

Utjecaj nanočestica SiO_2 i TiO_2 na svojstva isplaka na bazi vode

Effect of SiO_2 and TiO_2 nanoparticles on water-based muds properties

Monika Miličević, univ.bacc.ing.petrol.
Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu
monika.milicevic734@gmail.com

Carla Ključarić, univ.bacc.ing.petrol.
Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu
carlakljucaric@gmail.com

Sven Mijić, univ.bacc.ing.petrol.
Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu
svenmijic@gmail.com

Petar Mijić, mag. ing. petrol., asistent
Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu
petar.mijic@rgn.hr

Dr. sc. Nediljka Gaurina Medimurec, redovita profesorica
Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu
nediljka.gaurina-medjimurec@rgn.hr



Cljučne riječi: isplaka, nanočestice, reologija, filtracija, isplačni oblog

Key words: drilling mud, nanoparticles, rheology, filtration, mud cake

Sažetak

Tijekom bušenja konvencionalnih i nekonvencionalnih ležišta nafte i plina, inženjeri se svakodnevno susreću s novim izazovima. Razvojem tehnologije i istraživanjem novih pristupa u rješavanju praktičnih problema pokušavaju se na što isplativiji način eksploatirati pridobive rezerve ugljikovodika. Jedna od vrlo bitnih komponenti za uspješnu izradu kanala bušotine je svakako isplaka. Posljednjih

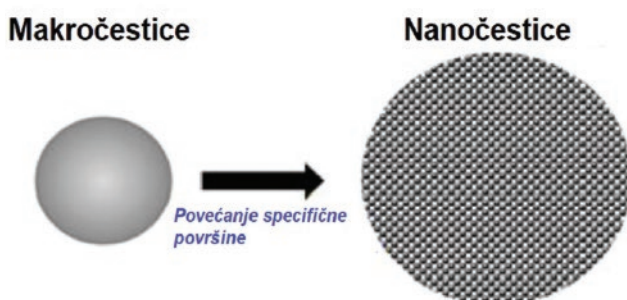
godina, svojstva isplake pokušavaju se poboljšati dodavanjem nanočestica. Nanočestice su čestice veličine 1 do 100 nanometara ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Dodavanjem nanočestica u isplaku uočena su poboljšanja u: smanjenju filtracije, ojačanju stjenki kanala bušotine i povećanju njegove stabilnosti, smanjenju torzije i natega, smanjenju mogućnosti prihvata i drugo. U radu su prikazani rezultati laboratorijskih ispitivanja utjecaja koncentracije komercijalno dostupnih nanočestica SiO_2 i TiO_2 na reološka svojstva, filtraciju i debljinu isplačnog obloga isplake na bazi vode. Ispitivanja su provedena dodavanjem različitih koncentracija nanočestica silicijevog dioksida (SiO_2) (0,25%, 0,5%, 0,75% i 1,0% mas.) i titanovog dioksida (TiO_2) (0,25%, 0,5%, 0,75% i 1,0% mas.) u osnovnu isplaku.

Abstract

During drilling conventional and unconventional oil and gas reservoirs, engineers are continuously confronted with new challenges. With the development of new technologies and emphasizing new approaches, the costs of oil and gas exploration are being minimized. Drilling mud is certainly one of the essential components for successful drilling. In the recent years, drilling mud properties are being improved by adding nanoparticles. Nanoparticles are particles sized from 1 to 100 nanometers ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). There are many improvements in drilling fluid performance with the use of nanoparticles, such as reduction in fluid loss, wellbore strengthening and improvement of wellbore stability, reduction of torque and drag, reduction of differential pressure sticking, and much more. The results of the laboratory test of the effect of concentration commercially available nanoparticles SiO_2 and TiO_2 on rheological properties, filtration and mud cake thickness in water based muds are presented. Laboratory tests have been carried out by adding different concentration of silicoon dioxide nanoparticles (SiO_2) (0.25%, 0.5%, 0.75% and 1.0 wt%) and titanium dioxide nanoparticles (TiO_2) (0.25%, 0.5%, 0.75% and 1.0 wt%) to the basic mud composition.

1. Uvod

Pojam nanotehnologije danas se sreće u različitim djelatnostima i industrijama od automobilske, tekstilne, prehrambene pa sve do naftne industrije. Nanotehnologija je disciplina koja koristi nanočestice čije se dimenzije kreću od 1 do 100 nanometara. Zbog svoje velike specifične površine u odnosu na specifičnu površinu materijala većih dimenzija, a jednake mase (Slika 1), nanočestice se ističu mogućnošću povezivanja na način da stvore čvršće i laganije materijale čime mogu poboljšati njihova fizikalna svojstva (El-Diasty i Ragab, 2013).



Slika 1. Odnos specifične površine makročestica i nanočestica jednake mase (El-Diasty i Ragab, 2013)

Nanočestice u naftnoj industriji dodaju se u isplaku radi poboljšanja njenih reoloških, filtracijskih i podmazujućih svojstva (Sayyadnejad et al., 2008; Sensoy et al., 2009; Paiaman and Al-Anazi, 2009; Javeri et al., 2011; Hoelscher et al., 2012; Ji et al., 2012; Zakaria et al., 2012; Nwaoji et al., 2013; Young and Friedheim, 2013; Contreras et al., 2014a; Taha and Lee, 2015; Vryzas et al., 2015 i Mijić et al., 2017). Isplake s nanočesticama u literaturi se nazivaju nanofluidi te se, prema koncentraciji prisutnih nanočestica, dijele na: (1) jednostavne nanofluide sa samo jednim aditivom nanoveličine i (2) napredne nanofluide s dva ili više aditiva nanoveličine (Al-Yasiri i Al-Sallami, 2015). Nanočestice odabranih materijala dodaju se u isplaku u obliku praha ili suspenzije nanočestica. Za ispitivanja čiji su rezultati opisani u radu korištene su komercijalno dostupne nanočestica SiO_2 i TiO_2 u obliku disperzije. Dodavanjem nanočestica SiO_2 i TiO_2 u isplaku vidljiva su poboljšanja reoloških, filtracijskih i podmazujućih svojstva osnovne isplake.

