

Utjecaj veličine čestica praha kore mandarina na filtracijska svojstva isplake na bazi vode

Sabljak, Filip

Master's thesis / Diplomski 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:169:300601>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij naftnog rudarstva

**UTJECAJ VELIČINE ČESTICA PRAHA KORE MANDARINA NA
FILTRACIJSKA SVOJSTVA ISPLAKE NA BAZI VODE**

Diplomski rad

Filip Sabljak

N409

Zagreb, 2024.

UTJECAJ VELIČINE ČESTICA PRAHA KORE MANDARINA NA FILTRACIJSKA SVOJSTVA ISPLAKE NA BAZI VODE

Filip Sabljak

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

Sažetak

Isplaka predstavlja jedan od ključnih elemenata bušačkih operacija te je vrlo bitno ispravno ju dizajnirati kako bi ispunjavala sve potrebne zadatke. Najčešće se koristi isplaka na bazi vode zbog smanjenog utjecaja na okoliš te dostupnosti vode kao baznog fluida za njenu pripremu. Mnogi aditivi koji se dodaju u isplaku kategoriziraju se kao štetni za okoliš te je stoga potrebno razviti nove vrste aditiva. Brojna istraživanja su provedena u tu svrhu koristeći biorazgradivi otpad kao potencijalne aditive. U ovom radu korišten je prah kore mandarine podijeljen u četiri frakcije raspona veličina čestica od 0,063 mm do 0,10 mm, od 0,05 mm do 0,063 mm, od 0,045 mm do 0,05 mm i od 0 mm do 0,045 mm. Također, prah se dodavao u četiri koncentracije: 0,5%, 1%, 1,5% i 2% na volumen vode. Dobiveni rezultati pokazali su da povećanjem koncentracije praha kore mandarine dolazi do smanjenja API filtracija i do 55% dok veličina čestica nije previše utjecala na rezultat. PPT filtracija se dodavanjem praha smanjivala do 39%. Na temelju rezultata može se zaključiti da prah kore mandarine može služiti kao aditiv za smanjenje filtracije na temperaturama do 140°C.

Ključne riječi: Isplaka na bazi vode, prah kore mandarine, aditiv za filtraciju, filtracijska svojstva, cirkularna ekonomija

Diplomski rad sadrži: 37 stranica, 12 tablica, 18 slika i 21 referencu.

Jezik izvornika: Hrvatski

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

Mentori: Dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNF-a

Komentor: Dr. sc. Igor Medved, viši asistent RGNF-a

Ocjenjivači: Dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNF-a
Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica u trajnom zvanju RGNF-a
Dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor u trajnom zvanju RGNF-a

INFLUENCE OF THE MANDARIN PEEL POWDER PARTICLE SIZE ON THE FILTRATION
PROPERTIES OF A WATER-BASED MUD

Filip Sabljak

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Petroleum and Gas Engineering and Energy
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The mud represents one of the key elements of drilling operations, and it is very important to design it correctly in order to fulfill all the necessary tasks. Water-based mud is most often used due to the reduced impact on the environment and the availability of water as based fluid. Many additives that are added to the mud are categorized as harmful to the environment and therefore it is necessary to develop new types of additives. Numerous studies have been conducted for this purpose using biodegradable waste as potential additives. In this work mandarin peel powder was used and divided into four fractions with particle sizes ranging from 0.063 mm to 0.10 mm, from 0.05 mm to 0.063 mm, from 0.045 mm to 0.05 mm and from 0 mm to 0.045 mm. The powder was also added in four concentrations: 0.5%, 1%, 1.5% and 2% by volume of water. The obtained results showed that, by increasing the concentration of mandarin peel powder, the API filtration was reduced by up to 55%, while the particle size did not affect the results too much. PPT filtration was reduced by up to 39% by adding powder. Based on the results, it can be concluded that the mandarin peel powder can be used as an additive to reduce filtration at temperatures up to 140°C.

Keywords: Water-based mud, mandarin peel powder, filtration additive, filtration properties, circular economy

Thesis contains: 37 pages, 12 tables, 18 figures, and 21 references.

Original in: Croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisors: Borivoje Pašić, PhD

Tech. assistance: Igor Medved, PhD

Reviewers: Associated Professor Borivoje Pašić, PhD
Tenured Professor Katarina Simon, PhD
Tenured Professor Zdenko Krištafor, PhD

Defence date: February 22, 2024, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA	III
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA	IV
1. UVOD	1
1.1. Pregled provedenih istraživanja u svrhu korištenja biorazgradivog otpada kao aditiva u isplakama na bazi vode	2
2. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA	4
2.1. Priprema praha kore mandarine	4
2.2. Filtracija i filtracijska svojstva	4
2.2.1. Statička filtracija	5
2.2.2. Dinamička filtracija	7
2.2.3. Faktori koji utječu na filtraciju	8
2.2.4. Aditivi za kontrolu filtracije.....	11
2.2.4.1. <i>Minerali glina</i>	11
2.2.4.2. <i>Lignini i tanini</i>	12
2.2.4.3. <i>Škrob</i>	12
2.2.4.4. <i>CMC (Karboksimetil celuloza)</i>	12
2.2.4.5. <i>PAC (Polianionska celuloza)</i>	12
2.2.4.6. <i>Natrij-poliakrilat</i>	13
2.2.4.7. <i>Guar i ksantan guma</i>	13
2.2.5. Testovi i oprema za provođenje testova statičke filtracije.....	13
2.3. Ciljevi i način provođenja istraživanja	16
2.4. Ispitivanje	16
3. REZULTATI PROVEDENIH LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA	19
4. ZAKLJUČAK	34
5. POPIS LITERATURE	36

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Shematski prikaz Darcyjevog zakona za protjecanje fluida kroz propusnu sredinu (M-I Swaco, 2005).....	5
Slika 2-2. Ovisnost filtracije o korijenu vremena (Amoco Production Company, 2010)...	9
Slika 2-3. API filter preša.....	14
Slika 2-4. PPT uređaj (OFITE, 2015)	15
Slika 3-1. Usporedba filtracije isplake pri različitim koncentracijama praha kore mandarine veličine čestica 0,063 - 0,1 mm (frakcija A) i osnovne isplake.....	20
Slika 3-2. Usporedba filtracije isplake pri različitim koncentracijama praha kore mandarine veličine čestica 0,05 - 0,063 mm (frakcija B) i osnovne isplake.....	21
Slika 3-3. Usporedba filtracije isplake pri različitim koncentracijama praha kore mandarine veličine čestica 0,05 - 0,063 mm (frakcija C) i osnovne isplake.....	22
Slika 3-4. Usporedba filtracije isplake pri različitim koncentracijama praha kore mandarine veličine čestica 0 - 0,045 mm (frakcija D) i osnovne isplake.....	23
Slika 3-5. Filtracija isplaka s različitim veličinama čestica praha kore mandarine i koncentraciji od 5 g/L.....	25
Slika 3-6. Filtracija isplaka s različitim veličinama čestica praha kore mandarine i koncentraciji od 10 g/L.....	25
Slika 3-7. Filtracija isplaka s različitim veličinama čestica praha kore mandarine i koncentraciji od 15 g/L.....	26
Slika 3-8. Filtracija isplaka s različitim veličinama čestica praha kore mandarine i koncentraciji od 20 g/L.....	26
Slika 3-9. Filtracija isplaka ispitivanih na PPT uređaju nakon 30 min.....	28
Slika 3-10. Isplačni oblozi stvoreni na keramičkim diskovima prilikom ispitivanja na PPT uređaju	29
Slika 3-11. Filtracija osnovne i B3 isplake nakon 16-satnog starenja na 125°C	31
Slika 3-12. Filtracija osnovne i B3 isplake nakon 16-satnog starenja na 130°C	31
Slika 3-13. Filtracija osnovne i B3 isplake nakon 16-satnog starenja na 135°C	32
Slika 3-14. Filtracija osnovne i B3 isplake nakon 16-satnog starenja na 140°C	33

POPIS TABLICA

Tablica 2-1.	Sastav isplaka s dodanom A frakcijom čestica praha kore mandarine.....	17
Tablica 2-2.	Sastav isplaka s dodanom B frakcijom čestica praha kore mandarine.....	17
Tablica 2-3.	Sastav isplaka s dodanom C frakcijom čestica praha kore mandarine.....	18
Tablica 2-4.	Sastav isplaka s dodanom D frakcijom čestica praha kore mandarine.....	18
Tablica 3-1.	Rezultati mjerenja filtracije na API filter preši (A i B frakcija).....	19
Tablica 3-2.	Rezultati mjerenja filtracije na API filter preši (C i D frakcija).....	19
Tablica 3-3.	Krajnje postotno smanjenje filtracije izmjerene na API filter preši	24
Tablica 3-4.	Uvjeti i rezultati mjerenja filtracije na PPT uređaju.....	27
Tablica 3-5.	Postotno smanjenje filtracije na PPT uređaju.....	28
Tablica 3-6.	Postotno smanjenje gubitaka isplake prije formiranja isplačnog obloga	29
Tablica 3-7.	API filtracija isplaka nakon starenja na visokim temperaturama	30
Tablica 3-8.	Krajnja postotna smanjenja filtracija osnovne i B3 isplake nakon 16-satnog starenja	33

