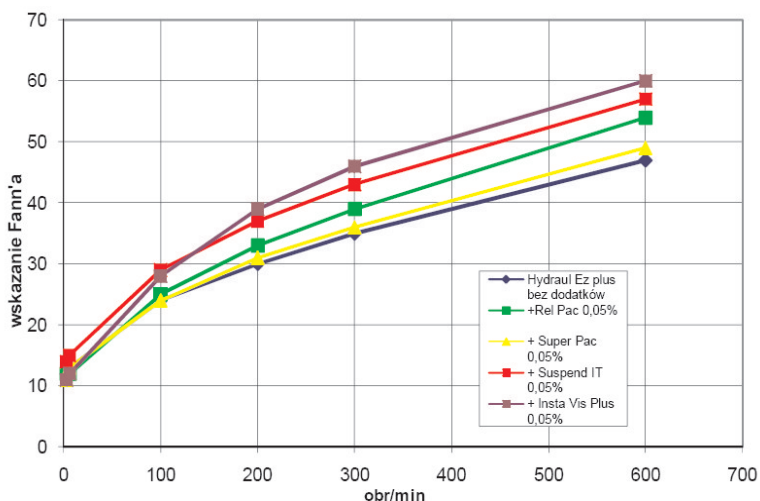
Rys. 1. Porównanie wyników odczytu z Fanna dla suspensji sporządzonych z *Super Gel X* i *Hydraul Ez Plus*

Wyniki uzyskane dla poszczególnej liczby obrotów wskazują na polepszenie parametrów reologicznych płuczek, które sporządzono z dodatkami polimerowymi. Rysunek 2 przedstawia wykres ilustrujący wzrost poszczególnych wartości odczytu na lepkościomierzu w płuczkach na bazie *Super Gel X* mieszanych z dodatkami polimerowymi, takimi jak: *Rel Pac*, *Super Pac* i *Insta Vis Plus* oraz biopolimerem *Suspend-IT*. W przypadku zastosowania detergentu, jakim jest *Drill Terge*, uzyskane wyniki są nieznacznie niższe niż przy czystej suspensji bentonitowej.



Rys. 2. Porównanie wyników odczytu z Fanna dla suspensji sporządzonych z *Super Gel X* i poszczególnych dodatków

Podobny wykres został przedstawiony na rysunku 3. Dotyczy on płuczek opracowanych na bazie *Hydraul Ez Plus* z kolejnymi dodatkami. W tym przypadku pominięto detergent *Drill Terge*, ze względu na brak poprawy parametrów reologicznych płynu z jego udziałem. W badaniu płuczek z tym bentonitem obniżono ilość stosowanych dodatków z 0,1% jak to miało miejsce przy *Super Gel X*, do 0,05%. Wynikało to z wysokich parametrów reologicznych, które osiąga już sama suspensja bentonitowa *Hydraul Ez Plus*.



Rys. 3. Porównanie wyników odczytu z Fanna dla suspensji sporządzonych z *Hydraul Ez Plus* i poszczególnych dodatków

Na podstawie wskazań lepkościomierza obliczono parametry reologiczne zgodnie z normą [1]. W tabeli 2 przedstawiono wartości lepkości plastycznych dla każdej sporządzonej płuczki. Zestawienie to pokazuje, jak zmieniają się poszczególne wartości lepkości płuczki w zależności od zastosowanego dodatku. Badane suspensje bez dodatków zarówno *Super Gel X* jak i *Hydraul Ez Plus* utrzymują swoje wartości lepkości na poziomie wymaganego minimum. Największy wzrost lepkości można zauważyć po dodaniu do nich polimeru celulozowego *Rel Pac*, który według producenta ma za zadanie podwyższyć lepkość płuczki. Z przeprowadzonych badań wynika, że dla *Super Gel X* wzrost ten jest znaczący, bo od 9 [mPas] do 17 [mPas], dla *Hydraul Ez Plus* od 12 [mPas] do 15 [mPas]. *Hydraul Ez Plus* sam tworząc suspensję bentonitową charakteryzuje się wysoką lepkością, dlatego wzrost lepkości w jego przypadku nie jest tak znaczący. Przy pozostałych dodatkach polimerowych: *Super Pac*, *Suspend IT* i *Insta Vis Plus*, wzrost lepkości dla płuczki *Super Gel X* zawiera się w granicy 3–4 [mPas]. Dla płuczki *Hydraul Ez Plus* wzrost ten waha się w granicach 1–2 [mPas].