2. Nanočestice u isplaci

Povećanje dubine i otklona kanala bušotina te duljine horizontalnih dijelova kanala bušotina zahtijeva poboljšanja u tehnologiji izrade bušotina korištenjem novih metoda, alata i/ili materijala kako bi se lakše i uspješnije savladali problemi koji su uočeni tijekom procesa. U većini slučajeva, isplačni aditivi nanoveličine poboljšavaju svojstva isplake u odnosu na klasične aditive, što se očituje kao: ojačanje stijenki kanala bušotine, poboljšana kontrola filtracije, povećana stabilnost kanala bušotine, smanjena vrijednost torzije i natega, smanjenje mogućnosti prihvata alatki, poboljšani uvjeti bušenja i proizvodnje u uvjetima visoke temperature i visokog tlaka i dr. (Contreras et al., 2014).

Mnogo je autora prepoznalo vrijednost te moguću primjenu nanočestica u isplakama. Pregled vrste i veličine nanočestica dodanih u isplake različitih sastava, radi ispitivanja njihova utjecaja na različite parametre, prikazan je u Tablici 1.

Na temelju podataka prikazanih u Tablici 1. može se zaključiti da su različiti autori ispitivali različite tipove nanočestica, ali najčešće nanočestice SiO_2 . U provedenim ispitivanjima korištene su nanočestice veličine od 5 nm (Hoelscher et al., 2012) do 130 nm (Javeri et al., 2011). Nanočestice su u osnovni fluid dodavane u različitim koncentracijama, od 0,1 do čak 30% maseno. Na temelju rezultata provedenih ispitivanja zaključeno je da nanočestice, zbog njihove velike specifične površine, treba dodavati u isplaku u manjim koncentracijama jer se već pri malim koncentracijama

Tablica 1: Vrste i veličine nanočestica u ispitivanim isplakama te svrha ispitivanja

IZVOR	VRSTA NANOČESTICA	VELIČINA (NM)	SVRHA ISPITIVANJA
Sayyadnejad et al., 2008	ZnO	14-25	izdvajanje H ₂ S iz isplake
Paيمان and Al-Anazi, 2009	čada	30	smanjenje debljine i povećanje kvalitete isplačnog obloga
Sensoy et al., 2009	SiO ₂	20	smanjenje prodora filtrata u šejlove i sprječavanje smanjenja njihove propusnosti
Javeri et al., 2011	silicij	40-130	smanjenje debljine isplačnog obloga
Hoelscher et al., 2012	SiO ₂	5-75	smanjenje filtracije
Ji et al., 2012	nije navedeno	20	smanjenje prodora filtrata u šejl
Zakaria et al., 2012	komercijalne nanočestice	20-40	smanjenje filtracije
Nwaoji et al., 2013	Fe(OH) ₃ , CaCO ₃	nije navedeno	očvršćivanje stjenki kanala bušotine
Young and Friedheim, 2013	SiO ₂	<100	povećanje mazivosti isplake, čepljenje nanopukotina
Contreras et al., 2014a	na bazi željeza i kalcija	30 i 60	smanjenje filtracije
Taha and Lee, 2015	grafen	nije navedeno	povećanje mazivosti isplaka
Vryzas et al., 2015	Fe ₂ O ₃ , SiO ₂	<50 (Fe ₂ O ₃), 12 (SiO ₂)	povećanje gustoće, kontrola API i HTHP filtracije

postizu zadovoljavajući rezultati (Nwaoji et al., 2013; Contreras et al., 2014a). U analiziranim objavljenim radovima autori su uglavnom ispitali utjecaj nanočestica na smanjenje filtracije isplake tijekom bušenja kroz šejlove, dok su reološka svojstva uglavnom određivana paralelno s nekim drugim ispitivanjima.

2.1 Očvršćivanje stjenki kanala bušotine

Najskuplji problem koji se javlja tijekom bušenja je gubitak stabilnosti kanala bušotine uslijed neodgovarajućeg tlaka u kanalu bušotine te hidratacija glinovitih stijena raskrivenih izradom kanala bušotine, zbog prodora isplake i/ili njenog filtrata u pribušotinsku zonu. Čepljenjem nanopora i nanopukotina u stijeni, nanočesticama iz isplake ograničava se daljnji prodor filtrata i prijenos tlaka iz bušotine u pribušotinsku zonu čime se postiže očvršćivanje stjenki kanala bušotine (*engl. wellbore strengthening*) i povećanje njihove otpornosti na frakturiranje. Koristeći kombinacije smjesa nanočestica s nekim klasičnim materijalima za čepljenje pukotina u isplakama na bazi vode te u inverznim uljnim isplakama, Nwaoji i njegovi suradnici objavili su 2013. godine rezultate ispitivanja u radu *Wellbore Strengthening – Nano-Particle Drilling Fluid Experimental Design Using Hydraulic Fracture Apparatus*. U eksperimentu su korištene nanočestice željezovog (III) hidroksida (Fe(OH)₃) i kalcijevog karbonata (CaCO₃). Uz kontrolnu smjesu, Nwaoji je koristio 10 različitih sastava isplaka na bazi vode s različitim udjelima vode te različite koncentracije i kombinacije materijala za čepljenje pukotina te nanočestica, mjereći pritom

novi tlak frakturiranja (P_f) (*engl. formation breakdown pressure*) na testiranom uzorku stijene te gustoću i reološka svojstva dobivenih isplaka. Autori su utvrdili da dodavanje smjese nanočestica Fe(OH)₃ i CaCO₃ s udjelom od 0,2% mas. Fe(OH)₃ i 2,0% mas. CaCO₃) u isplaku koja već sadrži materijal za čepljenje (0,1% mas. grafita i 1,0% mas. CaCO₃) povećava čvrstoću probušenih stijena i njihovu otpornost na frakturiranje za čak 70% (odnosno za čak 11,5 MPa).

