

Utvrđivanje utjecaja veličine čestica praha kore mandarine na poboljšanje svojstva isplake

Nevistić, Doris

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:332122>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-13**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Prije diplomski studij naftnog rudarstva

**UTVRĐIVANJE UTJECAJA VELIČINE ČESTICA PRAHA KORE MANDARINE
NA POBOLJŠANJE SVOJSTVA ISPLAKE**

Završni rad

Doris Nevistić

N4554

Zagreb, 2024.

UTVRĐIVANJE UTJECAJA VELIČINE ČESTICA PRAHA KORE MANDARINE NA POBOLJŠANJE
SVOJSTVA ISPLAKE

Doris Nevistić

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Isplaka je jedan od ključnih elemenata u procesu izrade bušotine te je potrebno pravilno odabrati tip i svojstva isplake, ovisno o uvjetima pri izradi kanala bušotine, kako bi mogla ispuniti svoje zadatke. Proteklih godina se sve više istražuje mogu li se konvencionalni aditivi zamijeniti s biorazgradivim materijalima koji imaju manji utjecaj na okoliš te su sigurniji za upotrebu. U ovom je radu kao biorazgradivi materijal i potencijalni aditiv korišten prah kore mandarine veličine čestica od 0,1 do 0,5 mm te od 0,5 do 0,8 mm. Cilj istraživanja bilo je utvrđivanje maksimalne količine i veličine čestica praha kore mandarine koja pozitivno utječe na svojstva isplake. Prah se dodavao u isplaku na bazi vode u četiri koncentracije: 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L i 20 g/L, a mjerena su reološka (plastična i prividna viskoznost, naprezanje pri pokretanju, čvrstoća gela) i filtracijska svojstva isplake na bazi vode.

Ključne riječi: isplaka na bazi vode, biorazgradivi otpad, prah kore mandarine, filtracija, reološka svojstva

Završni rad sadrži: 28 stranica, 10 tablica, 12 slika i 19 referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNf-a

Komentor: Dr. sc. Igor Medved, poslijedoktorant RGNf-a

Ocjenjivači: Dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNf-a
Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica u trajnom zvanju RGNf-a
Dr. sc. Gordana Bilić, izvanredna profesorica RGNf-a

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA	III
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA	IV
1. UVOD	1
2. FIZIKALNA SVOJSTVA ISPLAKE	5
2.1. Reološka svojstva	5
2.1.1. Viskoznost	5
2.1.2. Naprežanje pri pokretanju	6
2.1.3. Čvrstoća gela	7
2.2. Filtracija	7
3. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA	8
3.1. Priprema isplake	8
3.2. Laboratorijski uređaji	12
3.2.1. Fann – viskozimetar	12
3.2.2. API filter preša	13
4. REZULTATI MJERENJA	15
4.1. Reološka svojstva	15
4.2. Filtracija	20
5. ZAKLJUČAK	25
6. LITERATURA	26

POPIS SLIKA

Slika 3- 1. Sita korištena za prosijavanje uzorka praha kore mandarine.....	9
Slika 3- 2. Mješavina A čestica praha kore mandarine u rasponu promjera od 0,1 do 0,5 mm	10
Slika 3- 3. Mješavina B čestica praha kore mandarine u rasponu promjera od 0,5 do 0,8 mm	10
Slika 3- 4. Fann – viskozimetar	13
Slika 3- 5. API filter preša	14
Slika 4- 1. Vrijednosti plastične viskoznosti.....	18
Slika 4- 2. Vrijednosti prividne viskoznosti	18
Slika 4- 3. Vrijednosti naprezanja pri pokretanju.....	19
Slika 4- 4. Vrijednosti čvrstoće početnog gela	19
Slika 4- 5. Vrijednosti čvrstoće 10-minutnog gela	20
Slika 4- 6. Usporedba filtracije isplaka s različitim koncentracijama mješavine A praha kore mandarine i osnovne isplake	22
Slika 4- 7. Usporedba filtracije isplaka s različitim koncentracijama mješavine B praha kore mandarine i osnovne isplake	23

POPIS TABLICA

Tablica 1- 1. Biorazgradivi materijali i njihov utjecaj na svojstva isplake	2
Tablica 3- 1. Sastav isplake s različitim koncentracijama mješavine A.....	11
Tablica 3- 2. Sastav isplake s različitim koncentracijama mješavine B.....	12
Tablica 4- 1. Rezultati mjerenja Fann – viskozimetrom (mješavina A).....	15
Tablica 4- 2. Rezultati mjerenja Fann – viskozimetrom (mješavina B).....	15
Tablica 4- 3. Izračunata reološka svojstva (mješavina A).....	16
Tablica 4- 4. Izračunata reološka svojstva (mješavina B).....	17
Tablica 4- 5. Rezultati mjerenja filtracije na API filter preši (mješavina A)	21
Tablica 4- 6. Rezultati mjerenja filtracije na API filter preši (mješavina B).....	21
Tablica 4- 7. Krajnje postotno smanjenje filtracije u odnosu na osnovnu isplaku.....	24

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH SI JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
μ_p	Pa·s	plastična viskoznost
τ_{1020}	Pa	smično naprezanje pri smičnoj brzini 1020 s ⁻¹
τ_{510}	Pa	smično naprezanje pri smičnoj brzini 510 s ⁻¹
μ_a	Pa·s	prividna viskoznost
τ_0	Pa	naprezanje pri pokretanju

1. UVOD

Isplaka je jedan od ključnih elemenata u procesu izrade bušotina. Neke od njezinih mnogobrojnih uloga su: hlađenje i podmazivanje alatki u bušotini, uklanjanje krhotina nabušenih stijena iz kanala bušotine, ostvarivanje potrebnog protutlaka na stijenke kanala bušotine, stabilizacija bušotine (sprječavanje bubrenja i zarušavanja nabušenih naslaga), oblaganje propusnih i šupljikavih stijena isplačnim oblogom, zadržavanje u stanju lebdenja krhotina koje se nakon prekida cirkulacije isplake zateknu u kanalu bušotine, smanjenje potrebne snage za spuštanje i podizanje bušačkih alatki te ugradnju zaštitnih cijevi, sprječavanje dotoka vode, plina ili nafte u bušotinu, povećanje mehaničke brzine (napretka) bušenja itd. (Gaurina-Međimurec, 2009)

Isplaka se sastoji od baznog fluida kojemu se dodaju razni aditivi koji poboljšavaju njezina fizikalno-kemijska svojstva. S obzirom na vrstu baznog fluida isplake se dijele na (Gaurina-Međimurec, 2020):

- isplake na bazi vode,
- isplake na bazi ulja,
- sintetičke isplake i
- plinovite medije.

Sastav i svojstva isplake trebaju odgovarati uvjetima u kanalu bušotine, sastavu i svojstvima stijena koje se buše, dok sama isplaka treba biti ekonomski i ekološki prihvatljiva. Upravo zbog visoke toksičnosti i lošeg utjecaja na okoliš isplaka na bazi ulja, sve više se koriste konvencionalne isplake na bazi vode. One se sastoje od slatke ili slane vode, aktivnih koloidnih čestica, inertnih čestica i vodotopivih aditiva. Većina aditiva djeluje na isplaku na više načina, odnosno imaju primarne i sekundarne funkcije i koriste se u malim količinama u odnosu na bazni fluid. S obzirom na njihovu funkciju postoje (Gaurina-Međimurec, 2020):

- aditivi za povećanje viskoznosti – viskoziferi (biopolimeri: XC, welan, diutan, guar guma),
- dispergatori (razrjeđivači – stari naziv, deflokulatori) (polifosfati, tanini, lignini, lignosulfonati),
- aditivi za smanjenje filtracije (škrob, smole, polianionska celuloza (PAC), Na-CMC, Na-poliakrilat),
- podmazivači, deterdženti, emulgatori, PAT-i,

- materijali za zatvaranje mjesta gubljenja isplake (engl. *Lost Circulation Materials*, LCM) (mljevene orahove ljuske, liskuni (tinjci), suhi repini rezanci, celofanski listići, mljeveni CaCO₃ i dr.),
- inhibitori korozije i dr.