Tabela 2

Zestawienie wartości lepkości plastycznych dla kolejno badanych płuczek wiertniczych

Bentonit	Dodatek	Lepkość plastyczna PV [mPas]
Super Gel X	-	9
Super Gel X	Rel Pac 0,1%	17
Super Gel X	Super Pac 0,1%	13
Super Gel X	Suspend IT 0,1%	12
Super Gel X	Drill Terge 0,1%	8
Super Gel X	Insta Vis Plus 0,1%	13
Hydraul EZ plus	-	12
Hydraul EZ plus	Rel Pac 0,05%	15
Hydraul EZ plus	Super Pac 0,05%	13
Hydraul EZ plus	Suspend IT 0,05%	14
Hydraul EZ plus	Insta Vis Plus 0,05%	14

W kolejnym zestawieniu wyników porównano wartości lepkości pozornej badanych płuczek (tab. 3). Wartość lepkości pozornej dla suspensji bentonitowej *Super Gel X* bez dodatków wynosi 17 [mPas], natomiast dla *Hydraul Ez Plus* 23,5 [mPas]. Największy wzrost lepkości pozornej zaobserwowane w płuczkach sporządzonych z polimerem *Insta Vis Plus*. W przypadku *Super Gel X* lepkość pozorna wzrasta do 31,5 [mPas] i do 30 [mPas] dla *Hydraul Ez Plus*. Pozostałe polimery również podwyższają lepkość pozorną w granicach 7–12 [mPas] (*Super Gel X*) i 1–5 [mPas] (*Hydraul Ez Plus*). Detergent Drill Terge, który dodano do suspensji *Super Gel X* spowodował obniżenie lepkości plastycznej i lepkości pozornej o 1 [mPas] (tab. 2 i 3).

Tabela 3

Zestawienie wartości lepkości pozornych dla kolejno badanych płuczek wiertniczych

Bentonit	Dodatek	Lepkość pozorna AV [mPas]
Super Gel X	-	17
Super Gel X	Rel Pac 0,1%	29
Super Gel X	Super Pac 0,1%	24
Super Gel X	Suspend IT 0,1%	25,5
Super Gel X	Drill Terge 0,1%	16
Super Gel X	Insta Vis Plus 0,1%	31,5
Hydraul EZ plus	-	23,5
Hydraul EZ plus	Rel Pac 0,05%	27
Hydraul EZ plus	Super Pac 0,05%	24,5
Hydraul EZ plus	Suspend IT 0,05%	28,5
Hydraul EZ plus	Insta Vis Plus 0,05%	30

W kolejnej tabeli 4 zamieszczone zostały wartości granicy płynięcia dla poszczególnych płuczek wiertniczych. Wyniki badań wskazują na wyraźny wpływ polimeru *Insta Vis Plus* na wzrost granicy płynięcia. Dla płuczki *Super Gel X* granica płynięcia wzrosła od 7,66 do 17,71 [N/m²], a w przypadku *Hydraul Ez Plus* od 11,01 do 15,32 [N/m²]. Dodanie detergentu *Drill Terge* do *Super Gel X* nie spowodowało zmiany granicy płynięcia płynu. Podobną tendencję można zauważyć po zmieszaniu *Hydraul Ez Plus* z polimerem *Super Pac*.

Tabela 4

Zestawienie wartości granicy płynięcia dla kolejno badanych płuczek wiertniczych

Bentonit	Dodatek	Granica płynięcia YP [lb/100ft ²]	Granica płynięcia YP [N/m ²]
Super Gel X	-	16	7,66
Super Gel X	Rel Pac 0,1%	24	11,49
Super Gel X	Super Pac 0,1%	22	10,53
Super Gel X	Suspend IT 0,1%	27	12,93
Super Gel X	Drill Terge 0,1%	16	7,66
Super Gel X	Insta Vis Plus 0,1%	37	17,71
Hydraul EZ plus	-	23	11,01
Hydraul EZ plus	Rel Pac 0,05%	24	11,49
Hydraul EZ plus	Super Pac 0,05%	23	11,01
Hydraul EZ plus	Suspend IT 0,05%	29	13,88
Hydraul EZ plus	Insta Vis Plus 0,05%	32	15,32