2.2 Smanjenje torzije i povećanje mazivosti isplake

U kontaktu bušaćih alatki sa stjenkama kanala bušotine javlja se sila trenja koja uzrokuje povećanje torzije tijekom rotacije alatki te povećanje potrebnog natega pri manevriranju alatkama unutar kanala bušotine. Primjena isplake na bazi ulja tijekom izrade kanala bušotine ima prednost u odnosu na primjenu isplake na bazi vode što se tiče sposobnosti podmazivanja, a time i smanjenja natega i torzije. Njihovu češću upotrebu ograničavaju visoka cijena te štetan utjecaj na okoliš. Za smanjenje koeficijenta trenja u isplake na bazi vode dodaju se različitim podmazivači čime se smanjuje torzija i nateg, te produljuje vijek trajanja bušaćih alatki. Smatra se da bi nanočestice mogle dodatno povećati mazivost isplake u odnosu na klasične podmazivače jer bi, zahvaljujući svojoj nanoveličini, popunile vrlo fine prostore kontaktnih površina te smanjile njihovu hrapavost. Taha i Lee (2015.) su proveli eksperiment s dva različita podmazivača: nanočesticama grafena i klasičnim podmazivačem na

bazi estera kako bi utvrdili njihov utjecaj na mazivost isplake. Pri jednakim koncentracijama podmazivača od 5%, isplaka s nanočesticama grafena imala je manji koeficijent trenja (a time i torzije) za čak 80%, dok je isplaka s podmazivačem na bazi estera imala koeficijenta trenja manji za samo 30% (Taha i Lee, 2015).

2.3 Smanjenje filtracije i debljine obloga dodavanjem nanočestica

Većina probušene stijena sastoji se od šejlova čija je propusnost mala, a sadrže pore nanoveličine. Isplake s klasičnim aditivima za smanjenje filtracije ne mogu formirati kvalitetan isplačni oblog na stijenama šejla jer su prisutni aditivi prevelikih dimenzija i ne mogu prodrijeti u nanopore. Međutim, ukoliko se u isplaku dodaju nanočestice koje pod djelovanjem diferencijalnog tlaka prodiru u pore šejla, omogućeno je stvaranje unutrašnjeg isplačnog obloga i sprječavanje daljnjeg prodora filtrata isplake u šejl. Sensoy i njegovi suradnici (2009.) proveli su istraživanje utjecaja nanočestica na čepljenje pora šejla, a time i na smanjenja prodora filtrata isplake. U ispitivanjima su korišteni uzorci „Atoka“ šejla (tvrda stijena) i „Gulf of Mexico“ šejla (meka stijena). Oba šejla imaju visok udjel minerala glina. Ispitane su četiri različite isplake (bentonitne suspenzije) prije i poslije dodavanja nanočestica SiO₂ veličine 20 nm. Dodavanjem 10% mas. nanočestica SiO₂ u isplake, propusnost šejlova za isplake s nanočesticama smanjila se deseterostruko u usporedbi s odgovarajućim isplakama bez nanočestica, te čak stotruko u usporedbi s propusnošću za slanu vodu. Zaključno, nanočestice, zbog svojih malih dimenzija, pozitivno utječu na zatvaranje veoma malih pora u šejlovima, te time sprječavaju daljnji prodor filtrata isplake u samu stijenu.

Javeri et al. (2011) proveli su ispitivanja utjecaja nanočestica SiO₂, gustoće 2320 kg/m³, veličine od 40 do 130 nm na debljinu isplačnog obloga. Nanočestice bi teoretski trebale popuniti sitnije međuprostore te povećati stlačivost isplačnog obloga, čineći ga tanjim, nepropusnijim i žilavijim. Na temelju dobiveni rezultata zaključili su da je dodavanjem u isplaku 3% vol. nanočestica SiO₂ debljina isplačnog obloga smanjena za 34%, čime je znatno smanjena mogućnost prihvata bušačkih alatki. Sličan eksperiment proveli su Paiaman i Al-Anazi (2008.) dodavanjem 2% vol. nanočestica čađe (ugljkovog amorfne prahe) veličine 30 nm u isplaku na bazi vode gustoće 1617 kg/m³. Nakon agregacije nanočestice čađe njihova veličina je bila između 150 i 500 nm. Nakon dodavanja nanočestica čađe stvoren je 25% tanji isplačni oblog.

Na temelju rezultata navedenih ispitivanja, moguće je zaključiti da isplake s nanočesticama tvore tanji, žilaviji i manje propustan isplačni oblog nego isplake s klasičnim aditivima.

2.4. Utjecaj nanočestica na reološka svojstva isplaka

Utjecaj nanočestica SiO₂ dimenzija 20 nm u koncentracijama od 0,058%, 0,24% i 0,4% mas. na reološka svojstva polimernih isplaka (4%-tna vodena otopina KCl i 3,95 kg guara po m³) i isplaka na bazi površinski aktivnih tvari (4%-tna vodena otopina KCl i 5% PAT) ispitivali su Fakoya i Shah (2013.). Ispitivanja su provedena pri temperaturama od 25°C do 80°C. Rezultati ispitivanja su pokazali da su reoloških svojstava isplake na bazi PAT-i poboljšana dodavanjem 0,24% mas. nanočestica SiO₂, a polimerne isplake dodavanjem 0,4% mas. nanočestica SiO₂.

3. Laboratorijska ispitivanja

Laboratorijska ispitivanja utjecaja vrste i koncentracije silicijevog i titanovog dioksida na reološka svojstva, filtraciju te debljinu isplačnog obloga provedena su u Laboratoriju za ispitivanje bušotinskih fluida na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u Zagrebu. Podaci o korištenim nanočesticama prikazani su u Tablici 2.

Tablica 2: Podaci za korištene nanočestice (Mijić et al., 2017)

TRGOVAČKI NAZIV	AERODISP® W 740 X	AERODISP® W 7330 N
Proizvođač	Evonik Industries	Evonik Industries
Izgled	disperzija nanočestica u vodi	disperzija nanočestica u vodi
Koncentracija nanočestica u disperziji	39-41% mas. TiO ₂	30% mas. SiO ₂
Gustoća @20° (kg/m ³)	1410	1200
Stabilizator	-	NaOH
Prosječna veličina nanočestica (d ₅₀)	70 nm	120 nm
pH vrijednost	5-7	9,5-10,5

U laboratoriju je pripremljena osnovna isplaka čiji je sastav prikazan u Tablici 3., a preuzet je iz literature.