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
T	$^{\circ}\text{C}$	temperatura
q	m^3/s	protok filtrata
k	μm^2	propusnost
A	m^2	površina poprečnog presjeka
ΔP	Pa	diferencijalni tlak
μ	Pas	viskoznost
L	m	duljina propusnog medija
V_f	ml	volumen filtrata
c_{io}	-	udio čvrstih čestica u isplačnom oblogu
c_i	-	udio čvrstih čestica u isplaci
t	s	vrijeme filtracije
μ_f	Pas	viskoznost filtrata
h	mm	debljina isplačnog obloga
A_1	m^2	površina isplačnog obloga
t	s	vrijeme mjerenja filtrata
P	Pa	tlak

1. UVOD

Isplaka je jedan od najvažnijih segmenata tehnološkog procesa izrade bušotina te je, za uspješnu izradu kanala bušotine, jako bitno pravilno odrediti njen sastav i svojstva. Izraz isplaka koristi se za fluide koji su namijenjeni da cirkuliraju bušotinom u kontroliranim uvjetima i pritom moraju ispunjavati određene uloge kao što su iznošenje krhotina na površinu, hlađenje i podmazivanje dlijeta i bušačkog alata, održavanje stabilnosti kanala bušotine i sprječavanje urušavanja istog, podržavanje hidrostatskog tlaka u bušotini, sprječavanje dotoka vode, plina ili nafte u bušotinu, stvaranje isplačnog obloga na stijenkama kanala bušotine itd. (Pašić et al., 2007; Pašić et al., 2020; Ghaderi et al., 2020). Odabir sastava isplake je ključan za uspješnu izradu kanala bušotine jer svojstva isplake uvelike utječu na efikasnost bušačkih operacija, stoga se bira sastav specifičan za svaku bušotinu i uvjete u toj bušotini (Gaurina-Međimurec et al., 2000). Tri osnovne vrste isplake su: isplake na bazi vode, isplake na bazi ulja i sintetičke isplake. Pogodnosti uljne isplake su veća brzina bušenja, manja vjerojatnost gubitka isplake tijekom cirkulacije, smanjen moment torzije i vlačna naprezanja. Najčešće je u upotrebi isplaka na bazi vode zbog njene pristupačnosti, povoljnije cijene te manjeg negativnog utjecaja na okoliš (Gaurina-Međimurec, 1998). Uglavnom se sastoji od svježe ili slane vode (90-95%) u koju se, ovisno o potrebi, dodaju razni polimeri, minerali gline, inertne krute čestice te kemijski aditivi.

Prilikom bušačkih operacija proizvodi se velika količina otpada koju je potrebno adekvatno zbrinuti. Značajan dio aditiva koji se koriste u isplakama na bazi vode se svrstavaju kao nerazgrađujući i štetni za okoliš (Zheng et al., 2020). Stoga je jako bitno postupati s otpadom na odgovarajući način, ali i svesti proizvodnju otpada i štetnih tvari u naftnoj industriji na najmanju moguću razinu. Iz tog razloga mnoge svjetske kompanije provode mnogobrojne projekte koji implementiraju razne tehnike postupanja s otpadom te redukciju proizvodnje samog otpada. Kao rezultat toga provode se i mnoga istraživanja koja kao cilj imaju iskorištavanje biorazgradivog organskog otpada kao aditive u isplakama na bazi vode (Al-Hameedi et al., 2019), a najveći broj istraživanja temelji se na otpadu od hrane. Procjenjuje se da će se godišnja proizvodnja otpada od hrane po osobi do 2050. godine povećati za čak 75% (Kaza et al., 2018) što potiče mnoge stručnjake na prenamjene istog u komercijalne svrhe što bi dovelo do smanjenja količine samog otpada, ali i otkriću novih ekološki prihvatljivih aditiva.

1.1. Pregled provedenih istraživanja u svrhu korištenja biorazgradivog otpada kao aditiva u isplakama na bazi vode

Mnoga istraživanja su provedena u svrhu povećanja primjene cirkularne ekonomije u naftnoj industriji pa tako i u operacijama izrade bušotina. Korištenje raznih otpadnih tvari, najčešće otpada od hrane, kao aditiva u isplakama na bazi vode pokazalo se kao dobar početak u pronalasku novih, ekološki prihvatljivih aditiva koji djeluju na određena svojstva isplake.

Istraživanja su se provodila s raznim biološkim materijalima. Iranwan et al. (2009) su pokušali iskoristiti šećernu trsku i klip kukuruza kao potencijalne viskozifere, no rezultati su pokazali kako se dodavanjem tih materijala u isplaku povećava plastična viskoznost dok se čvrstoća gela i naprezanje pri pokretanju smanjuju. Primjena rižinih ljuski u isplaci pri koncentraciji od 20 g na 350 ml isplake kao aditiva za smanjenje filtracije utjecala je na smanjenje gubitka fluida u formaciju za čak 65%, u odnosu na dodavanje CMC (engl. *Carboxymethyl cellulose*) i PAC (engl. *Polyanionic cellulose*) (Okon et al., 2014). Dodavanje praha kore od banane u isplaku pokazalo se uspješnim kod kontroliranja korozije i poboljšanja pH vrijednosti isplake (Adebowale i Raji, 2015). Istraživanja su provedena na još nekim biorazgradivim materijalima kao što su komina masline, kokosova vlakna, pulpa breskve, oguljena soja, kana, krumpirova kora i dr. (Mahto i Sharma, 2004; Nyeche et al., 2015).

Vrlo dobri rezultati dobiveni su istraživanjem praha kore mandarine kao aditiva u isplakama na bazi vode (Al-Hameedi et al., 2019). Pokazalo se kako se dodavanjem praha kore mandarine poboljšavaju reološka svojstva i smanjuje filtracija isplake. Prah kore mandarine kao aditiv u isplaci imao je zanemariv utjecaj na težinu isplake, pogotovo pri manjim koncentracijama. Što se tiče reoloških svojstava, plastična viskoznost i naprezanje pri pokretanju su se povećali, osobito pri koncentracijama od 3% i 4%. Filtracija se znatno smanjila korištenjem praha kore mandarine, a u usporedbi s PAC-om kao aditivom, karakteristike isplačnog obloga su također bile poboljšane.

Nastavno tome, u Laboratoriju za bušotinske fluide u Zagrebu (Rudarsko-geološko naftni fakultet) provedeno je istraživanje u kojem se ispitivao utjecaj veličine čestica praha kore mandarina na smanjenje filtracije, smanjenje bubrenja glinovitih naslaga te stabilnost kanala bušotine (Medved et al., 2023). Prethodno prikupljena i dehidrirana kora od mandarine (izložena 48 h temperaturi od 90 °C, zatim ostavljena još 24 h na suhom mjestu) usitnjena je pomoću blendera te prosijana kroz dva sita kako bi se razdijelila u dvije frakcije: čestice veličine do 0,1 mm i čestice veličine od 0,1 do 0,16 mm. Svaka od frakcija bila je dodana u

bentonitnu isplaku na bazi vode u četiri različite koncentracije: 0,5%, 1%, 1,5% i 2% na volumen vode te ispitivana na uređajima za mjerenje (API filter preša, PPT uređaj, mjerač bubrenja uzoraka, Fann viskozimetar...). Dobiveni rezultati uspoređeni su međusobno te sa osnovnom bentonitnom isplakom. Kao zaključak dobio se da prah kore mandarine u koncentracijama do 1,5% u odnosu na volumen vode značajno poboljšava filtracijska i reološka svojstva, a ima i pozitivan utjecaj na temperaturnu stabilnost odnosno filtracijska svojstva isplake nakon njenog dugotrajnog izlaganja temperaturama do 133 °C. Usporedbom svih rezultata ispitivanja utjecaja praha kore mandarine na sva promatrana svojstva isplake na bazi vode zaključuje se da su nešto bolji rezultati dobiveni korištenjem većih čestica praha kore mandarine (veličine čestica između 0,10 mm i 0,16 mm), iako se i s ispitivanom frakcijom čestica manjih dimenzija (do 0,10 mm) dobivaju zadovoljavajuća svojstva isplake. Optimalna koncentracija praha kore mandarina prema dobivenim rezultatima je između 1,0% i 1,5% na ukupni volumen vode.

2. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

Sva ispitivanja opisana u ovom radu provedena su u Laboratoriju za bušotinske fluide (Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku, Rudarsko-geološki-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu).