Nažalost, većina ovih aditiva ima negativan utjecaj na okoliš zbog svoje toksičnosti, kao na primjer natrijev hidroksid, kalijev klorid, kalijev sulfat, poliamin, razrjeđivači koji sadrže krom i dodatke za smanjenje gubitka fluida itd. (Amanullah, 2007), a uz to su i jako skupi što direktno utječe na cijenu jediničnog volumena pripremljene isplake. Zbog navedenih razloga razvila se potreba za upotrebom aditiva koji su biorazgradivi poput ostataka hrane umjesto konvencionalnih kemijskih aditiva slabije razgradivosti. Osim navedenih prednosti nad komercijalnih aditivima, biorazgradivi materijali se razgrađuju prirodnim procesima i ne ostavljaju štetne ostatke u okolišu čime se smanjuje zagađenje tla i vode, podržavaju održivi razvoj u naftnoj industriji, niži su troškovi zbrinjavanja jer ne zahtijevaju specijalizirane metode za zbrinjavanje opasnog otpada te povećavaju sigurnost na radnom mjestu. Ostaci hrane dostupni su u cijelom svijetu u velikim količinama pa su i jeftiniji od komercijalnih kemijskih aditiva. Već su provedena mnoga istraživanja kojima je utvrđeno da pozitivan utjecaj na svojstva isplake imaju kora od banane, kora od krumpira, šećerna trska, rižina ljuska, komina masline, kora od mandarine, klip kukuruza, ljuska od jajeta te mnogi drugi. U Tablici 1-1 su prikazani neki od biorazgradivih materijala koji su korišteni u dosadašnjim istraživanjima kao potencijalni aditivi u isplaci te njihov utjecaj na svojstva isplake.

Tablica 1- 1. Biorazgradivi materijali i njihov utjecaj na svojstva isplake

Autor(i), godina	Biorazgradivi materijal	Svojstva materijala
Iranwan et al., 2009	klip kukuruza i šećerna trska	povećanje plastične viskoznosti
Okon et al., 2014	rižina ljuska	smanjenje filtracije
Nmegbu et al., 2014	klip kukuruza	povećanje gustoće i smanjenje filtracije
Dagde i Nmegbu, 2014	ljuska kikirikija	smanjenje filtracije
Ghazali et al., 2015	kukuruzni škrob	smanjenje filtracije
Nyeche et al., 2015	krumpirov škrob	smanjenje filtracije

Autor(i), godina	Biorazgradivi materijal	Svojstva materijala
Adebowale i Raji, 2015	kora banane	kontroliranje korozije i poboljšanje pH vrijednosti
Hossain i Wajheeuddin, 2016	trava	poboljšanje reoloških svojstava i smanjenje filtracije
Amanullah et al., 2016	sjemenka datulje	smanjenje filtracije
Al-Saba et al., 2018	kora nara	smanjenje filtracije
	šćerna trska	poboljšanje reoloških svojstava i smanjenje filtracije
	kokosova ljuska	poboljšanje reoloških svojstava i smanjenje filtracije
Al-Hameedi et al., 2019a, 2019b i 2020a	kora krumpira	povećanje plastične viskoznosti i smanjenje filtracije
	kora mandarine	poboljšanje reoloških svojstava i smanjenje filtracije
	palmini listovi	povećanje plastične viskoznosti i smanjenje filtracije
	koštice masline	poboljšanje reoloških svojstava i smanjenje filtracije
Ghaderi et al., 2020	ljubičaste latice šafrana	poboljšanje reoloških svojstava i smanjenje filtracije

Autor(i), godina	Biorazgradivi materijal	Svojstva materijala
Al-Hameedi et al., 2020b	ljuska jajeta	poboljšanje reoloških svojstava i smanjenje filtracije

Medved i suradnici (2022a) dokazali su da pozitivan utjecaj praha kore mandarine na svojstva isplake uvelike ovisi o samoj veličini čestica, odnosno bolji utjecaj na svojstva isplake ima prah kore mandarine veličine čestica od 0,1 do 0,16 mm nego onaj sa česticama manjima od 0,1 mm. U okviru ovog završnog rada provedeno je ispitivanje kolika je maksimalna veličina čestica toga praha koja kada se doda u isplaku u određenim koncentracijama ima pozitivan utjecaj na svojstva isplake.

2. FIZIKALNA SVOJSTVA ISPLAKE

U ovom radu mjerena su reološka svojstva isplake, odnosno viskoznost, naprezanje pri pokretanju i čvrstoća gela, te filtracija isplaka na bazi vode u koju je kao potencijalni aditiv dodan prah kore mandarine određene veličine čestica.

2.1. Reološka svojstva

Reološka svojstva isplake utječu na sigurnost, efikasnost i ekonomičnost bušenja te stoga imaju ključnu ulogu u procesu bušenja. Odnose se na ponašanje fluida pod utjecajem vanjske sile, a uključuju viskoznost, naprezanje pri pokretanju i čvrstoću gela. Optimizirana reološka svojstva povećavaju efikasnost bušenja na način da pomažu u kontroli tlaka u bušotini, stabilizaciji stijenci kanala bušotine i iznošenju krhotina iz bušotine te posljedično smanjuju troškove izrade kanala bušotine. Navedeno se postiže dodavanjem adekvatnih aditiva i kontrolom temperature te je iznimno važno da se ovi podaci kontinuirano prate tijekom bušenja kako bi se pravovremeno reagiralo na njihove promjene.

2.1.1. Viskoznost

Viskoznost je mjera unutarnjeg otpora fluida prema tečenju, odnosno ona određuje kako lako ili teško fluid teče. Fluidi s visokom viskoznošću teku sporije i s više otpora, a fluidi s niskom viskoznošću teku brže i s manje otpora. Viskoznost isplake ključna je za učinkovito uklanjanje krhotina iz bušotine i za stabilizaciju bušotine, a ovisi o temperaturi, sadržaju čvrstih čestica u isplaci, veličini krhotina nabušenih stijena, gustoći isplake, prisutnosti različitih kemijskih reagensa i čvrstoći gela. Postoje različite vrste viskoznosti, a za isplaku su bitne Marshova, plastična i prividna viskoznost. Marshova viskoznost mjeri se s Marshovim lijevkom, a plastična i prividna se računaju na temelju podataka koji se dobiju mjerenjem smičnog naprezanja pri različitim smičnim brzinama pomoću Fann-viskozimetra. Plastična viskoznost je fizikalna veličina kojom se opisuje svojstvo fluida da se opire različitim brzinama strujanja, tj. unutarnje trenje među slojevima fluida. Pokretljiviji fluidi imaju manju plastičnu viskoznost, koja ovisi o sastavu isplake, temperaturi, gustoći i koncentraciji čvrstih čestica u isplaci i brzini smicanja. Mjerna jedinica plastične viskoznosti je paskalsekunda (Pas), a računa se prema sljedećem izrazu (Gaurina-Međimurec, 2020):

$$\mu_p = \frac{\tau_{1020} - \tau_{510}}{1020 - 510}, (Pa \cdot s) \quad (2-1.)$$

