

PRIMJENA PELETA U LABORATORIJSKIM ISPITIVANJIMA MEĐUDJELOVANJA INHIBIRANE ISPLAKE I ŠEJLA

THE PELLETS APPLICATION IN LABORATORY RESEARCHING OF INHIBITIVE MUD/SHALE INTERACTION

BORIVOJE PAŠIĆ

*Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, Zagreb
borivoje.pasic@rgn.hr*

Ključne riječi: nestabilnost kanala bušotine, šejl, hidratacija, bubrenje, inhibirane isplake, gipsna isplaka, slana isplaka i kalijiska isplaka

Key words: wellbore instability, shale, hydration, swelling, inhibitive muds, gypsum mud, saltwater mud and potassium mud

Sažetak

Nestabilnost kanala bušotine predstavlja ozbiljan problem koji se najčešće javlja tijekom bušenja kroz šejl. Uzrok nestabilnosti šejla proizlazi iz njegovog mineraloškog sastava (osobito udjela minerala glina) i njegovih fizikalno-kemijskih karakteristika. Do sada su provedena brojna laboratorijska ispitivanja s ciljem definiranja osnovnih uzroka nestabilnosti šejla i utvrđivanja svojstava šejla koja utječu na njegovo ponašanje u kontaktu s vodenom fazom različitih isplaka. U tim ispitivanjima korišteni su uzorci šejla dobiveni procesom jezgrovanja ili krhotine šejla sakupljene na vibracijskim sitima, ali i različiti uzorci šejla iz površinskih kopova, te je teško usporediti dobivene rezultate. Provođenje opsežnih laboratorijskih ispitivanja i usporedba dobivenih rezultata moguća je upotrebom umjetno stvorenih uzoraka šejla (peleta) točno određenog mineraloškog sastava. U radu su opisana laboratorijska ispitivanja bubrenja peleta određenog mineraloškog sastava u inhibiranim isplakama.

Abstract

Wellbore instability appears to be a serious problem during drilling process through shale. Shales instability cause basically comes out of its mineralogical composition (especially clay minerals content) and physico-chemical properties. Many research activities about shale instability causes and shale properties (affecting shale behavior during interaction with water phase of different drilling muds) definition have been carried out by now. In these laboratory tests were used original shales samples given by coring process or collecting shale cuttings from shale shakers, and different shale samples from outcrop. From this reason is very difficult compare laboratory tests results given by different authors. Possible solution is use artificial shale samples (pellets) with exact mineralogical composition, enabling extensive laboratory tests and tests results comparison. In this paper presented laboratory tests of pellets swelling in inhibitive muds.

Uvod

Izrada kanala bušotine je vrlo zahtjevan tehničko-tehnološki proces, koji prate brojni problemi. Uzroci problema koji se javljaju tijekom bušenja mogu biti različiti, a najčešće su povezani s nestabilnošću kanala bušotine. Nestabilnost kanala bušotine definira se kao svaka neželjena promjena promjera kanala bušotine, odnosno promjena promjera kanala (suženje ili proširenje) u odnosu na promjer dljeta kojim je izrađen. Posljedice nestabilnosti kanala bušotine mogu biti različite poput otežanog čišćenja kanala bušotine, otežanog izvođenja cementacijskih radova i karotažnih mjerenja i dr., što u konačnici rezultira produljenjem vremena planiranog za izradu bušotine kao i izdvajanjem dodatnih financijskih sredstava za sanaciju nastalih posljedica (Chenevert i Osisanya, 1989; Simpson i Dearing, 2000; Labenski et al., 2003; Osuji et al., 2008; Qu

et al., 2009). Prema dostupnim podacima, u zadnjih dvadesetak godina rješavanje problema vezanih uz nestabilnost kanala bušotine stajalo je naftnu industriju između 0,5 i 1 milijarde dolara godišnje (Van Oort et al., 1996; Chenevert i Pernot, 1998; Chen et al., 2002; Zhang et al., 2004; Muniz et al., 2005; Khodja et al., 2010). Primjenom novih tehnologija u procesu bušenja problemi vezani uz nestabilnost kanala bušotine nisu ni izbliza riješeni (Bol et al., 1994).

Prema različitim izvorima, 90% svih problema vezanih uz nestabilnost kanala bušotine događa se tijekom bušenja kroz šejl, koji čini 75% svih stijena kroz koje se buši (Lal, 1999; Chenevert i Pernot, 1998). Šejl je fino-zrnata klastična sedimentna stijena s određenim udjelom minerala gline. Upravo je udjel glinovite komponente kao i sklonost prisutnih minerala gline hidrataciji, odlučujući faktor koji utječe na stabilnost kanala bušotine. Osnovni uzrok nestabilnosti kanala bušotine je međudjelovanje

vode iz isplake i šejla (fizikalno-kemijski uzroci nestabilnosti kanala bušotine), pri čemu dolazi do hidratacije minerala gline te njihovog bubrenja i disperzije. Osim navedenog, na stabilnost kanala bušotine utječu i mehanički uzroci nestabilnosti kanala bušotine. Oni se odnose na naprezanja u pribušotinskoj zoni, mehanička (čvrstoća, Youngov modul elastičnosti, anizotropija i dr.) i petrofizikalna svojstva šejla (šupljikavost, propusnost). Prilikom definiranja uzroka nestabilnosti kanala bušotine potrebno je uzeti u obzir da se međudjelovanje vode i šejla odražava i na promjenu njegovih mehaničkih i petrofizikalnih svojstava, osobito u pribušotinskoj zoni.

U prošlosti se problem nestabilnosti kanala bušotine nastojao riješiti metodom pokušaja i pogrešaka u trenutku kada on već postoji (van Oort et al., 1996; Tare et al., 2002). Metoda pokušaja i pogrešaka sastojala se u nastojanju rješavanja problema stabilnosti kanala bušotine u određenoj bušotini ili polju. Ovakav pristup donosio je potencijalno korisna rješenja u konkretnom slučaju, međutim nikako nije predstavljao trajno rješenje za nova polja i bušotine. Stoga suvremeni pristup projektiranju bušotine podrazumijeva i procjenu stabilnosti kanala bušotine već u samoj fazi projektiranja, čime se nastoji preventivno djelovati (Simangunsong et al., 2006).