Tablica 3: Sastav osnovne isplake (Mijić et al., 2017)

SASTAV ISPLAKE	KOLIČINA	NAMJENA
voda	1 l	bazni fluid
bentonit	30 g/l	reološka i filtracijska svojstva
NaOH	2 g/l	alkalnost
PAC LV	2 g/l	filtracija

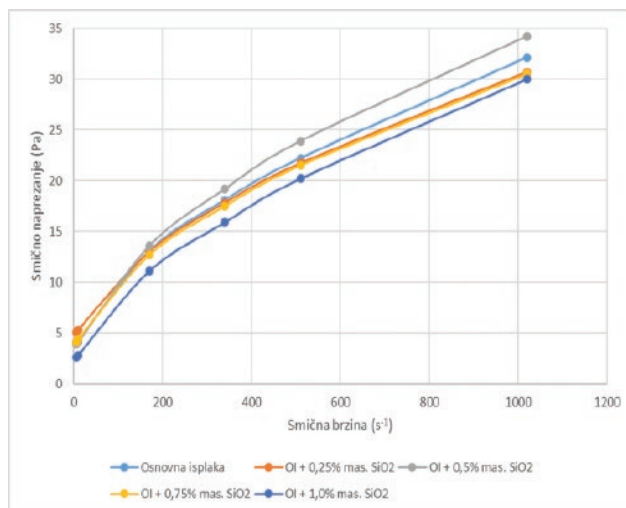
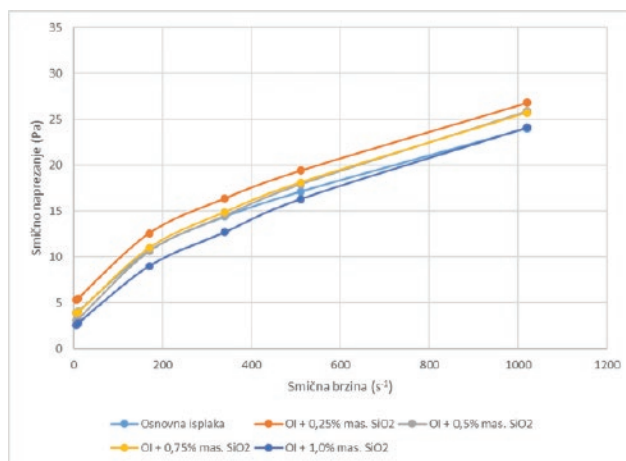
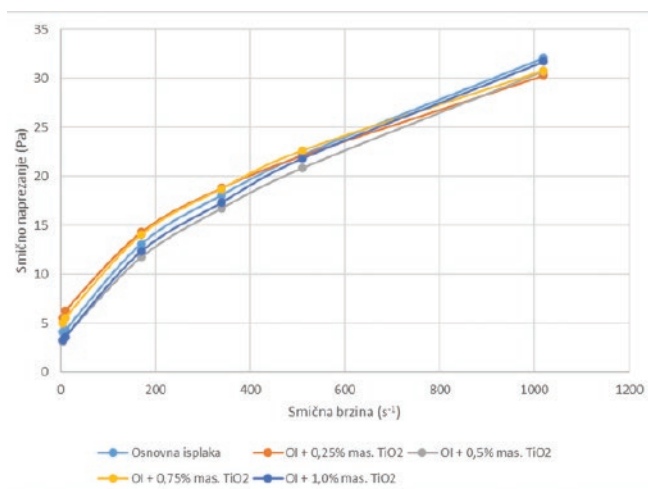
Odabrana koncentracija ispitivanih nanočestica (0,25; 0,50; 0,75 ili 1% mas.), u vidu njihove disperzije u vodi, je dodavana polako u 1 litru osnovne isplake da se smanji aglomeracija nanočestica. Nakon dodavanja nanočestice isplake je miješana dodatnih 30 minuta. Pripremljeno je i ispitano ukupno 9 isplaka (Tablica 4).

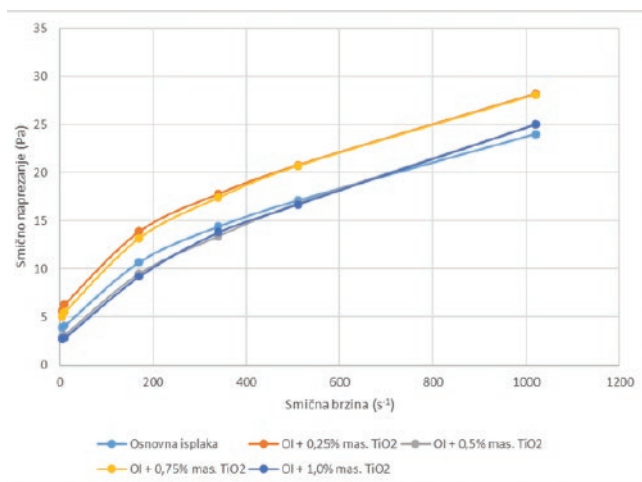
Tablica 4: Isplake s nanočesticama

Br.	Isplaka	Koncentracija nanočestica (g/l)
1	Osnovna isplaka (OI)	1 l
Isplake s nanočesticama SiO ₂		
2	OI + 0,25% mas. SiO ₂	2,5
3	OI + 0,5% mas. SiO ₂	5
4	OI + 0,75% mas. SiO ₂	7,5
5	OI + 1% mas. SiO ₂	10
Isplake s nanočesticama TiO ₂		
6	OI + 0,25% mas. TiO ₂	2,5
7	OI + 0,50% mas. TiO ₂	5
8	OI + 0,75% mas. TiO ₂	7,5
9	OI + 1% mas. TiO ₂	10

3.1 Ispitivanje reoloških svojstava

Za ispitivanje utjecaja vrste i koncentracije odabranih nanočestica na reološka svojstva isplake korišten je viskozimetar OFITE MODEL 900. Provedena su mjerenja smičnih napreznja pri brzinama rotacije: 600, 300, 200, 100, 6 i 3 o/min pri temperaturama: 25°C i 50°C. Rezultati mjerenja prikazani su na slikama 2. do 5.