2.1. Priprema praha kore mandarine

Nakon prikupljanja zadovoljavajuće količine kore mandarine ista je stavljena u sušionik na 48 sati pri temperaturi od 90 °C kako bi se dehidrirala, odnosno izvukla vlaga iz nje. Potom je ostavljena na suhom mjestu narednih 24 sata te nakon toga smrvljena u blenderu i prosijana kroz četiri sita različitih veličina otvora: prvo sito s otvorima od 0,10 mm, drugo s otvorima od 0,063 mm, treće s otvorima od 0,050 mm i četvrto s otvorima od 0,045 mm. Na taj način prah kore mandarine podijeljen je u četiri frakcije: 0,063 – 0,10 mm (frakcija A), 0,05 – 0,063 mm (frakcija B), 0,045 – 0,05 mm (frakcija C) i 0 – 0,045 mm (frakcija D), a dio koji je ostao na prvom situ, odnosno čestice veće od 0,10 mm, je spremljen u posudu za eventualna buduća ispitivanja. Frakcije su zasebno zbrinute u odvojene posude i ispravno označene kako ne bi došlo do slučajnog miješanja. Frakcije različitih veličina čestica korištene su kako bi se utvrdile razlike njihovih utjecaja na svojstva isplake.

2.2. Filtracija i filtracijska svojstva

Kontrola filtracije isplake ima značajnu ulogu u procesu izrade kanala bušotine i osigurava uspješnost bušačkih operacija. Filtracija je definirana kao proces izdvajanja tekuće faze isplake kroz porozni medij (porozne stijene) pod utjecajem diferencijalnog tlaka koji je jednak razlici tlaka u bušotini i pornog (slojnog) tlaka stijena. Tekuća faza koja prodre u stijene naziva se filtrat, a čestice koje su većeg promjera od pora stijena oblažu stijenu formirajući kruti oblog poznat i kao isplačni kolač (Brnić, 1989). Svojstvo filtracije isplake važno je jer utječe na brzinu napretka bušenja, stabilnost kanala i zagađenje pribušotinske zone odnosno posljedično oštećenje ležišne stijene.

Veliki volumen filtrata dovodi do formiranja debelog isplačnog obloga, koji može uzrokovati promjene tlaka pri manevru alata jer se smanjuje promjer bušotine. Debeli isplačni oblog ima loše mehaničke karakteristike te se lako razrušava manevrima i rotacijom alatki i otežava cementaciju zaštitnih cijevi. Također, može doći i do diferencijalnog prihvata bušačkih alatki, gubitka isplake, a ponekad i loših karotažnih mjerenja (Brnić, 1989). Isplačni oblog mora biti tanak, žilav i nepropusan.

Kako bi došlo do filtracije moraju biti zadovoljena sljedeća tri uvjeta:

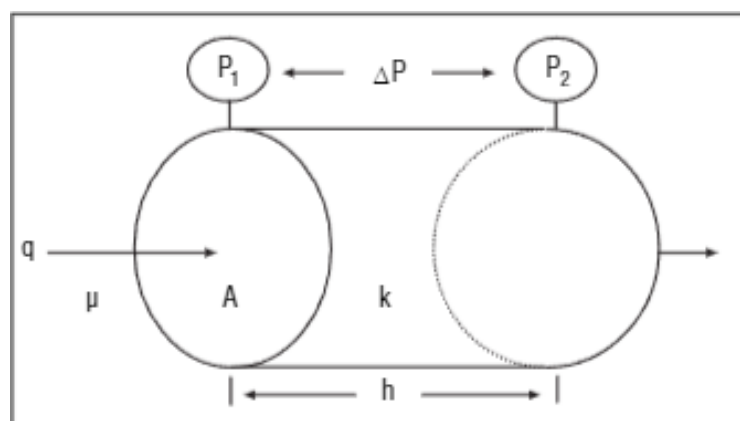
1. mora biti prisutna isplaka (smjesa tekuće faze i čvrstih čestica),
2. mora postojati propusan medij,
3. fluid (isplaka) mora biti pod većim tlakom nego propusan medij (mora postojati diferencijalni tlak).

Tijekom bušenja isplaka cirkulira kanalom bušotine te se, u pravilu, drži pod većim tlakom od stijena propusnih zona koje se razrušavaju. Ako su ti uvjeti zadovoljeni stvara se isplačni kolač koji se sastoji od čvrstih čestica iz isplake koje se nakupljaju na propusnoj stijenci formacije, dok tekuća faza prolazi kroz isplačni kolač te ulazi u propusnu formaciju.

U kanalu bušotine odvija se statička i dinamička filtracija. Do statičke filtracije dolazi tijekom mirovanja isplake, odnosno kad nema cirkulacije (kod izvlačenja ili spuštanja alatki, dodavanja novih bušaćih alatki u niz i sl.), dok se dinamička filtracija odvija kada isplaka cirkulira unutar kanala bušotine.

2.2.1. Statička filtracija

Statičku filtraciju kontrolira nekoliko faktora, a najbolje ih objašnjava Darcyjev zakon, klasični model protjecanja. On se također koristi i za prikaz volumena filtrata i debljine isplačnog obloga. Darcyjev zakon je primjenjiv na protok fluida kroz bilo koji propusan medij (pijesak, pješčenjak, isplačni oblog...) i povezuje filtraciju sa propusnošću, površinom poprečnog presjeka, diferencijalnim tlakom, viskoznošću i debljinom isplačnog obloga (M-I Swaco, 2005), kao što se može vidjeti na Slici 2-1.



Slika 2-1. Shematski prikaz Darcyjevog zakona za protjecanje fluida kroz propusnu sredinu (M-I Swaco, 2005)

Darcyjev zakon za protjecanje fluida kroz propusnu sredinu glasi (M-I Swaco, 2005):

$$q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta P}{\mu \cdot L} \quad (2-1)$$

- Gdje su:

q – protok filtrata, m³/s

k – propusnost, μm²

A – površina poprečnog presjeka, m²

ΔP – diferencijalni tlak, Pa

μ – viskoznost, Pas

L – duljina propusnog medija, m

Iz prethodne jednadžbe (2-1) može se vidjeti kako je filtracija manja što je manja propusnost isplačnog obloga, manja površina poprečnog presjeka i manji diferencijalni tlak, a povećava se smanjenjem debljine isplačnog obloga te viskoznosti filtrata.

U statičkim uvjetima, odnosno kad nema cirkulacije, debljina isplačnog obloga povećava se s vremenom, ali se brzina stvaranja istog smanjuje s vremenom. Obzirom na to da debeli isplačni oblog može stvarati probleme u bušotini, kontrola filtracije, pogotovo statičke, je od velike važnosti te je poželjno, u bilo kojoj situaciji u bušenju, imati što manji gubitak fluida.

Stopa filtracije bušačeg fluida procjenjuje se mjerenjem volumena filtrata prikupljenog u određenom vremenskom periodu. Iz tog razloga je potrebno modificirati Darcyjev zakon kako bi mogli odrediti volumen filtrata V_f (Amoco Production Company, 2010):

$$V_f = A \cdot \left[\frac{2 \cdot k \cdot \left(\frac{c_{i0}}{c_i} - 1 \right) \cdot \Delta p \cdot t}{\mu_f} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2-2)$$

- Gdje su:

V_f – volumen filtrata, ml

c_{i0} – udio čvrstih čestica u isplačnom oblogu, -

c_i – udio čvrstih čestica u isplaci, -

t – vrijeme filtracije, s

μ_f – viskoznost filtrata, Pas

Debljina isplačnog obloga može se odrediti na sljedeći način (M-I Swaco, 2005):

$$h = \frac{V_f}{A_1 \left(\frac{c_{io}}{c_i} - 1 \right)} \quad (2-3)$$

- Gdje su:

h – debljina isplačnog obloga, mm

A_1 – površina isplačnog obloga, m²

Iz jednadžbe 2-2 može se primijetiti kako se volumen filtrata povećava sa povećanjem vremena filtracije, propusnosti isplačnog obloga, diferencijalnog tlaka i površine isplačnog obloga, a smanjuje se s povećanjem viskoznosti filtrata isplake.

Na debljinu isplačnog obloga najviše utječe omjer koncentracije čvrstih čestica u isplačnom oblogu i koncentracije čvrstih čestica u isplaci (2-3). Povećanjem sadržaja čvrstih čestica u isplaci povećava se i debljina isplačnog obloga. Bitnu ulogu kod stvaranja isplačnog obloga čine veličina i oblik čvrstih čestica te njihova sposobnost da se deformiraju pod tlakom. Oni određuju koliki je postotak čvrstih čestica koje mogu stvoriti isplačni oblog (Brnić, 1989).

2.2.2. Dinamička filtracija

Dinamička filtracija je znatno drugačija od statičke filtracije i često ima znatno veće iznose volumena filtrata. Nema direktne korelacije između rezultata API i HPHT mjerenja statičke filtracije i dinamičke filtracije. Iskustveno je poznato da ako isplaka pokazuje dobre karakteristike statičke filtracije i dobru stabilnost, vrijednosti dinamičke filtracije bit će u zadovoljavajućim granicama (Lončar, 2000).