Za postizanje dugoročnih rješenja problema stabilnosti kanala bušotine, osobito tijekom bušenja kroz vodoosjetljive stijene nužna su opsežna laboratorijska ispitivanja, te nakon toga primjena dobivenih rezultata u praksi. Pojedini autori poput Andersona et al. (2010.) predlažu čak prethodnu upotrebu kompjuterskih simulatora pomoću kojih bi se simulirali utjecaji novih kemijskih spojeva na šejl, i prije nego budu sintetizirani i uključeni u laboratorijska ispitivanja. U svakom slučaju, za provođenje opsežnih laboratorijskih ispitivanja nužna je dovoljna količina originalnih uzoraka šejla, što je zbog tehničkih ograničenja teško ostvarivo. U nastavku ovog radi bit će detaljno izložena problematika osiguravanja dovoljne količine uzoraka šejla potrebnih za ispitivanje, kao i mogućnost njihove zamjene s umjetno stvorenim uzorcima (peletima) dobivenim komprimiranjem praškastog materijala određenog mineraloškog sastava.

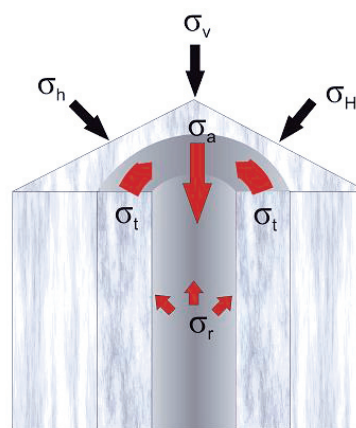
Uzroci nestabilnosti kanala bušotine

Osim već spomenutih laboratorijskih ispitivanja, za rješavanje problema nestabilnosti kanala bušotine potrebno je i poznavanje osnovnih uzroka kao i mehanizme njihovog djelovanja. S definiranjem osnovnih uzroka nestabilnosti kanala bušotine krenulo se već četrdesetih godina prošlog stoljeća kada su Halbouty i Kaldenbach definirali gotovo sve osnovne uzroke nestabilnosti kanala bušotine (Darley, 1969). Međutim unatoč poznavanju osnovnih uzroka, nestabilnost kanala bušotine i dalje je prisutna što je vidljivo iz rastućih troškova za sanaciju njezinih posljedica, ali i iz brojnih radova iz ovog područja koji se svakodnevno objavljuju.

U literaturi se najčešće susreće podjela uzroka nestabilnosti kanala bušotine na (Gaurina-Međimurec, 1992; Chenevert i Pernot, 1998; Osuji et al., 2008):

- mehaničke i
- fizikalno-kemijske.

Mehanički uzroci nestabilnosti kanala bušotine povezani su s narušavanjem prirodnog stanja naprezanja koje vlada u stijeni na određenoj dubini, a posljedica je tlaka pokrovnih naslaga i naprezanja uzrokovanih tektonskim pokretima (boranja, rasjedanja i sl.). Izradom kanala bušotine dolazi do narušavanja postojećeg stanja ravnoteže naprezanja jer se jedan dio volumena stijene zamjenjuje s ekvivalentnim volumenom isplake određene gustoće. Istovremeno se na stijenama kanala bušotine uspostavlja novi sustav naprezanja koji se sastoji od radijalne (σ_r), aksijalne (σ_a) i tangencijalne komponente (σ_t), dok na određenoj udaljenosti od stijenki kanala bušotine i dalje djeluju lokalna (in-situ) naprezanja (vertikalno - σ_v , minimalno horizontalno - σ_h i maksimalno horizontalno - σ_H) (slika 1).



Slika 1. Preraspodjela naprezanja u stijeni tijekom bušenja (Pašić et al., 2007)

Figure 1. Rock stress distribution during drilling (Pašić et al., 2007)

Međudjelovanje šejla i isplake

Tijekom bušenja, osim već spomenute preraspodjele naprezanja na stijenama kanala bušotine može doći i do fizikalno-kemijskog međudjelovanja šejla i korištene isplake. Problem nestabilnosti kanala bušotine u šejlu uzrokovan fizikalno-kemijskim međudjelovanjem može se promatrati s dva aspekta. S jedne strane, zbog petrofizikalnih karakteristika šejla poput male veličine pora i izrazito male propusnosti ne dolazi do stvaranja isplačnog obloga na stijenama kanala, odnosno ne postoji umjetna barijera koja bi spriječila ili usporila spomenuto međudjelovanje. S druge strane, pojava i intenzitet međudjelovanja šejla i isplake direktno ovisi o mineraloškom sastavu šejla, osobito udjelu glinovite komponente u njemu (montmorilonita, ilita, klorita, kaolinita te miješanoslojnih minerala gline). Zbog specifične kristalinske strukture pojedinog minerala gline,

ponašanje šejla u cjelini direktno će ovisiti o tipu prisutnih minerala gline, njihovom masenom udjelu te sklonosti hidrataciji. Minerali gline mogu uzrokovati probleme i tijekom proizvodnje nafte i plina (približno 75% svih ležišta nafte i plina sadrže gline), gdje uslijed njihova bubrenja, disperzije i migracije dispergiranih čestica može doći do oštećenja ležišne stijene (Berry et al., 2008).

Međutim vrlo je teško izdvojiti samo hidrataciju kao osnovni uzrok bubrenja stijenki i nestabilnosti kanala bušotine. Štoviše, tijekom kontakta isplake i stijene dolazi do nekoliko različitih procesa poput već spomenute hidratacije (uslijed adsorpcije ili apsorpcije vode), difuzijskog toka iona, toka filtrata isplake uslijed diferencijalnog tlaka te kapilarnih sila (Fink, 2011). Kod adsorpcije dolazi do vezanja jednog ili više slojeva vode na površinu minerala gline, dok kod apsorpcije dolazi do prodora vode i otopljenih iona u strukturu minerala gline. Ono što je zajedničko svim ovim procesima je da oni djeluju istovremeno, sve do trenutka uspostavljanja ravnoteže u sustavu šejl-isplaka.