Na podstawie wskazań na lepkościomierzu Fann otrzymano wartości wytrzymałości strukturalnej I i II. Ta właściwość płynu wiertniczego powoduje tworzenie struktury żelowej podczas przestojów w cyrkulacji. Utworzony żel może utrzymać w zawieszeniu większe i cięższe cząstki. Wyniki badań zamieszczone w tabeli 5 pokazują, że największy wzrost wytrzymałości strukturalnej suspensji *Super Gel X* obserwuje się po dodaniu polimeru *Rel Pac*. Dla pierwszej wytrzymałości strukturalnej od 3,35 do 6,22 [N/m²], dla drugiej wytrzymałości od 4,31 do 14,36 [N/m²]. Inaczej sytuacja wygląda dla płuczki *Hydraul Ez Plus*. Wzrost wytrzymałości strukturalnej I zawiera się w granicach od 6,22 do 6,70 [N/m²]. Górną granicę osiągnęła płuczka z dodatkiem polimeru *Rel Pac* i biopolimeru *Suspend IT*, którego założeniem według producenta jest podwyższanie wytrzymałości strukturalnej. Wytrzymałość strukturalna II mieści się w zakresie od 8,14 do 10,05 [N/m²]. Również i w tym przypadku *Suspend IT* spowodował wzrost wytrzymałości płuczki do górnego zakresu. Zestawienie poszczególnych wartości wskazało również na obniżenie wytrzymałości strukturalnej I i II suspensji *Hydraul Ez Plus* przez polimer *Insta Vis Plus*.

Tabela 5

Zestawienie wartości wytrzymałości strukturalnej I i II dla kolejno badanych płuczek wiertniczych

Bentonit	Dodatek	Wytrzymałość strukturalna I [N/m ²]	Wytrzymałość strukturalna II [N/m ²]
Super Gel X	-	3,35	4,31
Super Gel X	Rel Pac 0,1%	6,22	14,36
Super Gel X	Super Pac 0,1%	5,75	8,14
Super Gel X	Suspend IT 0,1%	5,75	8,14
Super Gel X	Drill Terge 0,1%	3,83	3,83
Super Gel X	Insta Vis Plus 0,1%	3,35	5,27
Hydraul EZ plus	-	6,22	8,14
Hydraul EZ plus	Rel Pac 0,05%	6,70	9,58
Hydraul EZ plus	Super Pac 0,05%	6,22	7,66
Hydraul EZ plus	Suspend IT 0,05%	6,70	10,05
Hydraul EZ plus	Insta Vis Plus 0,05%	5,75	7,66

Oprócz określenia parametrów reologicznych, poszczególne płuczki wiertnicze poddano badaniu filtracji. Pomiar ten przeprowadzono na prasie filtracyjnej. Po 30 min zmierzono ilość zebranego filtratu. Określenie filtracji płynu wiertniczego jest szczególnie ważnym pomiarem w kontekście utrzymania stabilności otworu. Im mniejsza będzie filtracja płynu tym stabilizacja ściany przewiertu będzie bardziej efektywna. W tabeli 6 zostały zaprezentowane wartości filtracji badanych płuczek.

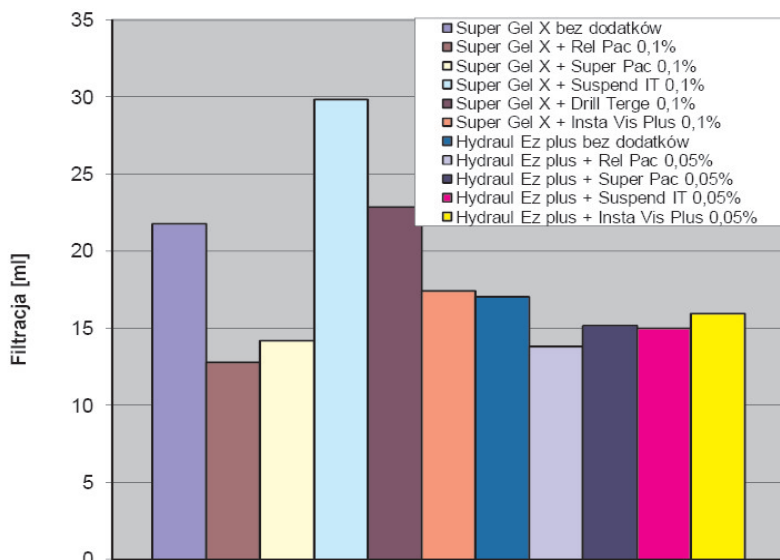
Wartość filtracji suspensji bentonitowej *Super Gel X* bez dodatków jak wskazują wyniki badań wynosi 21,8 [ml/30min]. Jej największy spadek zanotowano po dodaniu polimeru *Rel Pac*, który oprócz podnoszenia lepkości, powoduje skuteczny spadek filtracji dla

Super Gel X do 12,82 [ml/30min] i dla *Hydraul Ez Plus* do 13,84 [ml/30min]. Rysunek 4 ilustruje ten wyraźny spadek. Niebezpieczny wzrost filtracji, do 29,85 [ml/30min] zaobserwować można dodając do *Super Gel X*, biopolimeru *Suspend IT*. Najprawdopodobniej jest to spowodowane błędem pomiarowym.