Gdje su: μ_p - plastična viskoznost, Pa·s

τ_{1020} - smično naprezanje pri smičnoj brzini 1020 s⁻¹, Pa

τ_{510} - smično naprezanje pri smičnoj brzini 510 s⁻¹, Pa

Prividna viskoznost omjer je smičnog naprezanja i brzine smicanja pri određenoj brzini smicanja u slučaju isplake to je najčešće smična brzina od 1020 s⁻¹. Dakle računa se prema sljedećem izrazu (Gaurina-Međimurec, 2020):

$$\mu_a = \frac{\tau_{1020}}{1020}, (Pa \cdot s) \quad (2-2.)$$

Gdje su: μ_a - prividna viskoznost, Pa·s

τ_{1020} - smično naprezanje pri smičnoj brzini 1020 s⁻¹, Pa

2.1.2. Naprezanje pri pokretanju

Naprezanje pri pokretanju, poznato i kao granica popuštanja, odnosi se na minimalnu vrijednost naprezanja koju je potrebno primijeniti da bi fluid prešao iz stanja mirovanja u stanje gibanja. Kada isplaka miruje, privlačne i odbojne sile čvrstih čestica u isplaci nalaze se u ravnoteži i o veličini tih sila ovisi koliko naprezanje treba primijeniti da isplaka počne teći. Za izračun se koristi sljedeća formula (Gaurina-Međimurec, 2020):

$$\tau_0 = \tau_{1020} - 2(\tau_{1020} - \tau_{510}), (Pa) \quad (2-3.)$$

Gdje su: τ_0 - naprezanje pri pokretanju, Pa

τ_{1020} - smično naprezanje pri smičnoj brzini 1020 s⁻¹, Pa

τ_{510} - smično naprezanje pri smičnoj brzini 510 s⁻¹, Pa

2.1.3. Čvrstoća gela

Kada dođe do prekida cirkulacije isplake, čvrste čestice se nastavljaju kretati sve dok ne zauzmu položaj u kojem postoji ravnoteža između privlačnih i odbojnih sila čvrstih čestica i tekućine. Čvrstoća gela mjera je sile potrebne za prekidanje strukture gela koja se formira kada isplaka miruje, a ovisi o silama između čvrstih čestica i tekuće faze u isplaci. Određuje se viskozimetrom ili smikmetrom na način da se izvode dva mjerenja: odmah nakon prestanka cirkulacije isplake, odnosno nakon 10 sekundi, i nakon što je isplaka mirovala 10 minuta. Poželjno je da početna čvrstoća gela iznosi od 0,5 do 1,0 Pa zbog što lakšeg uklanjanja krhotina ili plina iz isplake na površini te zbog smanjenja tlaka na dno bušotine. Čvrstoća 10-minutnog gela bi trebala biti od 5 do 10 Pa kako bi isplaka mogla prilikom mirovanja zadržati čvrste čestice u stanju lebdenja, odnosno spriječiti njihovo taloženje (Gaurina-Međimurec, 2009).

2.2. Filtracija

Filtracija se odnosi na izdvajanje tekuće faze iz isplake kroz porozni medij (poroznu stijenu) do kojeg dolazi zbog djelovanja razlike tlaka u bušotini i slojnog tlaka. To je jedno od najvažnijih fizikalnih svojstava isplake jer utječe na brzinu bušenja, stabilnost stijenki kanala bušotine i zagađenje proizvodnih zona. Za određivanje filtracije koriste se API filter preša i HT-HP filter preša. Tekuća faza koja prodre u stijenu naziva se filtrat, a čestice koje su veće od pora stijene formiraju isplačni oblog na stijenci kanala. Taj oblog bi trebao biti što tanji, nepropusniji i žilaviji. Filtracija ovisi o sastavu isplake, gustoći, temperaturi, diferencijalnom tlaku i vremenu. Preporučena vrijednost filtracije mjerene API filter prešom nakon 30 minuta je od 5 do 10 mL (Gaurina-Međimurec, 2009).

3. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

Sva mjerenja u okviru ovog završnog rada obavljena su u Laboratoriju za bušotinske fluide na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu, Sveučilišta u Zagrebu. Radilo se sa dvije skupine veličina čestica praha kore mandarine, od 0,1 do 0,5 mm te od 0,5 do 0,8 mm koje su dodavane u isplaku u četiri različite koncentracije 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L i 20 g/L.

3.1. Priprema isplake

Kora mandarine je prvo stavljena u sušionik kako bi se dehidrirala, odnosno iz nje uklonila sva vlaga. Nakon sušenja usitnjena je u blenderu, a zatim prosijana. Kod prosijavanja, za ovo istraživanje korištena su tri sita veličine otvora 0,10 mm, 0,50 mm i 0,80 mm (Slika 3-1). Tako su dobivene dvije mješavine čestica kore mandarine različitih promjera: mješavina A - veličine čestica od 0,1 do 0,5 mm (Slika 3-2) i mješavina B - veličine čestica od 0,5 do 0,8 mm (Slika 3-3).



Slika 3- 1. Sita korištena za prosijavanje uzorka praha kore mandarine



Slika 3- 2. Mješavina A čestica praha kore mandarine u rasponu promjera od 0,1 do 0,5 mm



Slika 3- 3. Mješavina B čestica praha kore mandarine u rasponu promjera od 0,5 do 0,8 mm

U okviru ovoga rada provedena su ispitivanja na bentonitnim isplakama na bazi vode u koje je dodana svaka od frakcija u različitim koncentracijama. Koncentracije praha kore mandarine korištene u ovom ispitivanju su 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L i 20 g/L. Osim praha kore mandarine, za pripremu bentonitne isplake korišteni su bentonit i natrijev hidroksid čije su koncentracije bile jednake u svim ispitivanim isplakama. Sastavi korištenih isplaka prikazani su u Tablici 3-1 i Tablici 3-2, gdje OI predstavlja osnovnu isplaku koja ne sadrži prah kore mandarine. Određivana su reološka svojstva, odnosno plastična i prividna viskoznost, naprezanje pri pokretanju i čvrstoća gela, te filtracijska svojstva. Svi uzorci isplaka su pripremljeni i ispitivani u skladu sa standardima Američkog instituta za naftu (engl. *API Spec 13A i API RP 13B-1*).

Tablica 3- 1. Sastav isplake s različitim koncentracijama mješavine A

Sastav	OI	A1	A2	A3	A4
Voda (mL)	1000	1000	1000	1000	1000
Bentonit (g)	60	60	60	60	60
NaOH (g)	1	1	1	1	1
Prah kore mandarine (g)	/	5	10	15	20

Tablica 3- 2. Sastav isplake s različitim koncentracijama mješavine B

Sastav	OI	B1	B2	B3	B4
Voda (mL)	1000	1000	1000	1000	1000
Bentonit (g)	60	60	60	60	60
NaOH (g)	1	1	1	1	1
Prah kore mandarine (g)	/	5	10	15	20

3.2. Laboratorijski uređaji

U nastavku su kratko opisani laboratorijski uređaji koji su korišteni za mjerenje viskoznosti, naprezanja pri pokretanju, čvrstoće gela i filtracije.