Slika 2. Ovisnost smičnih napreznja o koncentraciji nanočestica SiO₂ pri 25°CSlika 3. Ovisnost smičnih napreznja o koncentraciji nanočestica SiO₂ pri 50°CSlika 4. Ovisnost smičnih napreznja o koncentraciji nanočestica TiO₂ pri 25°C



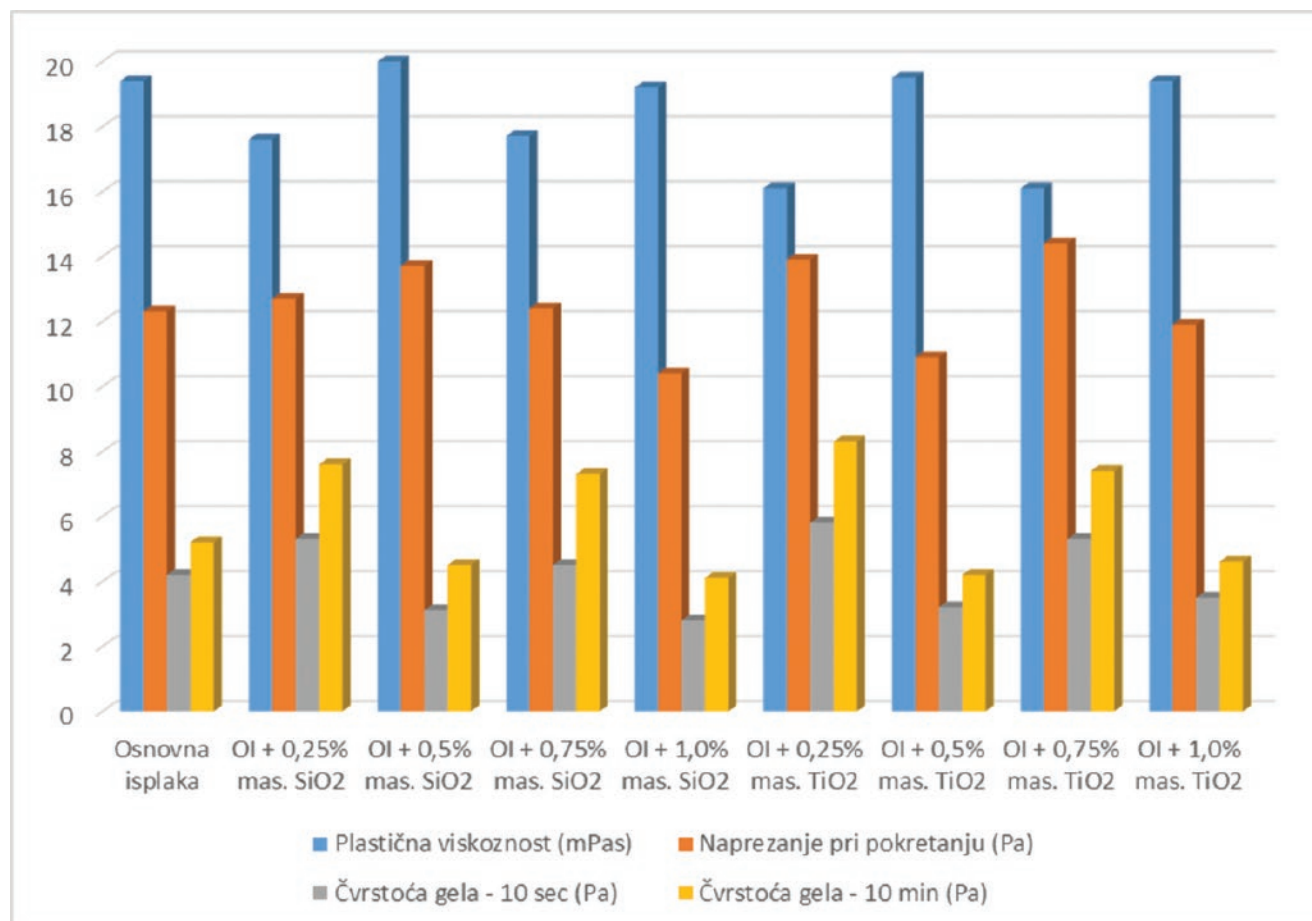
Slika 5. Ovisnost smičnih napreznja o koncentraciji nanočestica TiO_2 pri 50°C

Na temelju očitavanja vrijednosti smičnih napreznja pri različitim smičnim brzinama može se zaključiti da se s povećanjem smične brzine povećavaju, a s povećanjem temperature smanjuju vrijednosti smičnih napreznja. Najniže vrijednosti su izmjerene za isplake s 1% mas nanočestica SiO_2 i 1% mas nanočestica TiO_2 pri 50°C .

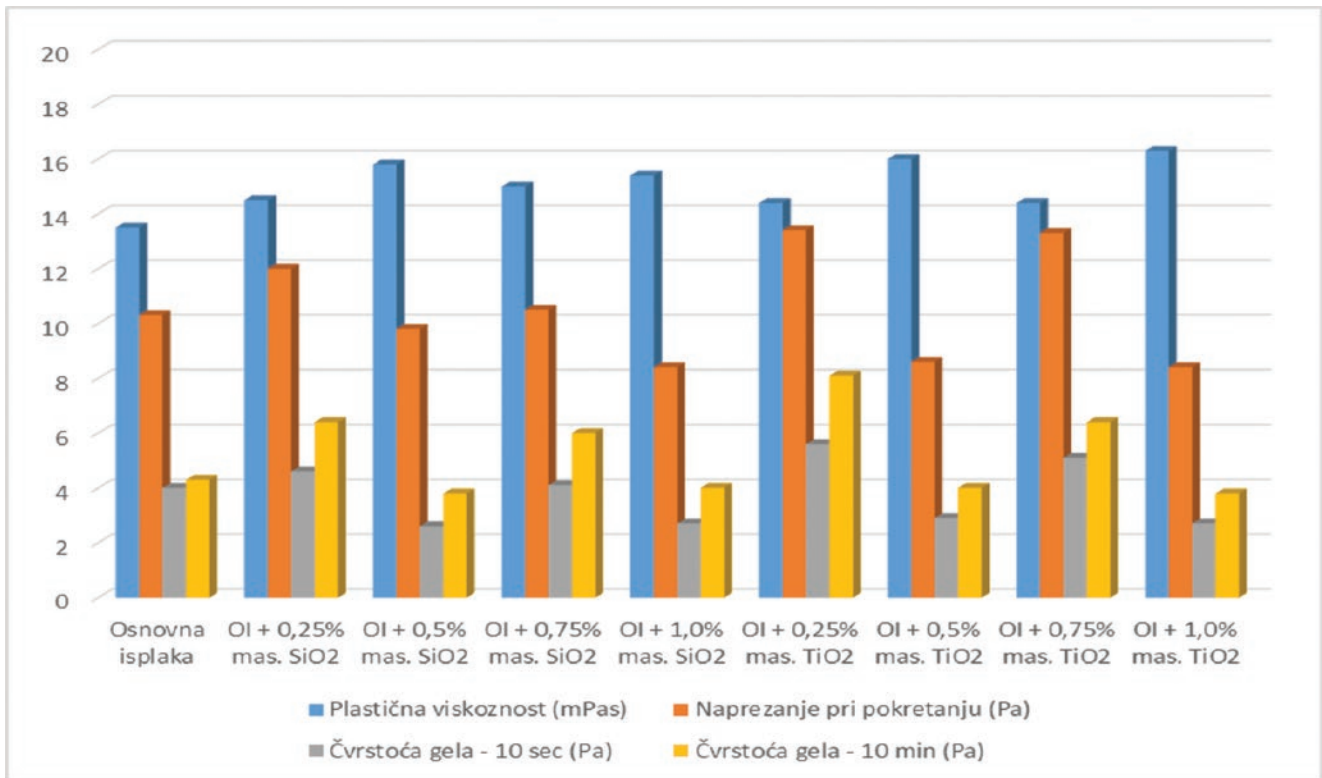
Na temelju izmjerenih vrijednosti smičnih napreznja izračunate su vrijednosti plastične viskoznosti i napreznja pri pokretanju te su skupa s izmjerenim vrijednostima čvrstoće gela (10 sekundi i 10 minutni) prikazani na slikama 6. i 7.