Tabela 6

Zestawienie wartości filtracji dla kolejno badanych płuczek wiertniczych

Bentonit	Dodatek	Filtracja [ml/30min]
Super Gel X	-	21,8
Super Gel X	Rel Pac 0,1%	12,82
Super Gel X	Super Pac 0,1%	14,22
Super Gel X	Suspend IT 0,1%	29,85
Super Gel X	Drill Terge 0,1%	22,88
Super Gel X	Insta Vis Plus 0,1%	17,44
Hydraul EZ plus	-	17,04
Hydraul EZ plus	Rel Pac 0,05%	13,84
Hydraul EZ plus	Super Pac 0,05%	15,18
Hydraul EZ plus	Suspend IT 0,05%	15
Hydraul EZ plus	Insta Vis Plus 0,05%	15,96



Rys. 4. Filtracja badanych płuczek wiertniczych

WNIOSKI

- 1) Efektywna stabilizacja otworu zależy od odpowiednio dobranych parametrów reologicznych płynu wiertniczego do rodzaju przewiercanych formacji geologicznych.
- 2) Jakość wody użytej do sporządzenia suspensji bentonitowej wywiera istotny wpływ na jej parametry reologiczne szczególnie filtrację. Nie każdą płuczkę można przygotować na bazie wody morskiej. Wyniki badań wskazują, że suspensja Super Gel X opracowana na podstawie wody morskiej traci swoje parametry reologiczne (2–3 krotny spadek) tym samym zwiększając filtrację. Bez względu na rodzaj stosowanego bentonitu, płuczka sporządzona na bazie wody morskiej nie gwarantuje stabilizacji wierconego otworu.
- 3) Badane suspensje bentonitowe *Super Gel X* i *Hydraul Ez Plus* po zmieszaniu z każdym dodatkiem polimerowym charakteryzują się podwyższonymi parametrami reologicznymi. Wzrost ten zależy od rodzaju zastosowanego polimeru.
- 4) Wyniki badań wskazują, że każdy dodatek polimerowy ma właściwości obniżające filtrację. W zależności od rodzaju suspensji bentonitowej i dodanego polimeru spadek ten obserwuje się o 1–9 [ml/30 min].
- 5) Optymalne parametry reologiczne płuczek bentonitowych zapewnia polimer celulozowy *Rel Pac* firmy *CETCO*. Podwyższa lepkość plastyczną płuczek, a także wytrzymałość strukturalną. Spośród innych dodatków polimerowych ten jest najskuteczniejszy w obniżaniu filtracji. Filtracja w granicach 12–13 [ml/30 min] jest świetnym wynikiem osiąganym przez płuczkę. Właściwości te wskazują na możliwość stosowania go przy wierceniu w sypkich gruntach, w celu stabilizacji ściany otworu.

LITERATURA

- [1] BN-90/1785-01 *Płuczka wiertnicza. Metody badań w warunkach polowych*
- [2] Wymagania jakościowe do produktu Super Gel X ; Materiały firmy CETCO
- [3] Bielewicz D., Knez D., Janota M.: *Analiza wpływu stężenia nowo syntezowanych poliamfolitów na właściwości reologiczne i filtrację płuczek stosowanych w technologiach HDD*. TTB Techniki i Technologie Bezwykopowe, 2003, nr 1, 48–50
- [4] Bielewicz D., Knez D., Herman Z.: *Właściwości reologiczne i smarne suspensji bentonitowych z dodatkiem nowo syntezowanych poliamfolitów dla technologii HDD*. Technika Poszukiwań Geologicznych: Geosynoptyka i Geotermia, 2003 R. 62 z. 1–2, 35–38
- [5] Bielewicz D., Borgieł D.: *Właściwości suspensji stosowanych w technologiach HDD sporządzonych z bentonitów modyfikowanych*. Technika Poszukiwań Geologicznych: Geosynoptyka i Geotermia, 2002 R. 41 z. 1–2, s. 37–42