Čim dljeto razruši propusnu stijenu, započinje dinamička filtracija. Povećanje hidrostatskog tlaka u bušotini dovodi do trenutnog prodora filtrata u formaciju. Kako se filtracija nastavlja, veće čvrste čestice iz isplake stvaraju sloj na formaciji, odnosno počinje stvaranje isplačnog obloga u dinamičkim uvjetima. Kao i kod statičke filtracije, dinamička filtracija je također ograničena propusnošću isplačnog obloga, a ne formacije. Turbulentan protok isplake teži erodiranju isplačnog obloga. Isplačni oblog se stvara dok se brzina nastajanja istog ne izjednači sa brzinom erodiranja; tada brzina filtracije postaje konstantna. Na početku dinamičke filtracije dolazi do povećane brzine filtracije i ubrzanog rasta debljine isplačnog obloga, a s vremenom brzina rasta debljine isplačnog obloga se smanjuje, a brzina filtracije se stabilizira (M-I Swaco, 2005).

Ravnoteža stvaranja isplačnog obloga je većinski uvjetovana karakteristikama čestica u isplaci (veličina, raspodjela i koncentracija), a manjim dijelom hidrauličkim uvjetima u kanalu bušotine (turbulentno ili laminarno protjecanje) i viskoznošću filtrata. Isplačni oblozi nastali u dinamičkim uvjetima su tanji i čvršći od onih nastalih u statičkim uvjetima (Brnić, 1989).

Istraživanja su pokazala nekoliko značajnih razlika između dinamičke i statičke filtracije. Jedna od njih je efekt emulziranog ulja ili drugih fluida koji se ne miješaju. Dok kapljevine koje se ne miješaju smanjuju statičku filtraciju i debljinu isplačnog obloga, u isto vrijeme povećavaju dinamičku filtraciju što dovodi do stvaranja isplačnog obloga koji je manje kohezivan i osjetljiv na eroziju. Druga je razlika da povećanje koncentracije polimera za smanjenje filtracije, radi smanjenja API filtracije na minimum, može dovesti do povećanja dinamičke filtracije. Navedene razlike uglavnom ovise o promjeni otpora isplačnih obloga na eroziju (Gaurina-Međimurec, 2009).

API (engl. *American Petroleum Institute*) je definirao uvjete ispitivanja za određivanje statičke i dinamičke filtracije. Testovi za mjerenje statičke filtracije se mogu provoditi pri niskom tlaku i niskoj temperaturi (API filter preša) i visokom tlaku i visokoj temperaturi (HPHT ili PPT uređaj). Ti testovi su vrlo pouzdani za procjenu sveukupnih filtracijskih svojstava isplake te donekle indikativni o laminarnom protjecanju te karakteristikama dinamičke filtracije. Za mjerenje dinamičke filtracije koriste se nešto sofisticiraniji i zahtjevniji laboratorijski testovi, no oni nisu praktični za rutinsku upotrebu (M-I Swaco, 2005).

2.2.3. Faktori koji utječu na filtraciju

Jedan od najvažnijih faktora koji utječe na filtraciju je vrijeme. Kada su svi ostali uvjeti konstantni (tlak, poprečna površina, viskoznost, propusnost), brzina filtracije i rasta isplačnog obloga se progresivno smanjuju s proteklom vremenom, kao što je predviđeno Darcyjevim zakonom. Statička filtracija je direktno proporcionalna s korijenom vremena, nakon početnih gubitaka fluida. Ta korelacija prikazana je jednadžbom 2-4 (Amoco Production Company, 2010) te Slikom 2-2.:

$$V_2 = V_1 \cdot \sqrt{\frac{t_2}{t_1}} \quad (2-4)$$

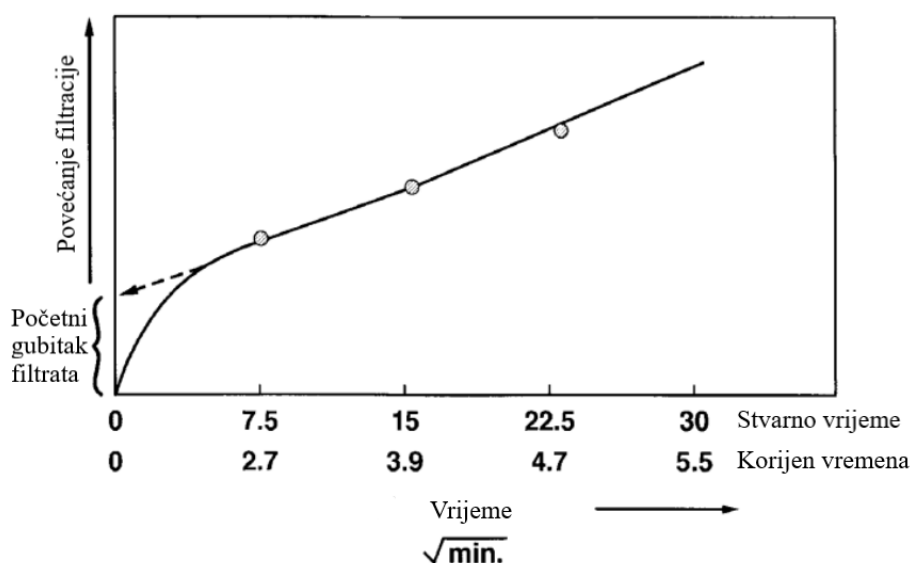
- Gdje je:

V_1 – volumen filtrata mjeren u vremenu t_1 , ml

V_2 – volumen filtrata procijenjen za vrijeme t_2 , ml

t_1 – vrijeme mjerenja filtrata V_1 , s

t_2 – traženi vremenski period procjene volumena V_2 , s



Slika 2-2. Ovisnost filtracije o korijenu vremena (Amoco Production Company, 2010)

API specifikacije koriste 30 minuta kao standardizirani vremenski period za testove filtracije sa niskim tlakom i niskom temperaturom, kao i za one s visokim tlakom i visokom temperaturom. Empirijski se zaključilo da volumen filtrata mjeren nakon 7,5 minuta približno odgovara polovici volumena mjerenog nakon 30 minuta, no to je ipak potrebno utvrditi za svako mjerenje. Kod HPHT testova vrijeme mjerenja ne bi smjelo biti kraće od 30 minuta. Jednadžba 2-5 pokazuje da ukoliko je poznata vrijednost volumena filtrata nakon određenog vremena, može ga se jednostavno procijeniti za bilo koje drugo vrijeme testiranja.

Drugi bitan faktor koji utječe na filtraciju je tlak, točnije diferencijalni tlak. Ako su svi ostali uvjeti konstantni, volumen filtrata pri dva različita tlaka trebao bi biti proporcionalan korijenu omjera tih tlakova, kao što je prikazano jednadžbom 2-5 (Amoco Production Company, 2010):

$$V_2 = V_1 \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1}} \quad (2-5)$$

- Gdje su:

V_1 – volumen filtrata mjenen pri diferencijalnom tlaku ΔP_1 , ml

V_2 – volumen filtrata procijenjen pri diferencijalnom tlaku ΔP_2 , ml

ΔP_1 – diferencijalni tlak pri volumenu V_1 , Pa

ΔP_2 – diferencijalni tlak na kojem se procjenjuje volumen V_2 , Pa

Ovakvu korelaciju ne bi trebalo koristiti za procjenu filtracijskih karakteristika na nekom tlaku, ali može se koristiti za indicaciju relativne stlačivosti isplačnog kolača.

Propusnost isplačnog obloga je ograničavajući faktor koji kontrolira filtraciju u formaciju. Veličina, oblik i sposobnost krutih čestica da se deformiraju pod tlakom su bitni u kontroli propusnosti. Isplake sa velikom koncentracijom malih čestica formiraju isplačni oblog manje propusnosti. Generalno, koloidne čestice (manje od dva mikrona) poput bentonita pružaju najveću kontrolu filtracije, no optimalna kontrola se postiže širokim spektrom veličine čestica u isplaci jer na taj način manje čestice popunjavaju međuprostore između većih čestica i tvore isplačni oblog male propusnosti. Ravne i tanje čestice su efikasnije od sferičnih ili nepravilnih čestica jer formiraju kompaktniji isplačni oblog.

Propusnost isplačnog obloga se najčešće izražava u μD , dok se propusnost formacije mjeri u mD. Dobar isplačni oblog je barem tisuću puta manje propusnosti od propusnosti formacije na kojoj se nataložio (M-I Swaco, 2005). Kvaliteta isplačnog obloga ovisi o optimizaciji sastava čvrstih čestica u isplaci na način da koncentracija čvrstih čestica ne smanjuje djelotvorna svojstva bentonita i ostalih aditiva za kontrolu filtracije.