3.2.1. Fann – viskozimetar

Fann - viskozimetar (Slika 3-4) je laboratorijski uređaj koji se koristi za mjerenje reoloških svojstava bušaćih fluida. Rotacijskog je tipa i pogonjen je dvobrzinskim sinhronim elektromotorom kojim se postižu smične brzine od $5,1 \text{ s}^{-1}$, $10,2 \text{ s}^{-1}$, 170 s^{-1} , 340 s^{-1} , 510 s^{-1} i 1020 s^{-1} . Glavni dijelovi Fann –viskozimetra su postolje, elektromotor, mjenjačka kutija, brojčanik, bob (unutarnji puni valjak), rotor (vanjski cilindar) i čaša. Tijekom mjerenja isplaka se nalazi u prstenastom prostoru između dva cilindra. Rotor ili vanjski cilindar se vrti konstantnom brzinom koja se podesi na uklopniku na postolju i dugmetu mijenjačke kutije. Svojom vrtnjom stvara torzijsko naprezanje koje se preko isplake prenosi na unutarnji cilindar ili bob. On je povezan s torzijskom oprugom koja se opire njegovom zakretanju. Na kraju se na brojčaniku očita ostvareno zakretanje boba što predstavlja smično naprezanje u $\text{lb}/100\text{ft}^2$. Dobivene vrijednosti se koriste za izračun prividne i plastične viskoznosti, naprezanja pri pokretanju i čvrstoće gela.



Slika 3- 4. Fann – viskozimetar

3.2.2. API filter preša

API filter preša (Slika 3-5) je laboratorijski uređaj koji se koristi za mjerenje filtracijskih karakteristika bušaćih fluida. Sastoji se od ćelije za isplaku, graduirane menzure za hvatanje i mjerenje filtrata, okvirnog nosača s T-vijkom i regulacijskog ventila s manometrima. Ćelija, u kojoj se nalazi isplaka tijekom mjerenja, se sastoji od cilindra, poklopca, sita, osnove s rupom i gumenih brtvila. Filtrira se kroz list čvrstog filter papira tipa Whatman No. 50 pri sobnoj temperaturi i tlaku od 700 kPa (7 bar) koji se ostvaruje preko regulacijskog ventila komprimiranim dušikom, zrakom ili ugljikovim dioksidom. Mjeri se volumen filtrata u mL svakih 2,5 minuta, a vrijednost nakon 30 minuta predstavlja API filtraciju isplake. Na filter papiru ostaje isplačni oblog čija se debljina izmjeri na kraju mjerenja.



Slika 3- 5. API filter preša

4. REZULTATI MJERENJA

U nastavku ovog poglavlja prikazani su rezultati provedenih laboratorijskih ispitivanja.

4.1. Reološka svojstva

U Tablicama 4-1 i 4-2 prikazani su rezultati mjerenja Fann – viskozimetrom, odnosno vrijednosti smičnog naprezanja pri smičnim brzinama 1200, 510, 340, 170, 10,2 i 5,1 s⁻¹, za isplake čiji su sastavi navedeni u Tablicama 3-1 i 3-2. Za isplake s frakcijom B navedene su približne vrijednosti jer se kazaljka na Fann - viskozimetru nije mogla stabilizirati tijekom mjerenja, što je osnovni preduvjet za točno očitavanje podataka.

Tablica 4- 1. Rezultati mjerenja Fann – viskozimetrom (mješavina A)

Smična brzina (s ⁻¹)	OI	A1	A2	A3	A4
	Smično naprezanje (Pa)				
1200	13,26	20,40	20,91	22,95	33,15
510	9,69	16,32	15,81	17,34	20,91
340	8,16	14,79	14,79	16,32	15,81
170	6,12	13,26	12,24	14,79	10,71
10,2	3,57	9,69	9,69	10,20	3,57
5,1	3,06	9,69	9,18	7,65	3,06

Tablica 4- 2. Rezultati mjerenja Fann – viskozimetrom (mješavina B)

Smična brzina (s ⁻¹)	OI	B1	B2	B3	B4
	Smično naprezanje (Pa)				
1200	13,26	17,34	17,85	23,97	30,60
510	9,69	12,75	16,83	16,83	28,05
340	8,16	12,24	15,30	12,75	25,50
170	6,12	10,71	12,75	7,65	22,95
10,2	3,57	9,69	7,65	5,10	12,75
5,1	3,06	7,65	6,12	4,08	8,67

Na temelju dobivenih podataka u prethodnim tablicama koristeći ranije navedene jednadžbe, izračunate su plastična viskoznost, prividna viskoznost, naprezanje pri pokretanju i čvrstoća gela, a rezultati su prikazani u Tablicama 4-3 i 4-4.

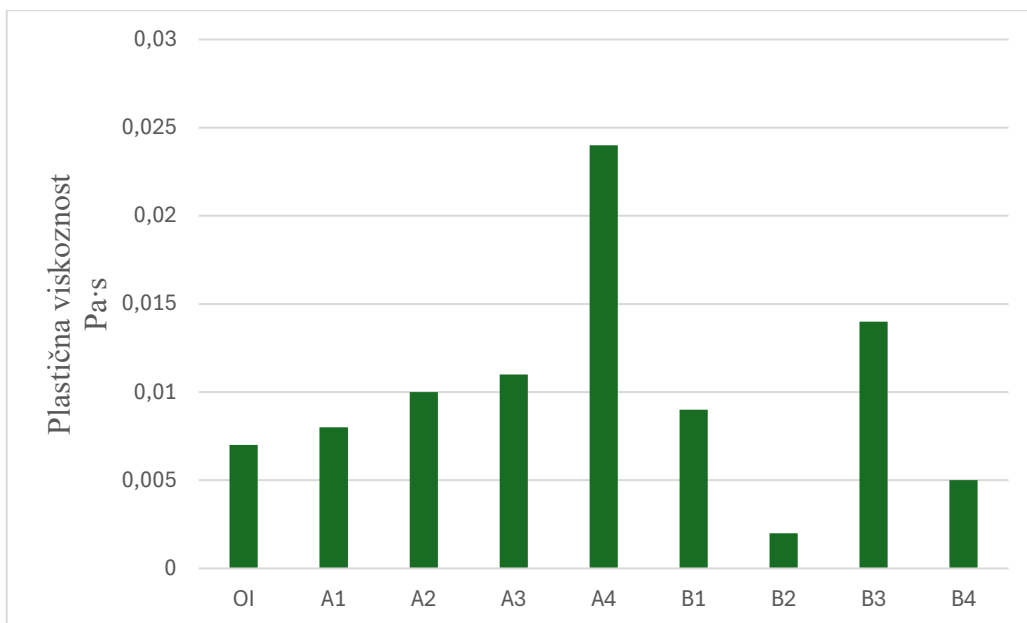
Tablica 4- 3. Izračunata reološka svojstva (mješavina A)

Reološko svojstvo	OI	A1	A2	A3	A4
Plastična viskoznost (Pa·s)	0,007	0,008	0,010	0,011	0,024
Prividna viskoznost (Pa·s)	0,0130	0,0200	0,0205	0,0225	0,0325
Naprezanje pri pokretanju (Pa)	6,12	12,24	10,71	11,73	8,67
Gel 10 s (Pa)	5,10	14,79	11,22	12,24	5,61
Gel 10 min (Pa)	16,32	25,50	17,34	18,36	19,38