Za izbjegavanje fizikalno-kemijske nestabilnosti kanala bušotine potrebno je pravilno definirati sastav isplake u odnosu na mineraloški sastav (udio pojedinog minerala gline i njegova sklonost hidrataciji) i svojstva šejla kroz koji se buši (propusnost, šupljikavost, vrijednost aktiviteta vode u šejlu) s ciljem minimaliziranja međudjelovanja šejla i isplake. Upravo zbog kompleksnog sastava šejla (osobito udjela minerala gline sklonih hidrataciji) kao i njegovih petrofizikalnih karakteristika vrlo je teško ponuditi jednoznačno rješenje za problem nestabilnosti kanala bušotine u šejlu. Kako bi se riješio ovaj problem nužno

je provođenje opsežnih laboratorijskih ispitivanja, za što je potrebno nabaviti dovoljnu količinu originalnog uzorka šejla što predstavlja najveći problem.

Uzorci šejla korišteni u dosadašnjim ispitivanjima

U dosadašnjim su laboratorijskim ispitivanjima korišteni uzorci šejla različitog porijekla i sastava. U pravilu se najčešće radi o originalnim uzorcima jezgara iz različitih bušotina, ali i uzorcima šejla dobivenim iz površinskih kopova. Korištenjem ovih uzoraka nastojalo se približiti stvarnim uvjetima u bušotini. Osim navedenih uzoraka šejla, laboratorijska ispitivanja su provedena i na krhotinama šejla sakupljenim na vibracijskom situ (Benayada et al., 2003), kao i na komprimiranim krhotinama šejla. U laboratorijskim ispitivanjima koje su proveli Al-Awad i Smart 1995. godine, u jednom dijelu ispitivanja korišteni su uzorci koji su dobiveni komprimiranjem krhotina šejla. Na temelju rezultata mjerenja bubrenja originalnog uzorka šejla i uzorka dobivenog komprimiranjem krhotina zaključeno je da rekonstruirani uzorak šejla pokazuje nešto veću sklonost bubrenju, što je najvjerojatnije posljedica narušenih prirodnih veza između čestica gline. Do sličnih rezultata došli su na temelju laboratorijskih ispitivanja i Chenevert i Osisanya (1989.), koji sugeriraju da ukoliko je potrebno, rekonstruirani uzorci šejla mogu se koristiti za ispitivanja čiji je cilj odabir najbolje inhibirane isplake. Komprimirane krhotine šejla u svojim laboratorijskim ispitivanjima koristili su i Khodja i sur. (2010.). Sastavi i svojstva šejla koji su korišteni u laboratorijskim ispitivanjima prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Uzorci šejla korišteni u različitim laboratorijskim ispitivanjima

Table 1. Shale samples used in different laboratory tests

Komponenta	Udjel pojedine komponente (mas. %)									
	Pierre I šejl (Zhang, et al., 2006 ¹)	Arco šejl (Zhang, et al., 2006 ¹)	Pierre II šejl (Rojas et al., 2006)	GoM šejl (Rojas et al., 2006)	Gumbo šejl (Rojas et al., 2006 ¹)	Arco-China šejl (Al-Bazali et al., 2006)	C1 šejl (Al-Bazali et al., 2006)	C2 šejl (Al-Bazali et al., 2006)	Arco-China šejl (Oleas et al., 2010)	
	Površinski uzorak	Jezgra	Površinski uzorak	Jezgra	-	Jezgra	Jezgra	Jezgra	Jezgra	
Kvarc	19	23,6	15-20	15-20	20,8	51	14	18	42	
Feldspati	4	4	1-2	-	5,4	12	2	3	16	
Kalcit	3	-	-	-	-	3	0	0	19	
Dolomit	7	1,2	-	-	-	1	0	0	-	
Pirit	2	2,4	-	-	-	2	0,5	0,7	-	
Siderit	1	4,1	-	-	-	0	0	0	-	
Ukupni udjel gline u uzorku	64	64,7	75-90	70-85	67,1	31,2	76	70	24,3	
Glina	Klorit	2,6	3,6	-	-	1,5	3,1	-	-	2,9
	Kaolinit	7	5,7	5-10	10-15	10,7	4,3	29,6	18,2	3,6
	Ilit	12,1	15	20-25	25-30	26,2	13,6	-	-	10,1
	Smektit	10,9	11	-	-	2,5	4	-	-	5,3
Miješanosložni minerali gline	31,4	29,4	50-55	35-40	26,2	6,2	-	-	2,4	
Udjel vode u uzorku (%)	10,2	3,2	17,7	8,25	12	9,88	14,45	5,53	-	
Aktivitet vode u uzorku (-)	0,98	0,78	0,98	0,82	0,86	0,85	0,98	0,94	0,72	

Iz tablice 1 vidljivo je kako se ispitivani uzorci prvenstveno razlikuju po ukupnom udjelu glinovite komponente, ali i udjelu pojedine skupine minerala glina, udjelu vode i aktivitetu vode u uzorku. Uz već spomenute parametre, na ponašanje šejla bitno utječe i ukupni kapacitet kationske zamjene, heterogenost uzorka, propusnost (primarna i sekundarna) i šupljikavost uzorka. Ukoliko se navedene vrijednosti usporede s vrstama šejla, vidljivo je da se radi o različitim vrstama šejla te se očekuje i različito ponašanje takvih uzoraka u kontaktu s isplakom.

Laboratorijska ispitivanja bubrenja peleta u različitim fluidima

Cilj provedenih laboratorijskih ispitivanja bio je ispitivanje mogućnosti primjene peleta u laboratorijskim ispitivanjima međudjelovanja šejla i isplake. Ukupno je ispitano dvanaest peleta različitog mineraloškog sastava, te tri najčešće korištene inhibirane isplake.

Peleti korišteni u laboratorijskim ispitivanjima

U provedenim laboratorijskim ispitivanjima korišteno je ukupno dvanaest peleta, čiji je mineraloški sastav prikazan u tablici 2.