Također, jedan od bitnih faktora koji utječu na filtraciju je temperatura. Povećana temperatura u pravilu povećava brzinu filtracije tako što smanjuje viskoznost tekuće faze, ako su ostali spomenuti faktori konstantni. Taj efekt se može prikazati jednadžbom 2-6 (Amoco Production Company, 2010):

$$V_2 = V_1 \cdot \sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}} \quad (2-6)$$

- Gdje je:

V_1 – volumen filtrata mjeren kod filtrata s viskoznošću μ_1 , ml

V_2 – traženi volumen filtrata sa viskoznošću filtrata μ_2 , ml

μ_1 – viskoznost filtrata V_1 na temperaturi 1, Pas

μ_2 – viskoznost traženog filtrata na temperaturi 2, Pas

Ova se jednadžba može koristiti za procjenu gubitka fluida pri visokim temperatura. Ako je stvarni gubitak fluida na visokoj temperaturi puno veći od izračunate vrijednosti može značiti da je došlo do temperaturne degradacije aditiva u isplaci (Amoco Production Company, 2010).

2.2.4. Aditivi za kontrolu filtracije

U naftnoj industriji postoji široki spektar proizvoda koji se koriste za kontrolu filtracije. Ovdje su ukratko opisani najbitniji aditivi koji su u širokoj upotrebi.

2.2.4.1. Minerali glina

Najvažniji aditivi za kontrolu filtracija su minerali glina, konkretno bentonit. Budući da su oni po prirodi koloidne čestice, osim kontrole filtracije povećavaju i viskoznost isplake. Sposobnost bentonita da smanji filtraciju pridodaje se (Amoco Production Company, 2010):

- maloj veličini čestica,
- ravnom i pravilnom obliku čestica,
- sposobnosti hidratizacije i stlačivosti pod tlakom.

Nedostatak bentonita u isplaci uzrokuje povećane gubitke isplake u stijenu, posebice pri uvjetima povećane temperature i tlaka. Osim bentonita često se koristi i natrijev montmorilonit, uglavnom u isplakama na bazi svježe vode.

2.2.4.2. *Lignini i tanini*

U ovu skupinu spadaju sulfonatirani tanini, ligniti, lignosulfonati i derivati lignita. Ovi aditivi funkcioniraju mehanizmom stanjivanja čestica gline (apsorbiraju se na pozitivnim stranama čestica glina što dovodi do repulzije među česticama) i čepjenja pora na isplačnom oblogu. Dodavanjem ovih aditiva poboljšava se distribucija krutih čestica u isplaci tako što dolazi do deflokulacije bentonita i ostalih krutih čestica.

2.2.4.3. *Škrob*

Aditivi iz ove skupine najčešće se dodaju u isplake na bazi slane vode. Većina škrobi koja se koristi u naftnoj industriji proizvodi se iz krumpira i kukuruza. Zrna škrobi su odvajana od povrća i posebno obrađena na način da, kada su dodana u isplaku, efikasno bubre i geliraju te na taj način smanjuju filtraciju isplake. Također, oblik samih čestica omogućuje da uspješno čepe pore u isplačnom oblogu.

2.2.4.4. *CMC (Karboksimetil celuloza)*

CMC je organski koloid koji se koristi za kontrolu filtracije. Pojavljuje se u tri oblika, svaki s različitom viskoznošću i karakteristikama kontrole filtracije (Gaurina-Međimurec, 2009):

- CMC visoke viskoznosti (CMC HV)
- CMC srednje viskoznosti (CMC MV) i
- CMC male viskoznosti (CMC LV)

Odabir vrste CMC-a ovisi o željenim svojstvima isplake (Amoco Production Company, 2010).

2.2.4.5. *PAC (Polianionska celuloza)*

Polianionska celuloza je dugolančani polimer visokomolekularne mase, sličan CMC-u, ali generalno veće čistoće i kvalitete. Male količine ovog aditiva mogu djelovati na povećanje viskoznosti i smanjiti filtraciju isplaka na bazi svježe i slane vode. Uspješno se koristi u isplakama s malo čvrstih čestica, obično u kombinaciji s vlaknastim azbestima ili atapulgitnom glinom (Gaurina-Međimurec, 2009).

2.2.4.6. *Natrij-poliakrilat*

Ovaj polimer visokomolekulske mase dostupan je u različitim oblicima i pruža visoku temperaturnu stabilnost. Oni oblici manje molekulske mase koriste se kao deflokulanti za gline i na taj način smanjuju filtraciju. Oni veće molekulske mase su korisni za kontrolu filtracije tako što povećavaju viskoznost i čepe pore isplačnog obloga.

2.2.4.7. *Guar i ksantan guma*

Ovi aditivi se primarno koriste kao viskoziferi, a sekundarno kao smanjivači filtracije. Dodavanjem u isplaku značajno poboljšavaju filtracijska svojstva svih isplaka. Djeluju na dva načina: kao čepivi agensi i kao zaštitni koloidi (Gaurina-Međimurec, 2009).

2.2.5. Testovi i oprema za provođenje testova statičke filtracije

Za potrebe ovog rada statička filtracija je mjerena na dvama uređajima: API filter preši te PPT (engl. *Permeability Plugging Tester*) uređaju. API filter preša (Slika 2-3) je uređaj koji se sastoji od postolja s podesivim vijkom, ćelije u koju se ulijeva isplaka koja se testira te boce s dušikom odnosno zrakom. Ćelija na dnu ima rupu i cjevčicu za istjecanje filtrata isplake. Test se provodi 30 minuta pri standardiziranom tlaku od 6,895 bar (100 psi) i sobnoj temperaturi te se mjeri volumen filtrata isplake koji se u menzuru na dnu cjevčice izdvojio kroz filter-papir tipa Whatman broj 50 postavljen na sito od 60 do 80 mesha. Površina filtriranja iznosi 45,8 cm² (7,1 in²). Izdvojeni volumen se bilježi svake 2,5 minute.



Slika 2-3. API filter preša

PPT uređaj je modificirana verzija HTHP (engl. *High Temperature High Pressure*) uređaja za mjerenje filtracije isplake pri bušotinskim uvjetima. Koristi se i za procjenu sposobnosti isplake da formira kvalitetan isplačni oblog, s obzirom na veličinu i koncentraciju krutih čestica, koji će onemogućiti daljnji prodor filtrata kroz propusni medij. Test se provodi tako da je prethodno pripremljena isplaka ulivena u ćeliju u kojoj se, zbog diferencijalnog tlaka od 500 psi (tlak utiskivanja 700 psi, protutlak 200 psi), u grijaču koji je zagrijan na 87,78 °C (190 °F) kroz disk propusnosti 0,4 D izdvaja filtrat u zasebnu posudu. Tlak i temperatura se tijekom provođenja testa moraju održavati konstantnim. Test traje 30 minuta, a rezultati se bilježe nakon 7,5 i 30 minuta. Volumen filtrata koji je prikupljen prije formiranja isplačnog obloga naziva se početna filtracija (engl. *Spurt loss*) i može se izračunati prema jednadžbi 2-7 (OFITE, 2015):

$$\text{Spurt loss} = 4 \cdot V_{7,5} - 2 \cdot V_{30} \quad (2-7)$$

- Gdje je:

$V_{7,5}$ – volumen filtrata sakupljen nakon 7,5 minuta, ml

V_{30} – volumen filtrata sakupljen nakon 30 minuta, ml

PPT uređaj je prikazan na Slici 2-4:



Slika 2-4. PPT uređaj (OFITE, 2015)

2.3. Ciljevi i način provođenja istraživanja

U ovom dijelu diplomskog rada opisan je proces ispitivanja utjecaja veličine čestica i koncentracije praha kore mandarine u isplaci na bazi vode na filtracijska svojstva isplake. Ciljana skupina veličine čestica podvrgnuta ispitivanju bila je od 0 mm do 0,10 mm. Ta skupina podijeljena je u četiri frakcije: 0,063 – 0,10 mm (frakcija A), 0,05 – 0,063 mm (frakcija B), 0,045 – 0,05 mm (frakcija C) i 0 – 0,045 mm (frakcija D). Svaka od frakcija bila je dodana u bentonitnu isplaku na bazi vode u četiri različite koncentracije: 0,5%, 1,0%, 1,5% i 2,0% na ukupni volumen vode koja je korištena za pripremu pojedine isplake. Ispitivanja su provođena na API filter preši te su dobiveni rezultati filtracije uspoređivani sa osnovnom bentonitnom isplakom. Frakcija s najboljim rezultatima dobivenim na API filter preši dalje je ispitivana na zadane četiri koncentracije na PPT uređaju pri povišenoj temperaturi (87,8 °C) i diferencijalnom tlaku od 3447,38 kPa. Na kraju su provedena i ispitivanja frakcije s najboljim rezultatom na temperaturnu stabilnost; isplaka je podvrgnuta 16-satnom procesu starenja na četiri temperature: 125 °C, 130 °C, 135 °C i 140 °C te nakon toga filtraciji u API filter preši.