Pri 25°C vrijednost plastične viskoznosti isplake s 0,5% mas. nanočestica SiO_2 je za svega 3% veća od vrijednosti za osnovnu isplaku, a za ostale koncentracije vrijednosti su manje za 2 do 10%. Pri 50°C vrijednost plastične viskoznosti isplake s nanočesticama SiO_2 su za sve koncentracije veće 7 do 17% od vrijednosti za osnovnu isplaku, dok su isplake s nanočesticama TiO_2 imale porast plastične viskoznosti između 7 i 21%.

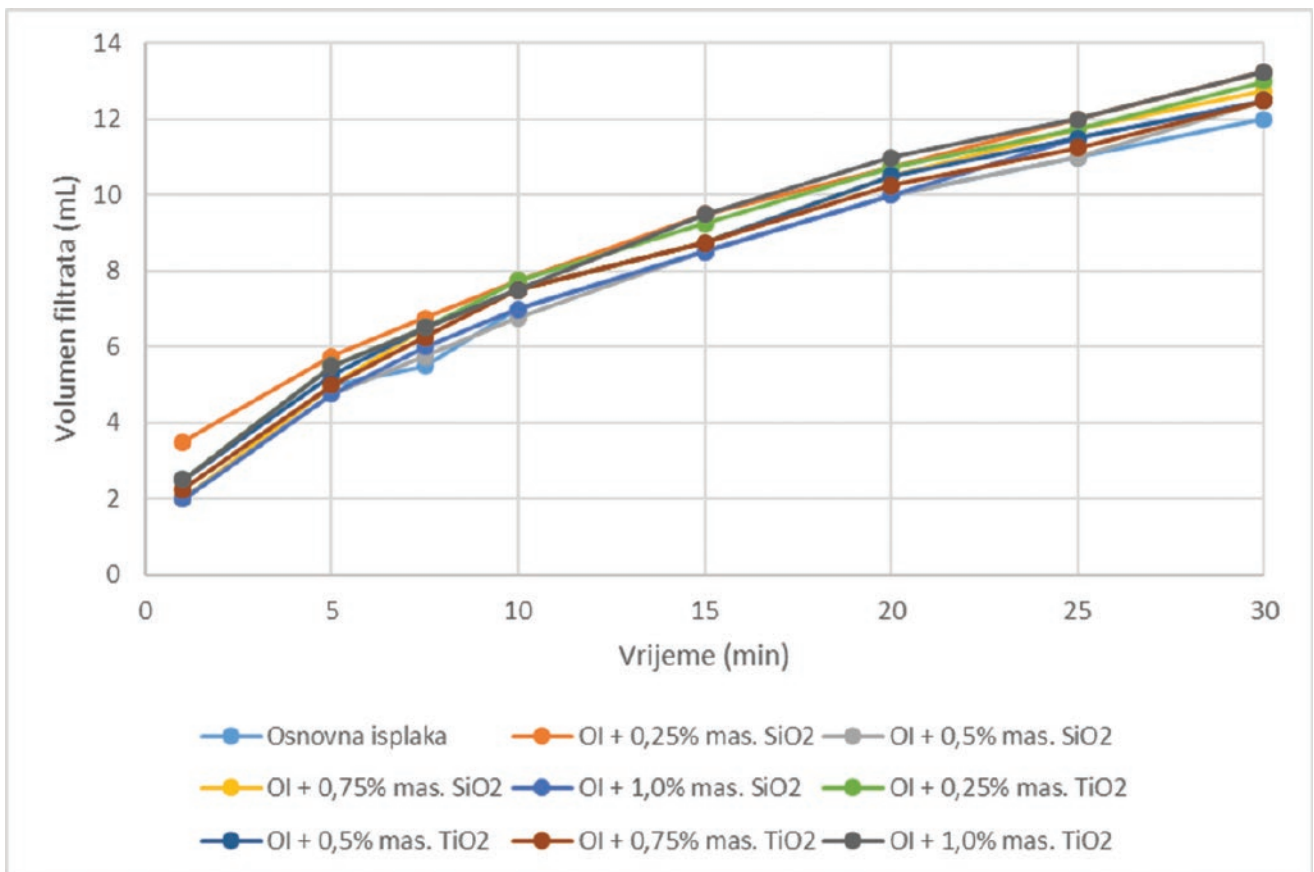
Napreznje pri pokretanju se kod isplake s nanočesticama SiO_2 gotovo ne mijenja, bez ikakvog očitog trenda, dok je kod isplake s nanočesticama TiO_2 vidljivo odstupanje, odnosno povećanje za koncentracije 0,25% te 0,75% mas. Čvrstoće gela za isplake s nanočesticama SiO_2 i TiO_2 se smanjuju u odnosu na osnovnu isplaku, osim kod već prethodno spomenutih koncentracija. Trendovi su slični za mjerenja pri 50°C , gdje je važno nadodati da postoje veća odstupanja napreznja pri pokretanju za isplake s nanočesticama TiO_2 u odnosu na ostale koncentracije te osnovnu isplaku.