Tablica 2. Mineraloški sastav peleta korištenih u laboratorijskim ispitivanjima

Table 2. Mineralogical composition of pellets used in laboratory researches

Oznaka peleta	Udjel pojedine komponente (mas. %)		
	Kvarcni pijesak	Montmorilonit	Kaolinit
0Q80M20K	0	80	20
0Q60M40K	0	60	40
0Q40M60K	0	40	60
0Q20M80K	0	20	80
10Q80M10K	10	80	10
10Q60M30K	10	60	30
10Q40M50K	10	40	50
10Q20M70K	10	20	70
20Q80M0K	20	80	0
20Q60M20K	20	60	20
20Q40M40K	20	40	40
20Q20M60K	20	20	60

Peleti su označeni brojevima koji označavaju masene udjele minerala (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 i 80) i slovima (Q, M i K) koja označavaju mineraloške komponente stijene na koje se odnose navedeni udjeli (Q - kvarcni pijesak, M - montmorilonit i K - kaolinit). Peleti navedeni u tablici 2 mogu se uvjetno podijeliti u tri skupine s po četiri uzorka, odnosno na uzorke bez kvarca, te s 10 odnosno 20 mas. % kvarca. Unutar pojedine skupine peleti se razlikuju po masenim udjelima montmorilonita i kaolinita. Odabranim sastavom peleta nastojalo se ispitati utjecaj masenog udjela montmorilonita i kaolinita na ponašanje peleta tijekom međudjelovanja s ispitivanim fluidima, kao i utjecaj masenog udjela kvarcnog pijeska.

Fluidi korišteni u laboratorijskim ispitivanjima

Tijekom provedenih laboratorijskih ispitivanja ispitano je bubrenje peleta u različitim inhibiranim isplakama (kalijskoj, slanoj te gipsnoj). Na samom početku ispitano je bubrenje svih peleta u vodovodnoj vodi. Prema dobivenim rezultatima bubrenja pojedinog peleta u vodovodnoj vodi procijenjena je uspješnost inhibiranih isplaka u smanjenju hidratacije i bubrenja peleta. Prilikom odabira koncentracije soli za ispitivanja vodilo se i željom za dobivanjem fluida

čiji će sastav biti ekološki prihvatljiv. Kod velikih koncentracija ispitivanih soli javlja se problem s velikom koncentracijom klorida u fluidu koji je potrebno, nakon bušenja, zbrinuti na ekološki prihvatljiv način (Berry et al., 2008; Anderson et al., 2010). Stoga je definirano da će udjel soli u inhibiranim isplakama iznositi 5 mas. %.

Međutim prisutnost određene soli odnosno kationa u isplaci ne osigurava samo po sebi potpuno sprječavanje hidratacije i bubrenja minerala glina. Razlog tome je veća mobilnost (pokretljivost) molekula vode u odnosu na katione prisutne u isplaci. Kako bi se usporilo kretanje vode, a samim tim i bubrenje peleta, u sve isplake je dodana polianionska celuloza male viskoznosti. Polianionska celuloza male viskoznosti je prirodni polimer koji se primarno koristi u isplaci kao aditiv za smanjenje filtracije, dok u većim koncentracijama služi i kao inkapsulator šejla. Kod pripreme inhibiranih isplaka korištene su tri različite koncentracije polianionske celuloze i to: 2, 4 i 6 g/l isplake. Sastav inhibiranih isplaka (tablica 3), odnosno udjel preostalih komponenti definiran je prema osnovnim recepturama iz dostupne literature (MI SWACO „Drilling Fluids Manual“, 1998; Baker Hughes „Fluid Facts – Engineering Handbook“, 1998; Amoco „Drilling Fluids Manual“, 1994).

Tablica 3. Sastav kalijevih, slanih i gipsnih isplaka

Table 3. Potassium, salt and gypsum muds composition

Kalijevska isplaka	Jedinica	Isplaka		
		K2PAC	K4PAC	K6PAC
Voda	ml	889	888	887
Bentonit	g	75	75	75
Lignosulfonat	g	20	20	20
Polianionska celuloza male viskoznosti	g	2	4	6
KCl	g	51,7	51,7	51,7
KOH	g	4,5	4,5	4,5
Barit	g	57,9	57	56,1
Antipjenušavac	ml	2	2	2
Slana isplaka		Isplaka		
		S2PAC	S2PAC	S2PAC
Voda	ml	892	891	890
Bentonit	g	75	75	75
Lignosulfonat	g	20	20	20
Polianionska celuloza male viskoznosti	g	2	4	6
NaCl	g	52	52	52
NaOH	g	3	3	3
Barit	g	55,8	54,9	54
Antipjenušavac	ml	2	2	2
Gipsna isplaka		Isplaka		
		G2PAC	G2PAC	G2PAC
Voda	ml	897	896	895
Bentonit	g	75	75	75
Lignosulfonat	g	20	20	20
Polianionska celuloza male viskoznosti	g	2	4	6
Gips	g	40,5	40,5	40,5
NaOH	g	3,5	3,5	3,5
Barit	g	62,1	61,2	60,4
Antipjenušavac	ml	2	2	2

Opis provedenih ispitivanja

Ispitivanje hidratacije svakog peleta u odabranom fluidu zamišljeno je i provedeno kao cjeloviti ciklus od četiri faze u trajanju od 72,5 sata. Svaki ciklus sastojao se od:

- **FAZE I** - 24-satnog držanja mješavine praškastog materijala u eksikatoru u kontroliranoj relativnoj vlažnosti;
- **FAZE II** - 30-minutnog komprimiranja praškastog materijala u uređaju za komprimiranje uzoraka (izrada peleta);
- **FAZE III** - 24-satnog bubrenja peleta u uređaju za mjerenje bubrenja peleta;
- **FAZE IV** - 24-satnog sušenja peleta nakon bubrenja.

FAZA I - Držanje mješavine praškastog materijala u eksikatoru

Različita ispitivanja pokazala su da aktivitet vodene faze u šejlu, bitno utječe na njegovo ponašanje u kontaktu s isplakom, jer direktno utječe na proces osmotskog toka vode u/ili iz šejla, a samim tim i na proces hidratacije/dehidratacije te posljedično na bubrenje ili sažimanje šejla. Iako aktivitet vodene faze šejla ovisi o različitim parametrima (dubini zalijeganja šejla, salinitetu slojne vode i sl.) u pravilu se kreće u rasponu od 75 do 100% (Popp, 2004).

U provedenim ispitivanjima koristio se eksikator čiji je donji dio bio ispunjen zasićenom otopinom KCl-a, koja bi trebala osiguravati relativnu vlažnost u gornjem dijelu eksikatora od 85% (Popp, 2004). Eksikator s uzorcima prikazan je na slici 2.