Cilj istraživanja je bio dodatno razraditi područje upotrebe biorazgradivih materijala kao aditiva u isplakama na bazi vode, te odrediti idealnu veličinu čestica i koncentraciju praha kore mandarina koji se potencijalno može koristiti kao aditiv za smanjenje filtracije. Uzevši u obzir godišnju proizvodnju mandarina u Republici Hrvatskoj, koja je 2022. godine iznosila 41 784 tona (Hrvatski zavod za statistiku, 2023), te rezultate dosadašnjih istraživanja, kora od mandarine mogla bi biti zadovoljavajuća, ekološki i cjenovno prihvatljiva zamjena za standardne aditive za regulaciju određenih svojstava isplake.

2.4. Ispitivanje

Nakon gore opisane pripreme kore mandarina frakcije su redom korištene za pripremu isplake čiji su sastavi navedeni u Tablicama 2-1. – 2-4. Isplake su prema redosljedu u tablicama ispitivane najprije u API filter preši gdje im je mjerena filtracija i bilježen volumen filtrata u intervalu po 2,5 min od 30 minuta koliko je ukupno predviđeno da traje mjerenje. Nakon toga odabran je po jedan najbolji rezultat iz svake frakcije te su pripremljene svježe isplake tog sastava koje su ispitivane na PPT uređaju za filtraciju. Na kraju, za isplaku s najboljim rezultatom ispitan je proces starenja isplake kroz 16 h pri četiri različite temperature. Isplake su, nakon starenja, ispitivane na API filter preši kako bi se uočile

eventualne razlike u filtraciji, a kao posljedica eventualne temperaturne degradacije kore mandarine.

Tablica 2-1. Sastav isplaka s dodanom A frakcijom čestica praha kore mandarine

Sastav	Osnovna isplaka	A1 (0,063 – 0,10 mm)	A2 (0,063 – 0,10 mm)	A3 (0,063 – 0,10 mm)	A4 (0,063 – 0,10 mm)
Voda (ml)	400	400	400	400	400
Bentonit (g)	24	24	24	24	24
NaOH (g)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Prah kore mandarine (% volumena vode)	/	0,5	1	1,5	2

Tablica 2-2. Sastav isplaka s dodanom B frakcijom čestica praha kore mandarine

Sastav	Osnovna isplaka	B1 (0,05 – 0,063 mm)	B2 (0,05 – 0,063 mm)	B3 (0,05 – 0,063 mm)	B4 (0,05 – 0,063 mm)
Voda (ml)	400	400	400	400	400
Bentonit (g)	24	24	24	24	24
NaOH (g)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Prah kore mandarine (% volumena vode)	/	0,5	1	1,5	2

Tablica 2-3. Sastav isplaka s dodanom C frakcijom čestica praha kore mandarine

Sastav	Osnovna isplaka	C1 (0,045 – 0,05 mm)	C2 (0,045 – 0,05 mm)	C3 (0,045 – 0,05 mm)	C4 (0,045 – 0,05 mm)
Voda (ml)	400	400	400	400	400
Bentonit (g)	24	24	24	24	24
NaOH (g)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Prah kore mandarine (% volumena vode)	/	0,5	1	1,5	2

Tablica 2-4. Sastav isplaka s dodanom D frakcijom čestica praha kore mandarine

Sastav	Osnovna isplaka	D1 (0 – 0,045 mm)	D2 (0 – 0,045 mm)	D3 (0 – 0,045 mm)	D4 (0 – 0,045 mm)
Voda (ml)	400	400	400	400	400
Bentonit (g)	24	24	24	24	24
NaOH (g)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Prah kore mandarine (% volumena vode)	/	0,5	1	1,5	2

3. REZULTATI PROVEDENIH LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA

Rezultati dobiveni laboratorijskim mjerenjima zapisani su te uspoređivani međusobno kako bi se dokazalo na koji način veličina i koncentracija čestica praha kore mandarine utječu na filtraciju. U Tablicama 3-1. i 3-2. prikazani su rezultati filtracije dobiveni mjerenjem filtracije gore navedenih sastava isplaka na API filter preši:

Tablica 3-1. Rezultati mjerenja filtracije na API filter preši (A i B frakcija)

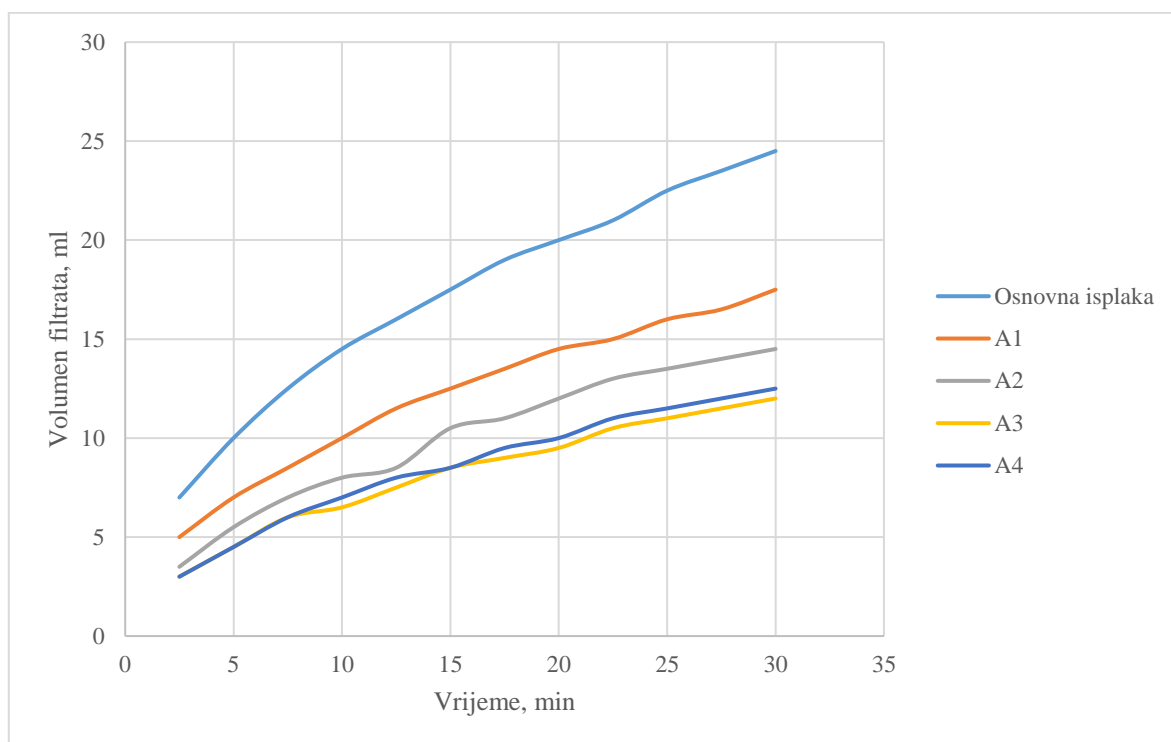
Vrijeme (min)	OI	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4
	API filtracija (ml)								
2,5	7	5	3,5	3	3	4,5	4	2,5	2,5
5	10	7	5,5	4,5	4,5	6,5	5	4,5	4
7,5	12,5	8,5	7	6	6	8,5	6,5	5,5	5
10	14,5	10	8	6,5	7	10	8	6,5	6
12,5	16	11,5	8,5	7,5	8	11,5	9	7,5	7
15	17,5	12,5	10,5	8,5	8,5	12,5	10	8,5	7,5
17,5	19	13,5	11	9	9,5	13,5	10,5	9	8
20	20	14,5	12	9,5	10	14,5	11,5	9,5	8,5
22,5	21	15	13	10,5	11	15,5	12	10,5	9,5
25	22,5	16	13,5	11	11,5	16,5	12,5	11	10
27,5	23,5	16,5	14	11,5	12	17	13,5	11,5	10,5
30	24,5	17,5	14,5	12	12,5	18	14	12	11

Tablica 3-2. Rezultati mjerenja filtracije na API filter preši (C i D frakcija)

Vrijeme (min)	OI	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4
	API filtracija (ml)								
2,5	7	4,5	3	2,5	3	4,5	3,5	2,5	2,5
5	10	6,5	5	4,5	4	6,5	5,5	4,5	4
7,5	12,5	8	6,5	5,5	5	8,5	7	5,5	5
10	14,5	9,5	7,5	6,5	6,5	10	8	6,5	6
12,5	16	10,5	8,5	7,5	7,5	11	9	8	7
15	17,5	12	9,5	8,5	8	12	10	8,5	8
17,5	19	13	10,5	9	8,5	13	11	9,5	8,5
20	20	13,5	11	9,5	9,5	14	12	10	9
22,5	21	14,5	12	10	10	15	12,5	10,5	9,5
25	22,5	15,5	12,5	10,5	10,5	16	13	11	10
27,5	23,5	16	13	11	11	16,5	14	12	10,5
30	24,5	17	14	12	11,5	17,5	14,5	12,5	11

Iz prethodne dvije tablice (Tablice 3-1. i 3-2.) može se zaključiti da dodavanjem bilo koje koncentracije praha kore mandarine, za sve četiri ispitivane veličine čestica dolazi do smanjenja filtracije u odnosu na osnovnu isplaku bez dodavanja praha kore mandarine. Na slici 3-1. prikazan je odnos/usporedba vrijednosti filtracije isplaka s četiri ispitivane