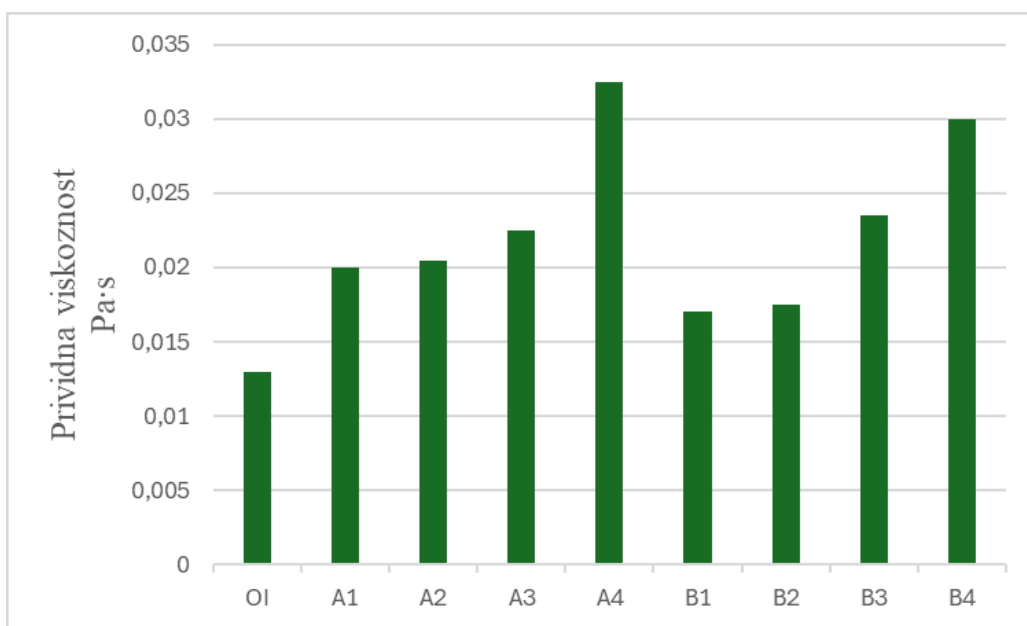
Tablica 4- 4. Izračunata reološka svojstva (mješavina B)

Reološko svojstvo	OI	B1	B2	B3	B4
Plastična viskoznost (Pa·s)	0,007	0,009	0,002	0,014	0,005
Prividna viskoznost (Pa·s)	0,0130	0,0170	0,0175	0,0235	0,0300
Naprezan je pri pokretanju (Pa)	6,12	8,16	15,81	9,69	25,50
Gel 10 s (Pa)	5,10	9,69	9,18	6,63	13,77
Gel 10 min (Pa)	16,32	15,30	15,30	13,26	15,30

Na Slikama 4-1 i 4-2 grafički su prikazane izračunate vrijednosti prividnih i plastičnih viskoznosti ispitanih isplaka. Iz grafova se može vidjeti da dodavanjem praha kore mandarine u sve četiri koncentracije i obje veličine dolazi do povećanja prividne i plastične viskoznosti u odnosu na osnovnu isplaku. Jedina su iznimka isplake B2 i B4 kod kojih je došlo do smanjenja plastične viskoznosti. Najveća plastična i prividna viskoznost izmjerene su kod isplake A4 koja je sadržavala 20 g/L praha kore mandarine veličine čestica od 0,1 do 0,5 mm.

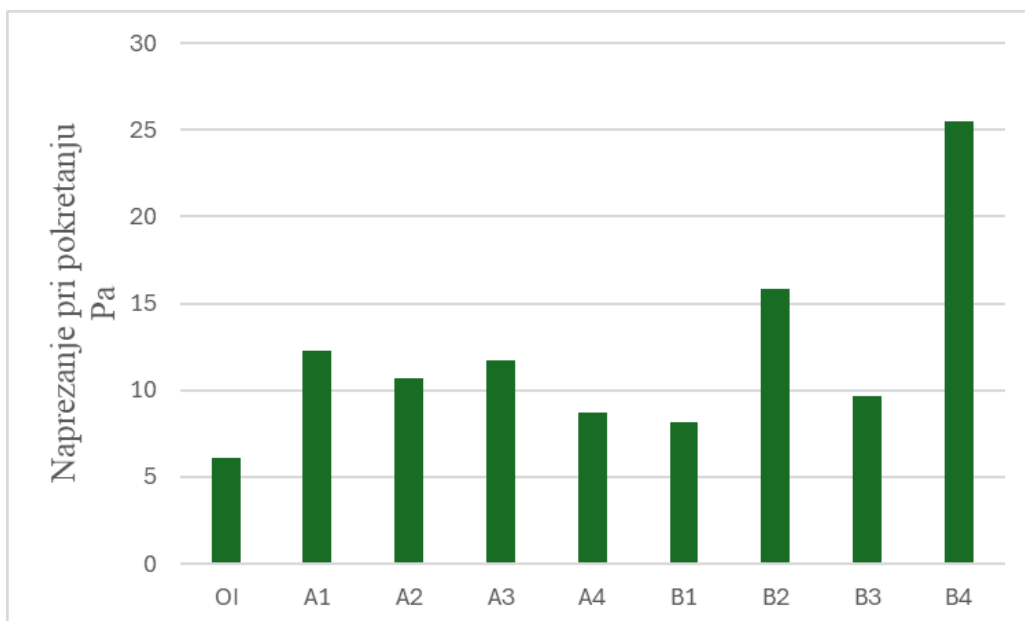


Slika 4- 1. Vrijednosti plastične viskoznosti



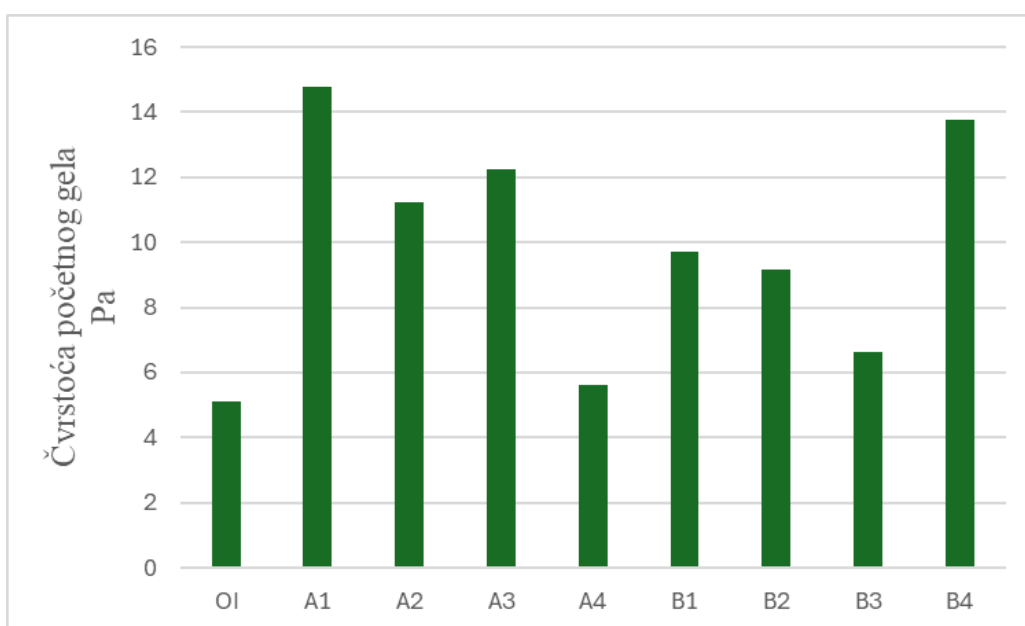
Slika 4- 2. Vrijednosti prividne viskoznosti

Usporedba izračunatih vrijednosti naprezanja pri pokretanju je grafički prikazana na Slici 4-3. Dodavanjem praha kore mandarine u isplaku uočeno je da dolazi do povećanja naprezanja pri pokretanju u odnosu na osnovnu isplaku. Najveće naprezanje pri pokretanju ima isplaka B4 koja sadrži 20 g/L praha kore mandarine veličine čestica od 0,5 do 0,8 mm, kod koje je došlo do povećanja od čak 4,17 puta u odnosu na osnovnu isplaku.