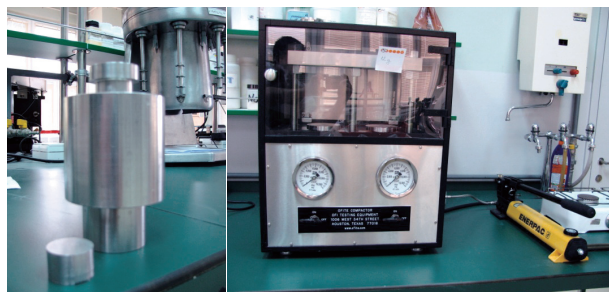
Slika 2. Eksikator s uzorcima

Figure 2. Desiccator with samples

FAZA II - Priprema peleta iz praškastih materijala

Nakon 24-satnog držanja praškastog uzorka u eksikatoru u uvjetima kontrolirane vlažnosti, te vaganja uzorka pristupilo se izradi peleta u uređaju za komprimiranje uzoraka. Uređaj se sastoji od tri komponente: dva kom-

pleta ćelija za izradu peleta iz praškastog materijala (slika 3 a), kućišta uređaja za komprimiranje praškastog uzorka te pripadajuće ručne pumpe potrebne za ostvarenje željenog tlaka komprimiranja (slika 3 b).



Slika 3. Ćelija za izradu peleta (a) i uređaj za komprimiranje praškastog materijala s pumpom (b)

Figure 3. Compaction cell (a) and compactor (b)

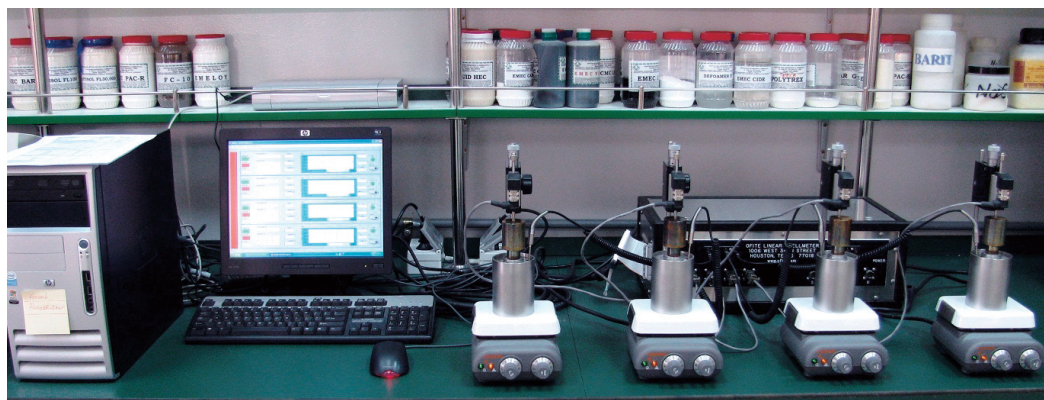
Masa praškastog materijala (12 g) koji se komprimirao kako bi se stvorio pelet odabrana je na osnovu preporuke

proizvođača uređaja (15 do 30 g). Kako je cilj ispitivanja bio ispitati utjecaj inhibiranih isplaka na bubrenje mekih (Gumbo) šejlova, koji se nalaze na manjim dubinama, odabrana je vrijednost tlaka komprimiranja od 34,5 MPa što bi odgovaralo vrijednosti geostatičkog tlaka na dubini od približno 1500 m.

FAZA III - Ispitivanje bubrenja peleta u različitim fluidima

Prije umetanja gotovih peleta u uređaj za mjerenje bubrenja peleti su izvagani. Određivanje mase peleta važno je kako bi se odredilo povećanje mase peleta uslijed bubrenja odnosno usporedio postotak bubrenja peleta u predviđenom vremenu s promjenom mase peleta uslijed bubrenja.

U ispitivanjima je korišten uređaj za mjerenje bubrenja koji se sastoji od četiri nezavisne jedinice koje omogućavaju istovremeno mjerenje bubrenja četiri peleta pri različitim uvjetima, jedinice za prikupljanje i obradu podataka te kompjutorske jedinice s odgovarajućim programom (slika 4).



Slika 4. Uređaj za mjerenje bubrenja peleta

Figure 4. Swellmeter

Svaka jedinica uređaja za mjerenje bubrenja peleta sastoji se od postolja u koje je integriran grijač za zagrijavanje cijelog sustava te magnetske miješalice koja omogućava miješanje fluida tijekom ispitivanja.

Vrijeme ispitivanja podijeljeno je na dva dijela, odnosno početni period te vrijeme preostalo do kraja ispitivanja. U početnom periodu očekuju se najveće promjene u bubrenju peleta pa je stoga odabrano da taj period traje 120 minuta i da se u tom periodu bubrenje bilježi svaku minutu. Nakon početnog perioda bubrenja, kada se očekuju promjene manjeg intenziteta, bubrenje je bilježeno svakih deset minuta sve do kraja ispitivanja. Ukupno trajanje ispitivanja iznosilo je 24 sata. Bubrenje peleta provedeno je uz neprestano miješanje fluida pri sobnoj temperaturi

zbog pojave geliranja isplake na višim temperaturama i maksimalnog bubrenja koje instrument može registrirati. Nakon završetka mjerenja bubrenja peleti su ponovno izvagani.

FAZA IV - Sušenje peleta nakon bubrenja

Posljednja faza ispitivanja sastojala se od 24-satnog sušenja peleta, nakon bubrenja, na temperaturi od 105°C. Cilj provedenih laboratorijskih ispitivanja nije bio očuvanje mehaničkog integriteta peleta pa je stoga odabrana navedena temperatura sušenja kako bi se osiguralo potpuno uklanjanje vode iz peleta nakon bubrenja. Nakon sušenja uzorci su vagani, a na osnovu gubitka mase određen je stvarni udjel vode u uzorku nakon bubrenja.

Rezultati laboratorijskih ispitivanja

Analiza dobivenih rezultata provedenih laboratorijskih ispitivanja napravljena je na način da su analizirani i uspoređeni podaci o bubrenju pojedinog peleta tijekom

120 minuta i 24 sata u inhibiranim isplaka. U tablici 4 prikazani su podaci o ukupnom bubrenju peleta u pojedinoj isplaci nakon 24 sata (Pašić 2012).