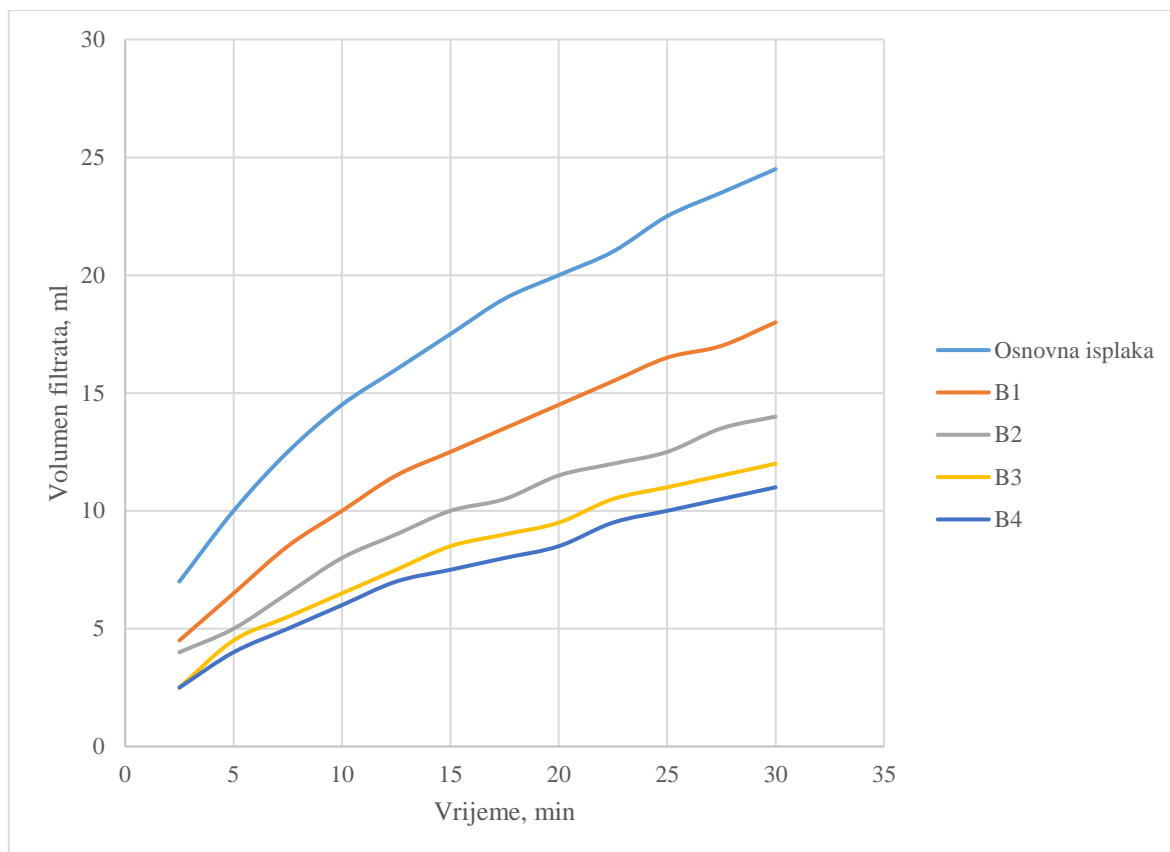
koncentracije praha kore mandarine veličine čestica 0,063 - 0,1 mm (frakcija A) s osnovnom isplakom.



Slika 3-1. Usporedba filtracije isplake pri različitim koncentracijama praha kore mandarine veličine čestica 0,063-0,1 mm (frakcija A) i osnovne isplake

Dodavanjem najmanje ispitivane koncentracije praha kore mandarina (0,5% na volumen vode) filtracija isplake se, u odnosu na osnovnu isplaku čiji mjereni volumen filtrata iznosi 24,5 ml, smanjuje na 17,5 ml u 30 minuta, što je smanjenje za 29%. Povećanjem dodane koncentracije praha kore mandarine na 1,5% na volumen vode, filtracija se smanjuje na 14,5 ml odnosno za 41% u odnosu na baznu isplaku. Filtracija isplake A3 je u odnosu na osnovnu isplaku pokazala najveće smanjenje (51%) gdje je mjereni volumen filtrata nakon 30 min iznosio 12 ml. Zadnja ispitivana koncentracije (2% na volumen vode) pokazivala je neznatno povećanje filtracije u odnosu na prethodnu ispitivanu koncentraciju (1,5% na volumen vode).

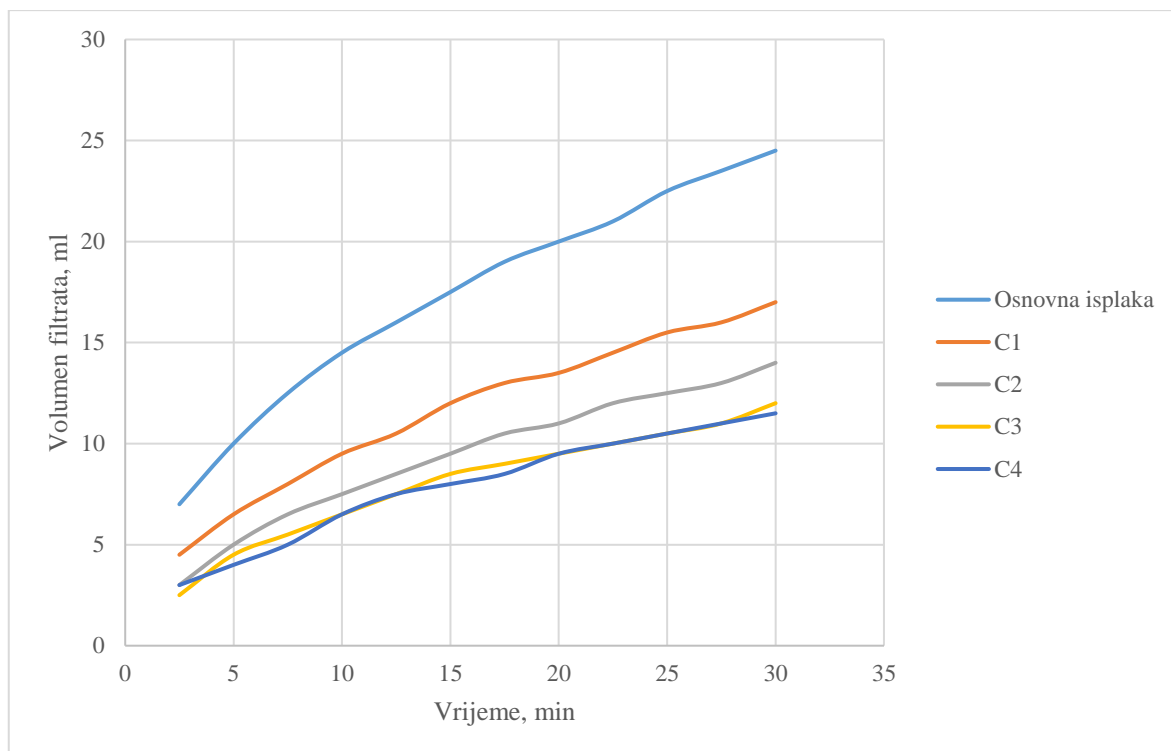
Na Slici 3-2. prikazana je filtracija u vremenu od 30 minuta za četiri ispitivane koncentracije praha kore mandarine veličine čestica 0,05 – 0,063 mm (frakcija B).



Slika 3-2. Usporedba filtracije isplake pri različitim koncentracijama praha kore mandarine veličine čestica 0,05 – 0,063 mm (frakcija B) i osnovne isplake

Slično kao i kod filtracije isplake s krupnijim česticama praha kore mandarine, filtracija se povećanjem koncentracije praha kore mandarine smanjuje značajno sve do najviših ispitivanih koncentracija gdje je to smanjenje manje primjetno, ali i dalje postoji za razliku od dobivenih rezultata kod veličine čestica praha kore mandarine 0,063 - 0,1 mm, gdje se filtracija kod najviše koncentracije povećala u odnosu na prethodnu. Dodavanjem praha B frakcije u koncentraciji od 0,5% na volumen vode u osnovnu isplaku dolazi do smanjenja volumena filtrata s 24,5 ml na 18 ml, što je smanjenje od 27%. Najveće smanjenje filtracije isplake s B frakcijom praha kore mandarine postignuto je dodavanjem praha kore mandarine pri najvećoj ispitivanoj koncentraciji (2% na volumen vode), gdje je izmjeren volumen filtrata u iznosu od 11 ml, što je smanjenje od 55% u odnosu na baznu isplaku.