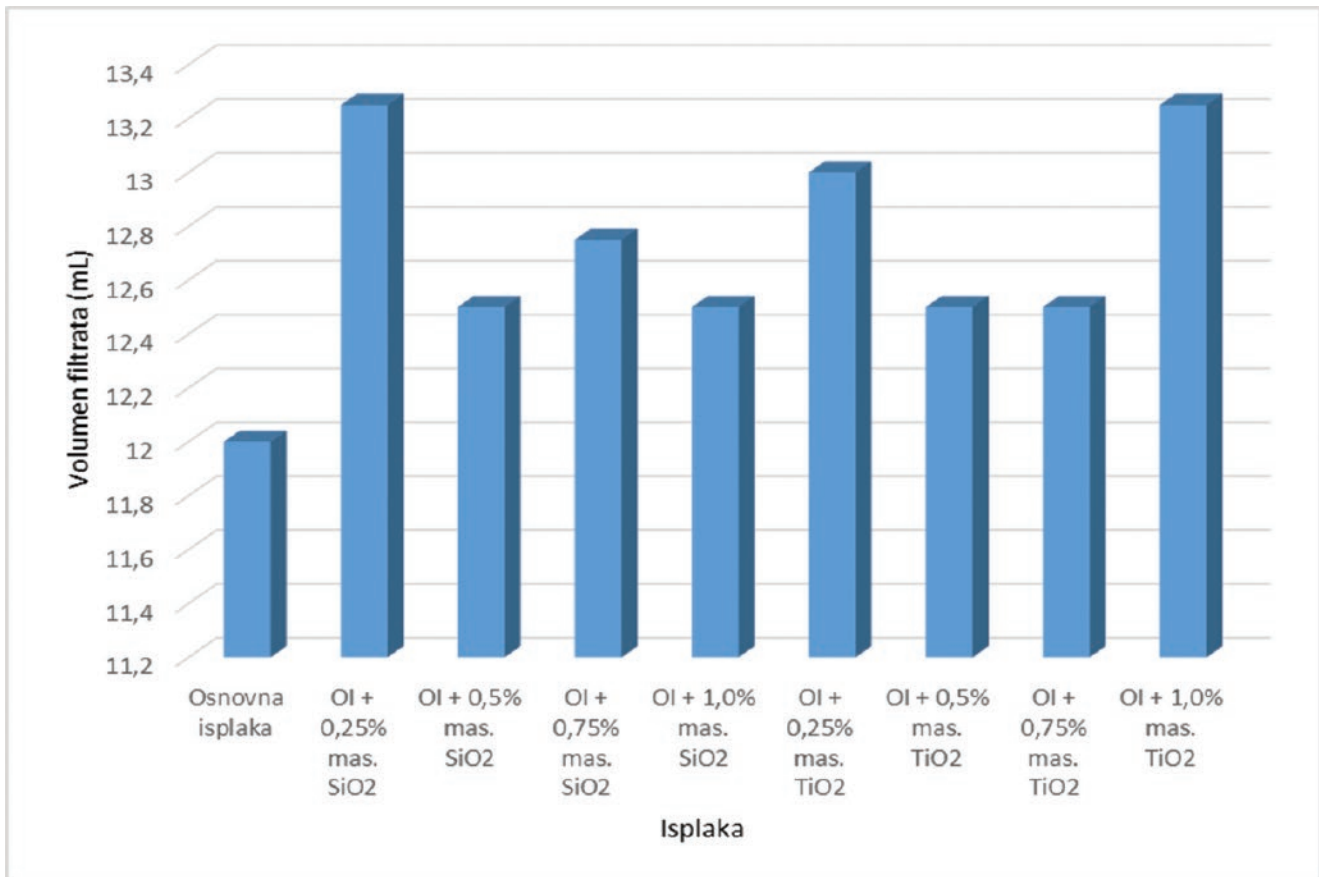
Slika 6. Utjecaj vrste i koncentracije nanočestica na plastičnu viskoznost, napreznje pri pokretanju i čvrstoća gela pri 25°C



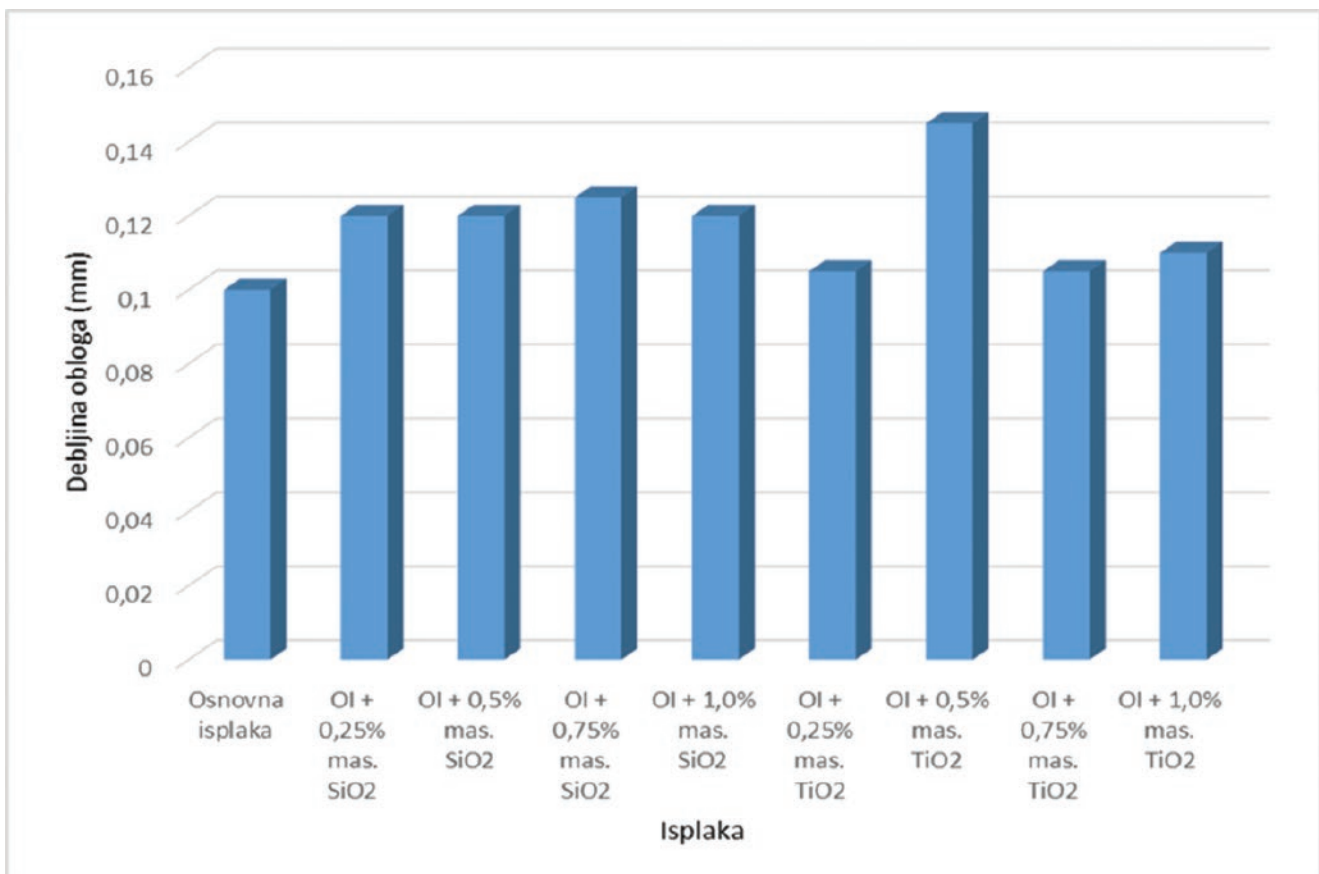
Slika 7. Utjecaj vrste i koncentracije nanočestica na plastičnu viskoznost, naprezanje pri pokretanju i čvrstoća gela pri 50°C