Tablica 4. Rezultati bubrenja peleta u inhibiranim isplakama nakon 24 sata

Table 4. Results of pellet swelling in inhibitive muds after 24 hours

PELET	Bubrenje peleta nakon 24 sata ispitivanja (%)								
	Kalijska isplaka			Slana isplaka			Gipsna isplaka		
	Koncentracija polianionske celuloze (g·l ⁻¹)								
	2	4	6	2	4	6	2	4	6
0Q80M20K	37,6	35,3	35,1	42,2	33,2	28,9	41,3	35,3	29
0Q60M40K	36,1	29,6	26,8	38,4	30,2	24	27,5	29,5	26,8
0Q40M60K	29,4	29,3	21,2	40,2	22,6	18,9	43,9	46,5	37,4
0Q20M80K	29,2	28,0	23,7	29,3	29,2	26,2	15,8	32,6	26,6
10Q80M10K	38	34,7	30,7	38,9	44,6	39,4	34,8	33,2	30,6
10Q60M30K	34,4	30,2	32,8	44,9	29,3	26,8	32,9	32,4	29,6
10Q40M50K	34,1	29,9	26,8	38,4	21,9	29,9	28,7	40,6	39,6
10Q20M70K	27,3	25,4	21,8	32,7	29,9	15,7	16,4	34,1	29,5
20Q80M0K	33	29,8	27,5	35,2	30	25,9	35,2	31,7	28,9
20Q60M20K	34,3	30,4	26	35,7	30,3	27,1	38,6	31,7	38,5
20Q40M40K	28,6	26,6	26,8	38,8	33,1	20,4	29,4	31,9	39,8
20Q20M60K	21,2	21,7	22,9	28,5	22,4	22,9	36,7	30,5	30,3

Iz tablice 4 može se zaključiti da u pravilu s povećanjem koncentracije polianionske celuloze u pojedinom tipu inhibirane isplake dolazi do smanjenja bubrenja peleta nakon 24 sata. Ukoliko se usporede rezultati za pojedini pelet može se zaključiti da se kod sedam od ukupno dvanaest ispitivanih peleta najmanje bubrenje peleta postiže u slanoj isplaci sa 6 g/l polianionske celuloze.

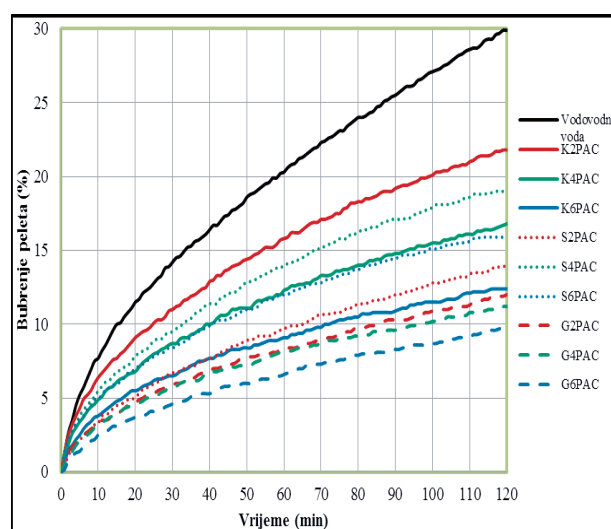
Kako su iste ili slične zakonitosti u smislu intenziteta bubrenja tijekom ispitivanja uočene kod svih peleta, ali i zbog velikog broja prikupljenih podataka u nastavku će detaljnije biti obrađeno samo bubrenje peleta 10Q80M10K u inhibiranim isplakama.

Rezultati bubrenja peleta 10Q80M10K u inhibiranim isplakama

Rezultati bubrenja peleta 10Q80M10K u različitim inhibiranim isplakama tijekom početnih 120 minuta i tijekom 24 sata prikazani su na slikama 5 i 6.

Na slici 5 jasno je vidljiv utjecaj polianionske celuloze na smanjenje intenziteta bubrenja peleta 10Q80M10K tijekom početnih 120 minuta ispitivanja u odnosu na intenzitet bubrenja peleta u vodovodnoj vodi. Utjecaj povećanja koncentracije polianionske celuloze na smanjenje ukupnog bubrenja nakon 120 minuta ispitivanja i in-

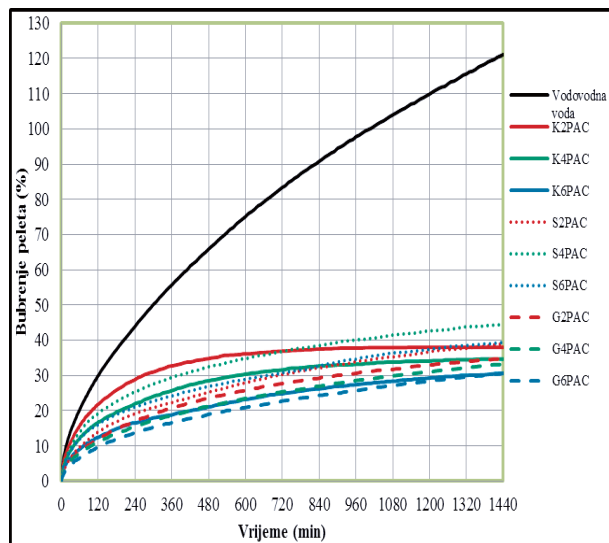
tenziteta bubrenja uočen je kod kalijске i gipsne isplake, dok je kod slane isplake uočena oscilacija mjerenih vrijednosti tijekom ispitivanja.



Slika 5. Rezultati bubrenja peleta 10Q80M10K tijekom 120 minuta u inhibiranim isplakama

Figure 5. Results of 120 minutes pellet 10Q80M10K swelling in inhibitive muds

Kao što je i očekivano, najveće bubrenje peleta 10Q80M10K tijekom 24 sata zabilježeno je u vodovodnoj vodi, pri čemu je zabilježeno povećanje debljine peleta od 1,21 puta u odnosu na debljinu peleta izmjerenu na početku ispitivanja (slika 6).