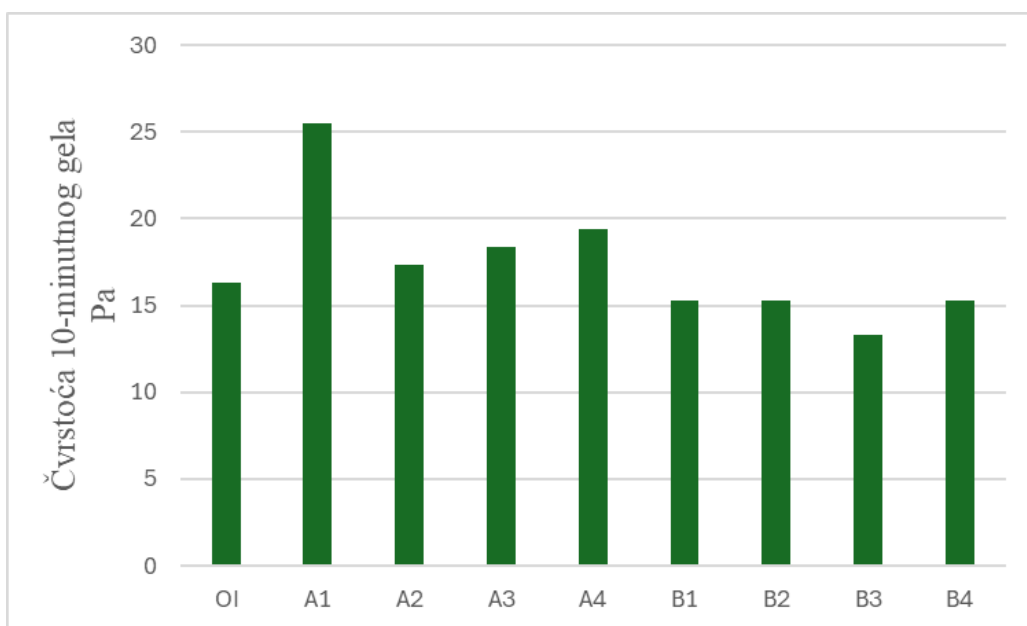


Slika 4- 3. Vrijednosti naprezanja pri pokretanju

Na Slikama 4-4 i 4-5 prikazane su usporedbe vrijednosti čvrstoća početnih gelova te 10-minutnih gelova ispitanih isplaka. Vidljivo je da svaka ispitana isplaka ima veću čvrstoću početnog gela od osnovne isplake, a najveća vrijednost zabilježena je kod isplake A1 (za 2,9 puta veća nego kod osnovne isplake). Najmanju čvrstoću 10-minutnog gela imala je isplaka B3 te je iznosila 81 % vrijednosti izmjerene kod osnovne isplake, a najveća je opet bila kod isplake A1 koja je bila za 56 % veća od osnovne isplake.



Slika 4- 4. Vrijednosti čvrstoće početnog gela



Slika 4- 5. Vrijednosti čvrstoće 10-minutnog gela

4.2. Filtracija

U Tablicama 4-5 i 4-6 prikazani su rezultati mjerenja filtracije isplaka ranije navedenih sastava na API filter preši.

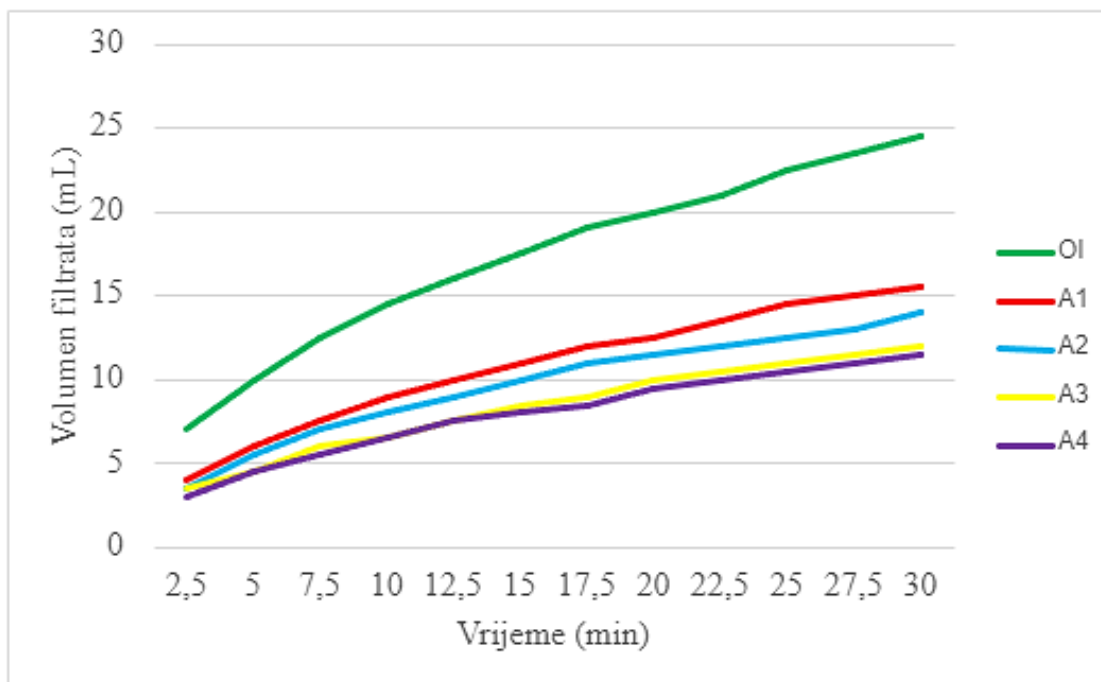
Tablica 4- 5. Rezultati mjerenja filtracije na API filter preši (mješavina A)

Vrijeme (min)	OI	A1	A2	A3	A4
	API filtracija (mL)				
2,5	7	4	3,5	3,5	3
5	10	6	5,5	4,5	4,5
7,5	12,5	7,5	7	6	5,5
10	14,5	9	8	6,5	6,5
12,5	16	10	9	7,5	7,5
15	17,5	11	10	8,5	8
17,5	19	12	11	9	8,5
20	20	12,5	11,5	10	9,5
22,5	21	13,5	12	10,5	10
25	22,5	14,5	12,5	11	10,5
27,5	23,5	15	13	11,5	11
30	24,5	15,5	14	12	11,5