Slika 8. Utjecaj vrste i koncentracije nanočestica na volumen filtrata isplake tijekom filtracije



Slika 9. Utjecaj vrste i koncentracije nanočestica na 30-min API filtraciju



Slika 10. Utjecaj vrste i koncentracije nanočestica na debljinu isplačnog obloga

Mjerenje filtracije

Filtracija je sposobnost isplake da stvori tanki isplačni oblog na propusnim stijenama. Stvaranjem kvalitetnog isplačnog obloga sprječava se daljnje prodiranje filtrata u stijenu čime se očvršćuju stjenke kanala bušotine te pospješuje održavanje stabilnosti kanala bušotine. Za određivanje filtracije koriste se: API filter preša (niski tlak i sobna temperatura) i HTHP filter preša (visoki tlak i visoka temperatura). U ovom radu ispitan je utjecaj vrste i koncentracije nanočestica na API filtraciju. Za mjerenje filtracije korištena je standardna API filter preša, a mjerenje je provedeno pri tlaku od 6,895 bara (100 psi) i sobnoj temperaturi u trajanju od 30 minuta. Rezultati mjerenja volumena filtrata isplake tijekom 30 minuta prikazani su na slici 8, a vrijednost 30-min API filtracije na Slici 9.

Na temelju rezultata mjerenja API filtracije može se uočiti da je, za isplake s različitim koncentracijama nanočestica SiO_2 i TiO_2 , volumen filtrata nakon 30 minuta povećan za 4 do 10% u odnosu na volumen filtrata osnovne isplake.

3.2 Debljina isplačnog obloga

Nakon izmjerene vrijednosti API filtracije, izmjerene su i debljine nastalih isplačnih obloga, koji su formirani na filter papiru tijekom 30-minutnog ispitivanja filtracije. Oblozi su zatim ostavljeni na zraku kako bi se osušili, te im je nakon toga izmjerena debljina, a rezultati su prikazani na Slici 10.

Na temelju prikazanih rezultata može se zaključiti da se dodavanjem nanočestica u isplaku debljina stvorenog obloga povećava. Debljina isplačnog obloga isplaka s nanočesticama SiO_2 je 20-25% veća od debljine isplačnog obloga osnovne isplake. Debljina isplačnog obloga isplaka s nanočesticama TiO_2 je 5 do 10% veća od debljine isplačnog obloga osnovne isplake,

s izuzetkom isplake s 0,5% mas. nanočesticama TiO_2 , čiji je oblog za čak 45% deblji od isplačnog obloga osnovne isplake.

4. Zaključak

Na temelju rezultata provedenih laboratorijskih ispitivanja utjecaja odabranih koncentracija nanočestica SiO_2 i TiO_2 na svojstva isplake može se zaključiti sljedeće:

- vrijednost plastične viskoznosti isplake s 0,5% mas. nanočestica SiO_2 pri 25°C je za svega 3% veća u odnosu na vrijednosti za osnovnu isplaku, a za ostale koncentracije je manja za 2 do 10%;
- pri 50°C vrijednosti plastične viskoznosti isplake s nanočesticama SiO_2 i TiO_2 su za sve koncentracije veće za 7 do 17% u odnosu na vrijednosti za osnovnu isplaku;
- dodavanjem do 1% nanočesticama SiO_2 ne mijenja se značajno vrijednost naprezanja pri pokretanju, ali je vidljivo povećanje vrijednosti pri 0,25% i 0,75% mas. nanočestica TiO_2 ;
- s povećanjem koncentracije nanočestica SiO_2 i TiO_2 smanjuje se čvrstoća gela isplaka pri 25°C i 50°C u odnosu na vrijednosti za osnovnu isplaku;
- dodavanjem do 1% mas. nanočestica SiO_2 i TiO_2 povećava se 30-min API filtracija isplake za 4 do 10%;
- isplake s nanočesticama SiO_2 imaju za 20-25%, a isplake s nanočesticama TiO_2 imaju za 5 do 10% deblji isplačni oblog od obloga osnovne isplake.

Prikazana ispitivanja su provedena sa samo jednim tipom isplake vrlo jednostavnog sastava. Zbog toga su neophodna opsežnija ispitivanja isplaka drugačijih sastava i s većim udjelom nanočestica kako bi se točnije procijenila učinkovitost dodavanja nanočestica u isplaku i njihova eventualna primjena u praksi.