Slika 6. Rezultati bubrenja peleta 10Q80M10K tijekom 24 sata u inhibiranim isplakama

Figure 6. Results of 24 hours pellet 10Q80M10K swelling in inhibitive muds

Sukladno trendu uočenom u početnom periodu, i u nastavku ispitivanja kod kalijске i gipsne isplake uočeno je smanjenje intenziteta i ukupne vrijednosti bubrenja s povećanjem koncentracije polianionske celuloze, dok je odstupanje od navedenog pravila zabilježeno kao i u početnom periodu kod slane isplake. Također treba napomenuti kako kod nijednog ispitivanog fluida nije zabilježeno postizanje maksimalnog bubrenja nakon 24-satnog ispitivanja (slika 6).

Zaključci

Kao što je to već ranije naglašeno za rješavanje problema nestabilnosti kanala bušotine u šejlu nužno je provođenje opsežnih laboratorijskih ispitivanja, za što je potrebno nabaviti dovoljnu količinu uzoraka šejla. Međutim praktično je vrlo teško osigurati veće količine istovrsnog uzorka šejla zbog tehničkih ograničenja, heterogenosti i anizotropnosti uzorka. Jedno od mogućih rješenja predstavlja upotreba umjetno stvorenih peleta točno određenog mineraloškog sastava.

Na temelju provedenih ispitivanja bubrenja peleta različitog mineraloškog sastava u inhibiranim isplakama moguće je zaključiti sljedeće:

- ✓ Peleti pokazuju isti trend bubrenja kao i originalni uzroci šejla što je vidljivo iz dobivenih karakterističnih krivulja bubrenja.

- ✓ Koncentracija od 2 do 6 g/l polianionske celuloze u isplaci utječe na smanjenje bubrenja peleta ovisno o vrsti inhibirane isplake i mineraloškom sastavu peleta;
- ✓ Polianionska celuloza utječe na intenzitet bubrenja peleta u inhibiranim isplakama u periodu do 120 minuta, ali i na ukupno bubrenje peleta (24-satno bubrenje).
- ✓ Usporedbom rezultata 24-satnog bubrenja peleta u različitim isplakama, uočeno je da se kod 58% peleta najmanje bubrenje postiže u slanoj isplaci sa 6 g/l polianionske celuloze.

Literatura

- Al-Awad, M.N.J. & Smart, B.G.D. (1995): Characterization of Shale Drilling Fluid Interaction Mechanisms Related to Wellbore Instability. Journal of King Saud University – Engineering Science, Volume 8, pp. 187-215.
- Al-Bazali, T.M., Zhang, J., Chenevert, M.E. & Sharma, M.M. (2006): Factors Controlling the Membrane Efficiency of Shales When Interacting With Water-Based and Oil-Based Muds. Paper SPE 100735, SPE International Oil & Gas Conference and Exhibition, December 5-7, pp. 1-11, Beijing, China.
- Amoco (1994): Drilling fluids Manual. Amoco Production Company, 426 pp.
- Anderson, R.L., Ratcliffe, I., Greenwell, H.C., Williams, P.A., Cliffe, S. & Coveney, P.V. (2010): Clay Swelling – A Challenge in the Oilfield. Earth-Science Reviews, Volume 98, Issues 3-4, February, pp. 201-216.
- Baker Hughes (1998): Fluid Facts – Engineering Handbook. Baker Hughes INTEQ, Technical Communications Group, 474 pp., Houston, USA.
- Benayada, B., Habchi, K.N. & Khodja, M. (2003): Stabilisation of Clay Walls During Drilling in Southern Algeria. Applied Energy, Volume 75, Issues 1-2, May-June, pp. 51-59.
- Berry, S.L., Boles, J.L., Brannon, H.D. & Beall, B.B. (2008): Performance Evaluation of Ionic Liquids as a Clay Stabilizer and Shale Inhibitor. Paper SPE 112540, 2008 SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, February 13-15, pp. 1-14, Lafayette, Louisiana, U.S.A.
- Bol, G.M., Wong, S-W., Davidson, C.J. & Woodland, D.C. (1994): Borehole Stability in Shales. SPE Drilling & Completion, June, pp. 87-94.
- Chen, X., Tan, C.P., Detournay, C. (2002): "The Impact of Mud Infiltration on Wellbore Stability in Fractured Rock Masses", SPE/ISRM paper 78241, presented at the SPE/ISRM Rock Mechanics Conference, Irving, Texas, 20-23 October.
- Chenevert, M.E. & Osisanya, S.O. (1989): Shale/Mud Inhibition Defined With Rig-Site Methods. SPE Drilling Engineering, September, pp. 261-268.
- Chenevert, M.E., Pernot, V. (1998): „Control of Swelling Pressures Using Inhibitive Water-Base Muds“, paper SPE 49263, presented at the 1998 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, 27-30 September.