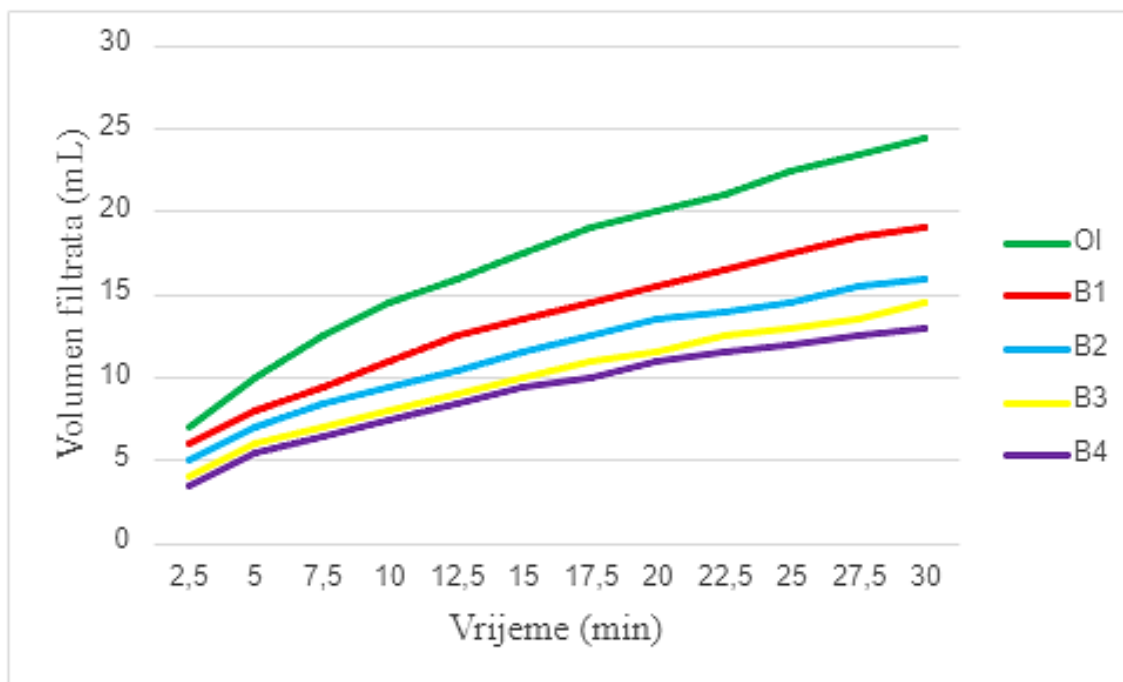
Tablica 4- 6. Rezultati mjerenja filtracije na API filter preši (mješavina B)

Vrijeme (min)	OI	B1	B2	B3	B4
	API filtracija (mL)				
2,5	7	6	5	4	3,5
5	10	8	7	6	5,5
7,5	12,5	9,5	8,5	7	6,5
10	14,5	11	9,5	8	7,5
12,5	16	12,5	10,5	9	8,5
15	17,5	13,5	11,5	10	9,5
17,5	19	14,5	12,5	11	10
20	20	15,5	13,5	11,5	11
22,5	21	16,5	14	12,5	11,5
25	22,5	17,5	14,5	13	12
27,5	23,5	18,5	15,5	13,5	12,5
30	24,5	19	16	14,5	13

Na temelju podataka iz Tablica 4-5 i 4-6 može se zaključiti da dodavanjem bilo koje količine te bilo koje veličine praha kore mandarine dolazi do poboljšanja filtracijskih svojstava u odnosu na osnovnu isplaku. Na Slikama 4-6 i 4-7 grafički je prikazan odnos promjena vrijednosti filtracije ranije navedenih sastava isplaka u odnosu na osnovnu isplaku.



Slika 4- 6. Usporedba filtracije isplaka s različitim koncentracijama mješavine A praha kore mandarine i osnovne isplake



Slika 4- 7. Usporedba filtracije isplaka s različitim koncentracijama mješavine B praha kore mandarine i osnovne isplake

Volumen filtrata nakon 30-minutne filtracije osnovne isplake iznosi 24,5 mL. Dodavanjem mješavine A već u najmanjoj koncentraciji (5 g/L) došlo je do smanjenja volumena filtrata na 15,5 mL što je za 37 % manje nego kod osnovne isplake. Daljnjim povećanjem koncentracije mješavine A na 10 g/L i 15 g/L, dolazi do smanjenja filtracije za 43 % i 51 % u odnosu na osnovnu isplaku. Najveće smanjenje filtracije uočeno je kada je koncentracija mješavine A bila 20 g/L te je tada uočeno smanjenje volumena filtrata na 11,5 mL što je 53 % manje u odnosu na volumen filtrata osnovne isplake.

Isto tako je došlo do smanjenja filtracije dodavanjem mješavine B u koncentracijama 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L i 20 g/L. Volumen filtrata se redom smanjivao za 22 %, 35 %, 41 % i 47 %. Najbolji rezultati su opet ostvareni pri koncentraciji od 20 g/L kada je izmjeren volumen filtrata od 13 mL.

U Tablici 4-7 prikazana su krajnja postotna smanjenja volumena filtrata svih ispitanih isplaka u odnosu na osnovnu isplaku. Na temelju podataka iz tablice, vidljivo je da je najveće smanjenje kod isplake A4 odnosno pri koncentraciji 20 g/L praha kore mandarine veličine čestica od 0,1 do 0,5 mm.

Tablica 4- 7. Krajnje postotno smanjenje filtracije u odnosu na osnovnu isplaku

Isplaka	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4
Smanjenje filtracije, %	37	43	51	53	22	35	41	47

Debljina isplačnog obloga stvorenog na filter papiru kod osnovne isplake je bila 2 mm. Toliko je iznosila i za većinu ispitanih isplaka. Iznimka su isplake A1 i A4 kod kojih je debljina bila upola manja, odnosno svega 1 mm.

5. ZAKLJUČAK

U zadnjih nekoliko godina dolazi do primjene koncepta cirkularne ekonomije i u naftnoj industriji. Jedan od primjera je upotreba raznih biorazgradivih materijala umjesto konvencionalnih aditiva slabije razgradivosti. Biorazgradivi materijali imaju mnogo prednosti u odnosu na konvencionalne aditive, a neke od njih su manja cijena, veća sigurnost osoblja na radnom mjestu te manji utjecaj na okoliš. U ovome istraživanju se kao biorazgradivi materijal i potencijalni aditiv koristio prah kore mandarine za koji je otprije dokazano da pozitivno utječe na filtracijska svojstva isplake te se ispitivao utjecaj veličina čestica praha kore mandarine na poboljšanje svojstva isplake.

Laboratorijskim mjerenjima utvrđeno je da prah kore mandarine utječe na reološka i filtracijska svojstva isplake na bazi vode. Rezultati dobiveni testovima na API filter preši pokazuje da povećanjem koncentracije praha kore mandarine u isplaci dolazi do smanjenja filtracije. Najveće smanjenje filtracije imala je isplaka A4 koja je sadržavala 20 g/L čestica praha kore mandarine veličine čestica od 0,1 do 0,5 mm. Općenito, veće smanjenje filtracije je uočeno kod isplaka s prahom kore mandarine veličina čestica od 0,1 do 0,5 mm (mješavina A). Što se tiče reoloških svojstva, najveća plastična i prividna viskoznost izmjerene su kod isplake A4 koja je sadržavala 20 g/L praha kore mandarine veličine čestica od 0,1 do 0,5 mm, a najveće naprezanje pri pokretanju imala je isplaka B4 koja je sadržavala 20 g/L praha kore mandarine veličine čestica od 0,5 do 0,8 mm. Najveće vrijednosti čvrstoće gela izmjerene su kod isplake A1 kod koje je koncentracija praha kore mandarine veličine čestica od 0,1 do 0,5 mm 5 g/L. Prilikom mjerenja smičnog naprezanja isplaka s većim česticama (od 0,5 do 0,8 mm), uočeno je da kazaljka na Fann-viskozimetru titra i da se isplaka pjenu. Na temelju toga, može se zaključiti da čestice do veličine 0,5 mm daju i dalje dobre rezultate, a sve čestice većeg promjera od toga nije moguće upotrebljavati u operacijama bušenja.