- Darley, H.C.H. (1969): A Laboratory Investigation of Borehole Stability. *Journal of Petroleum Technology*, July, pp. 883-892.
- Fink, J.K. (2011): *Petroleum Engineer's Guide to Oil Field Chemicals and Fluids*. Gulf Professional Publishing, 785 pp., Waltham, U.S.A.
- Gaurina-Medimurec, N. (1992): Izrada tehnički optimalnih bušotina radi gospodarskog iscrpka ležišta ugljikovodika. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, disertacija, 231 str., Zagreb.
- Khodja, M., Canselier, J.P., Bergaya, F., Fourar, K., Khodja, M., Cohaut, N. & Benmounah, A. (2010): Shale Problems and Water-Based Drilling Fluid Optimisation in the Hassi Messaoud Algerian Oil Field. *Applied Clay Science*, Volume 49, Issue 4, August, pp. 383-393.
- Lal, M. (1999.): "Shale Stability: Drilling Fluid Interaction and Shale Strength", paper SPE 54356, presented at the 1999 SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Caracas, Venezuela, 21-23. April.
- Labenski, F., Reid, P. & Santos, H. (2003): Drilling Fluids Approaches for Control of Wellbore Instability in Fractured Formations. Paper SPE/IADC 85304, SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference & Exhibition, October 20-22, pp. 1-8, Abu Dhabi, UAE.
- MI SWACO (1998): *Drilling Fluids Manual*. 786 pp.
- Muniz, E.S., da Fontoura, S.A.B., Lomba, R.T.F. (2005.): "Rock-Drilling Fluid Interaction Studies on the Diffusion Cell", paper SPE 9478, presented at the SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Rio de Janeiro, Brazil, 20-23. June.
- Oleas, A.M., Osuji, C.E., Chenevert, M.E. & Sharma, M.M. (2010): Entrance Pressure of Oil-Based Mud Into Shale: Effect of Shale, Water Activity, and Mud Properties. *SPE Drilling & Completion*, March, pp. 39-44.
- Osuji, C.E., Chenevert, M.E. & Sharma, M.M. (2008): Effect of Porosity and Permeability on the Membrane Efficiency of Shales. Paper SPE 116306, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, September 21-24, pp. 1-12, Denver, Colorado, USA.
- Qu, Y., Lai, X., Zou, L. & Su, Y. (2009): Polyoxyalkylamine as Shale Inhibitor in Water-Based Drilling Fluids. *Applied Clay Science*, Volume 44, Issues 3-4, May, pp. 265-268.
- Pašić, B., Gaurina-Medimurec, N. & Matanović, D. (2007): Wellbore Instability: Causes and Consequences. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, volumen 19, pp. 87-98, Zagreb.
- Pašić, B. (2012): Optimiranje sastava isplake u funkciji povećanja stabilnosti kanala bušotine. Disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 230 str.
- Popp, N.G. (2004): *Acoustic Properties of Shale with Variant Water Activity*. Magisterij, University of Texas, 166 pp., Austin.
- Rojas, J.C., Clark, D. E. & Zhang, J. (2006): Stressed Shale Drilling Strategy-Water Activity Design Improves Drilling Performance. Paper SPE 102498, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, September 24-27, pp. 1-11, San Antonio, Texas, U.S.A.
- Simangunsong, R.A., Villatoro, J.J. & Davis, A.K. (2006): Wellbore Stability Assessment for Highly Inclined Wells Using Limited Rock Mechanics Data. Paper SPE 99644, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, September 24-27, pp. 1-13, San Antonio, Texas, U.S.A.
- Simpson, J.P. & Dearing, H.L. (2000): Diffusion Osmosis-An Unrecognized Cause of Shale Instability. Paper IADC/SPE 59190, IADC/SPE Drilling Conference, February 23-25, pp. 1-14, New Orleans, LA.
- Tare, U.A., Mody, F.K. & Tan, C.P. (2002): New Generation of Membrane Efficient Water-Based Drilling Fluids: Pragmatic and Cost-Effective Solutions to Borehole Stability Problems. Paper 2002-166, Petroleum Society's Canadian International Petroleum Conference, June 11-13, pp. 1-11, Calgary, Alberta, Canada.
- Van Oort, E., Hale, A.H., Mody, F.K., Roy, S. (1996.): "Transport in Shales and the Design of Improved Water-Based Shale Drilling Fluids", *SPE Drilling & Completion*, September.
- Zhang, J., Chenevert, M.E., Al-Bazali, T., Sharma, M.M. (2004): "A New Gravimetric-Swelling Test for Evaluating Water and Ion Uptake in Shale", SPE paper 89831, presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Texas, U.S.A., 26-29 September.
- Zhang, J., Clark, D.E., Al-Bazali, T.M., Chenevert, M.E., Rojas, J.C. & Ong, S. (2006^a): Ion Movement and Laboratory Technique to Control Wellbore Stability. Paper AADE-06-DF-HO-37, AADE 2006 Fluids Conference, April 11-12, pp. 1-12, Houston, Texas.
- Zhang, J., Yu, M., Al-Bazali, T.M., Ong, S., Chenevert, M.E., Sharma, M.M. & Clark, D.E. (2006^b): Maintaining the Stability of Deviated and Horizontal Wells: Effects of Mechanical, Chemical, and Thermal Phenomena on Well Designs. Paper SPE 100202, SPE International Oil & Gas Conference and Exhibition, December 5-7, pp. 1-12, Beijing, China.

THE PELLETS APPLICATION IN LABORATORY RESEARCHING OF INHIBITIVE MUD/SHALE INTERACTION

Wellbore instability was and is one of the most frequent problems in petroleum industry, especially in the field of drilling and exploration. Anomalies appearing within wellbore instability are mainly caused by the shale formations represented with 75% of all drilled formations. Wellbore instability problems include tight hole spots, wellbore enlargement, cavings appearance, inability of carrying out wireline operations, poor hole cleaning and unsuccessful wellbore cementing operations and others. Wellbore instability is a result of mechanical and physico-chemical causes mostly acting simultaneously. Shale instability cause basically comes out of its mineralogical composition (especially clay minerals content) and physico-chemical properties. Shale-mud interaction includes water/ions movement in and out of the shales due to pressure differential, osmosis, diffusive flow and capillary pressure. Water entering the shale hydrates clay minerals, i.e. shale swells. Many research activities about shale instability causes and shale properties (affecting shale behavior) definition have been carried out by now. Different shale samples, laboratory equipment and inhibitive muds have been used. Laboratory tested shale samples are provided by the wellbore cores, surface sampling or, which is the simplest method, by collecting the samples at the shale shakers during drilling operation. The amount of these samples (cores retrieved) is not enough for labora-

tory investigation. During the testing different inhibitive muds are used (water or oil based), sometimes containing more than one shale inhibitor. These various shale samples and muds used make difficult to compare test results and conclusions made by different authors.

Laboratory tests presented within this paper are done with artificial samples (pellets) made by compacting the powderish material containing exact amount of quartz, montmorillonite and kaolinite. There was total of twelve samples tested divided into three basic groups having different quartz content (0, 10 and 20% by mass weight). There are four samples in each group with different montmorillonite content (80, 60, 40 and 20% by mass weight). Pellets are compacted for thirty minutes by applying pressure of 34,5 MPa, which is equivalent to overburden pressure acting on a shale layer at 1500 m of depth. Laboratory testing is done by treating the powde-

rish samples 24 hours a day inside the dessicator with exact relative humidity, 30-minute compaction, 24-hour swelling in linear swellmeter and 24-hour drying. Sample swelling is tested within different mud types (potassium, salt and gypsum muds) and the sample mass is measured in each above mentioned phase. In these muds polyanionic cellulose content was changed. High salt amounts in muds are ecologically unacceptable due to the great impact on flora and fauna. That was the reason why minimal salt contents (5% by mass weight) were used. Used muds influence on the total pellet swelling and swelling intensity, especially at the early phase of testing. During the laboratory testing, special attention is directed to preparation and pellets content definition as a good replacement for original shale in laboratory testing of shale and drilling fluid interaction.