6. LITERATURA

1. ADEBOWALE, A., RAJI, J., 2015. Local Content Supplements as an Alternative to Imported Corrosion Control Additives for Drilling Mud Treatment (A Case Study of the Use of Burnt Plantain and Banana Peels). Proceedings of the International Academic Conference for Sub-Sahara African Transformation and Development, vol 3
2. AL-HAMEEDI, A.T., AKINANI, H.H., DUNN-NORMAN, S., ALASHWAK, N.A., ALSHAMMARI, A.F., ALKHAMIS, M.M., ALBAZZAZ, H.W., MUTAR, R.A., ALSABA, M.T., 2019a. Environmental Friendly Drilling Fluid Additives: Can Food Waste Products Be Used as Thinners and Fluid Loss Control Agents for Drilling Fluid? Society of Petroleum Engineers, SPE Symposium: Asia Pacific Health, Safety, Security, Environment and Social Responsibility held in Kuala Lumpur, Malaysia
3. AL-HAMEEDI, A.T., ALKINANI H.H., DUNN-NORMAN, S., ALBAZZAZ, H.W., ALKHAMIS, M.M., 2019b. Insights into Eco-Friendly and Conventional Drilling Additives: Applications, Cost Analysis, Health, Safety, and Environmental Considerations; Society of Petroleum Engineers, SPE Symposium: Asia Pacific Health, Safety, Security, Environment and Social Responsibility held in Kuala Lumpur, Malaysia
4. AL-HAMEEDI, A.T.T., ALKINANI, H.H., DUNN-NORMAN, S., ALKHAMIS, M.M., FELIZ, J.D. 2020a. Full-set measurements dataset for a water-based drilling fluid utilizing biodegradable environmentally friendly drilling fluid additives generated from waste, Missouri University of Science and Technology, USA, 104945
5. AL-HAMEEDI, A.T.T., ALKINANI, H.H., DUNN.NORMAN, S., HAMOUD, Z.A., 2020b. Investigation Study of the Effectiveness of Eggshells Powder as a Multifunctional Eco-Friendly Additive in Water-Based Fluid. In 54th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, Golden, Colorado, USA
6. AL-SABA, M. T., AMADI, K. W., AL-HADRAMY, K. O., DUSHAISHI, M. F., AL-HAMEEDI, A., ALKINANI, H., 2018. Experimental Investigation of Bio-Degradable Environmental Friendly Drilling Fluid Additives Generated from Waste. In SPE International Conference on Health, Safety, Security, Environment, and Social Responsibility, Abu Dhabi, UAE

7. AMANULLAH, M., 2007. Screening and Evaluation of Some Environment-Friendly Mud Additives To Use in Water-Based Drilling Muds. E&P Environmental and safety conference, OnePetro. Galveston, Texas, USA
8. AMANULLAH, M., RAMASAMY, J., AL-ARFAJ, M.K., 2016. Application of an indigenous ecofriendly raw material as fluid loss additive. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 139
9. DAGDE, K.K, NMEGBU, C.G.J., 2014. Drilling fluid formulation using cellulose generated from groundnut husk. *International Journal of Advancements in Research & Technology*, Volume 3
10. GAURINA-MEĐIMUREC, N., 2009. *Bušotinski Fluidi i Isplaka – I dio: Zadaci isplake*, Zagreb
11. GAURINA-MEĐIMUREC, N. 2020. *Predavanje iz kolegija Bušotinski fluidi 1, interne neobjavljene skripte*
12. GHADERI, S., HADDADI, S.A., DAVOODI, S., ARJMAND, M. 2020. Application of sustainable saffron purple petals as an eco-friendly green additive for drilling fluids: A rheological, filtration, morphological, and corrosion inhibition study, *Journal of Molecular Liquids*, Volume 315
13. GHAZALI, N.A., ALIAS, N.H., MOHD, T.A.T., ADEIB, S.I., NOORSUHANA, M.Y., 2015. Potential of corn starch as fluid loss control agent in drilling mud. *Applied Mechanics and Materials*, Volumes 754-755
14. HOSSAIN, E., WAJHEEUDDIN, M., 2016. The use of grass as an environmentally friendly additive in water-based drilling fluids. *Journal of Petroleum Science*. Vol. 13
15. IRANWAN, S., AZMI, A.Z.A., SAAID, M., 2009. Corn Cobs and Sugar Cane Waste as a Viscosifier in Drilling Fluid, *Pertanika Journal of Science & Technology*
16. MEDVED, I., GAURINA-MEĐIMUREC, N., NOVAK MAVAR, K., MIJIĆ, P., 2022a. Waste mandarin peel as an eco-friendly water-based drilling fluid additive. *Energies*, 15(7), 2591
17. NMEGBU, C.G.J., BARI-AGARA, B. 2014. Evaluation of Corn Cob Cellulose and its Suitability for Drilling Mud Formulation, *Journal of Engineering Research and Applications* 2248-9622, Vol. 4
18. NYECHE, W., NMEGBU, J., IFEOMA, P., 2015. Drilling mud formulation using potato starch (*Ipomoea batatas*), *Journal of Engineering Research and Applications*

19. OKON, A.N., UDOH, F.D., BASSEY, P.G., 2014. Evaluation of Rice Husk as Fluid Loss Control Additive in Water-Based Drilling Mud, SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.

Doris Nevistić

Doris Nevistić



KLASA: 602-01/24-01/120
URBROJ: 251-70-12-24-2
U Zagrebu, 03. 09. 2024.

Doris Nevistić, studentica

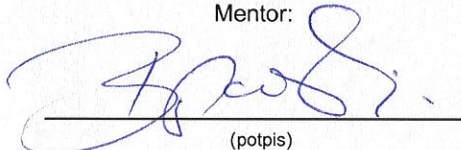
RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/120, URBROJ: 251-70-12-24-1 od 27.06.2024. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

UTVRĐIVANJE UTJECAJA VELIČINE ČESTICA PRAHA KORE MANDARINE NA POBOLJŠANJE SVOJSTVA ISPLAKE

Za mentora ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Izv. prof. dr. sc. Borivoje Pašić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentora Dr. sc. Igor Medved.

Mentor:

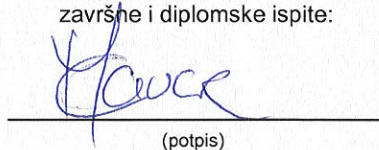


(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje Pašić

(titula, ime i prezime)

Predsjednica povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

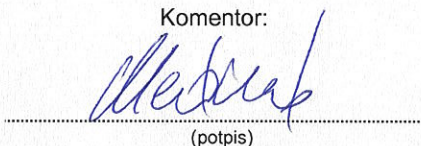


(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Karolina
Novak Mavar

(titula, ime i prezime)

Komentor:

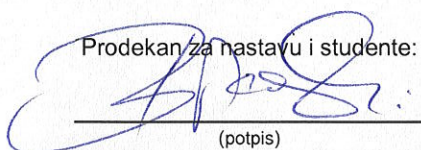


(potpis)

Dr. sc. Igor Medved

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:



(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)