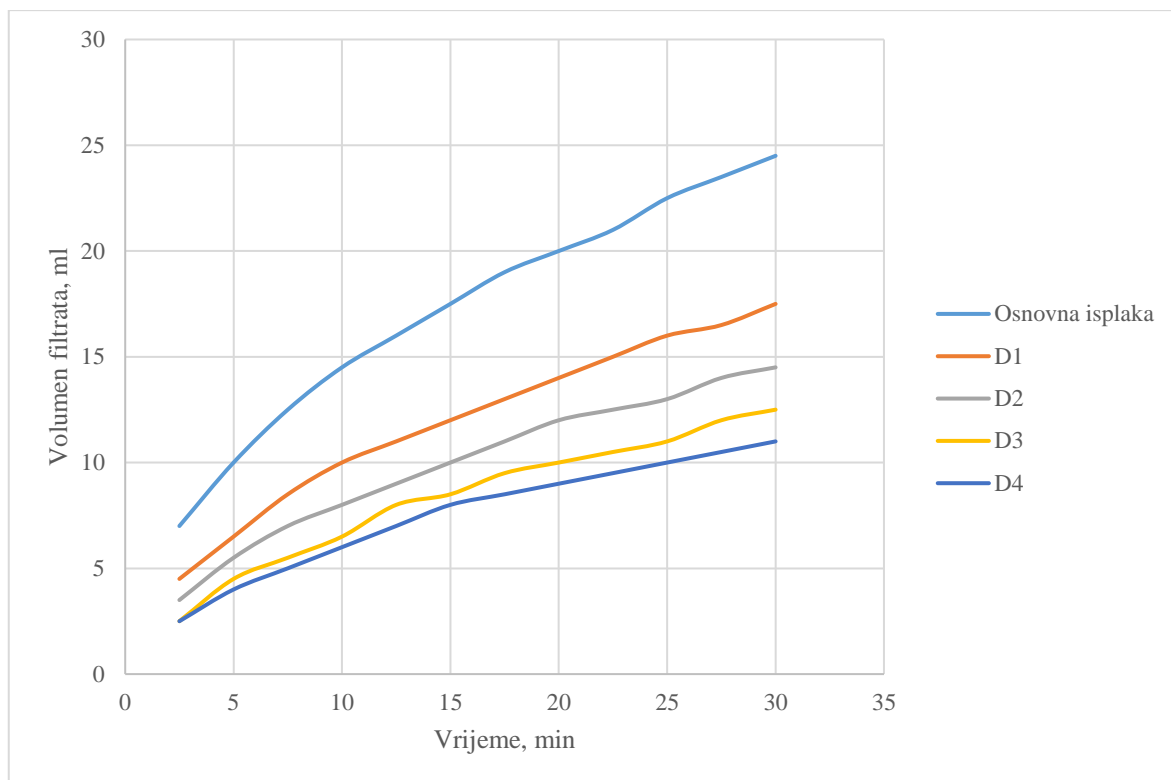
Dodavanjem praha kore mandarine veličine čestica 0,045 – 0,05 mm (frakcija C) također se postiže smanjenje filtracije u odnosu na osnovnu (baznu) isplaku bez ovog aditiva, kao što je vidljivo na podacima prikazanim na Slici 3-3.



Slika 3-3. Usporedba filtracije isplake pri različitim koncentracijama praha kore mandarine veličine čestica 0,05 – 0,063 mm (frakcija C) i osnovne isplake

Trend smanjenja filtracije s povećanjem koncentracije praha kore mandarine u isplaci sličan je kao i kod prethodne dvije ispitivane isplake. Dodavanjem najmanje ispitivane koncentracije praha kore mandarine (0,5% na volumen vode) dolazi do smanjenja filtracije za 31%, odnosno izmjereni volumen filtrata smanji se sa 24,5 ml na 17 ml. Povećanjem koncentracije praha kore mandarine na 1,5%, a zatim i na 2% na volumen vode dobivene su vrlo slične vrijednosti filtracije kroz 30 minuta, nakon čega se pokazalo kako kod najveće mjerene koncentracije dolazi do najvećeg smanjenja volumena filtrata s 24,5 ml na 11,5 ml, tj. do smanjenja volumena filtrata od 53%.

Kod filtracije isplaka u koje su dodane četiri ispitivane koncentracije praha kore mandarine veličine 0 – 0,045 mm (frakcija D) (Slika 3-4.), vidljivo je najpravilnije smanjenje filtracije s povećanjem koncentracije dodanog praha kore mandarine.



Slika 3-4. Usporedba filtracije isplake pri različitim koncentracijama praha kore mandarine veličine čestica 0 – 0,045 mm (frakcija D) i osnovne isplake

Prva ispitivana koncentracija (0,5% na volumen vode) pokazala je smanjenje mjerenog volumena filtrata sa 24,5 ml na 17,5 ml odnosu na osnovnu isplaku bez ovog aditiva, što je smanjenje za 29%. Sljedeće dvije ispitivane koncentracije (1,0% na volumen vode i 1,5% na volumen vode) pokazale su smanjenje filtracije od 41% odnosno 49% (izmjereni volumeni filtrata iznosili su 14,5 ml i 12,5 ml). Najveće smanjenje filtracije kod isplaka sa D frakcijom praha kore mandarine dobiveno je u posljednjem ispitivanju, gdje je prah kore mandarine dodan u koncentraciji od 2,0% na volumen vode. U ovom slučaju volumen filtrata se u odnosu na osnovnu isplaku smanjio sa 24,5 ml na 11 ml, što je smanjenje od 55%.

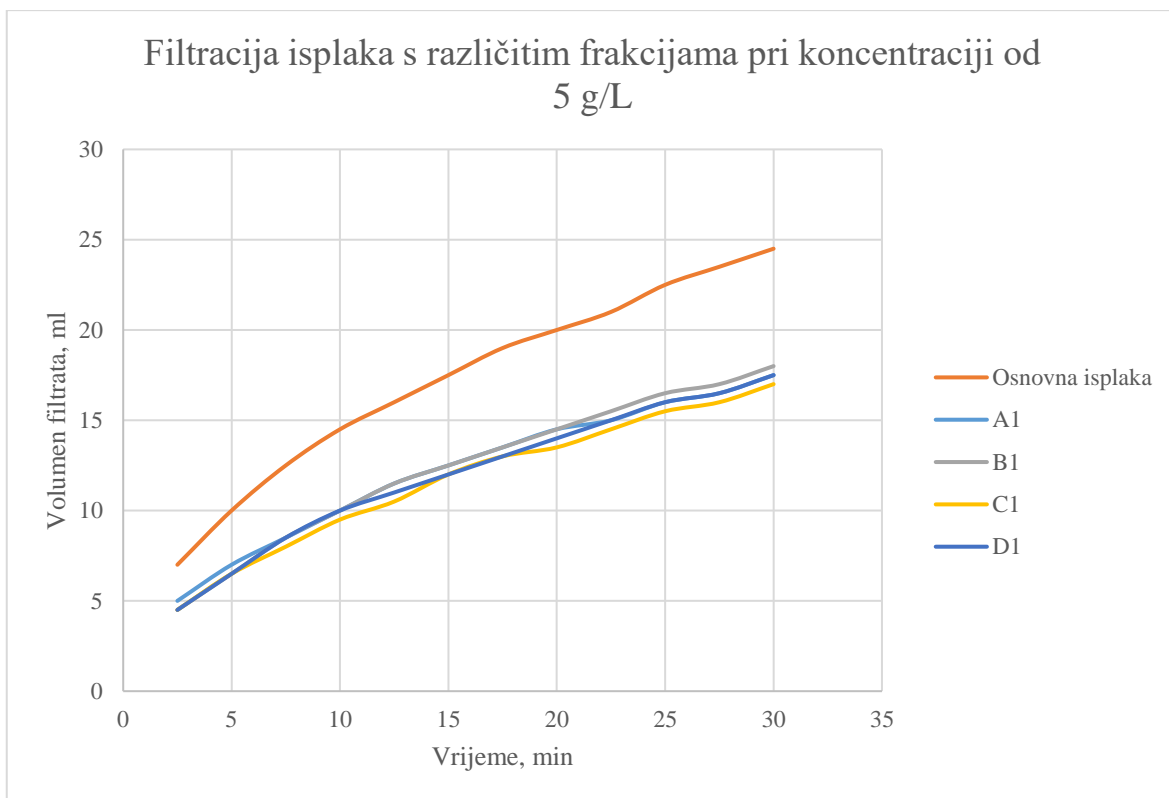
Krajnje postotno smanjenje filtracije (nakon 30 minuta) svih ispitivanih isplaka u dnosu na osnovnu (baznu) isplaku prikazano je Tablicom 3-3. Vidljivo je kako je do najvećeg smanjenja filtracije, u odnosu na filtraciju osnovne isplake, došlo kod isplaka B4 (koncentracije 2% na volumen vode; veličine čestica 0,05 – 0,063 mm) i D4 (koncentracije 2% na volumen vode; veličine čestica 0 – 0,045 mm) u iznosu od 55%.

Tablica 3-3. Krajnje postotno smanjenje filtracije izmjerene na API filter preši

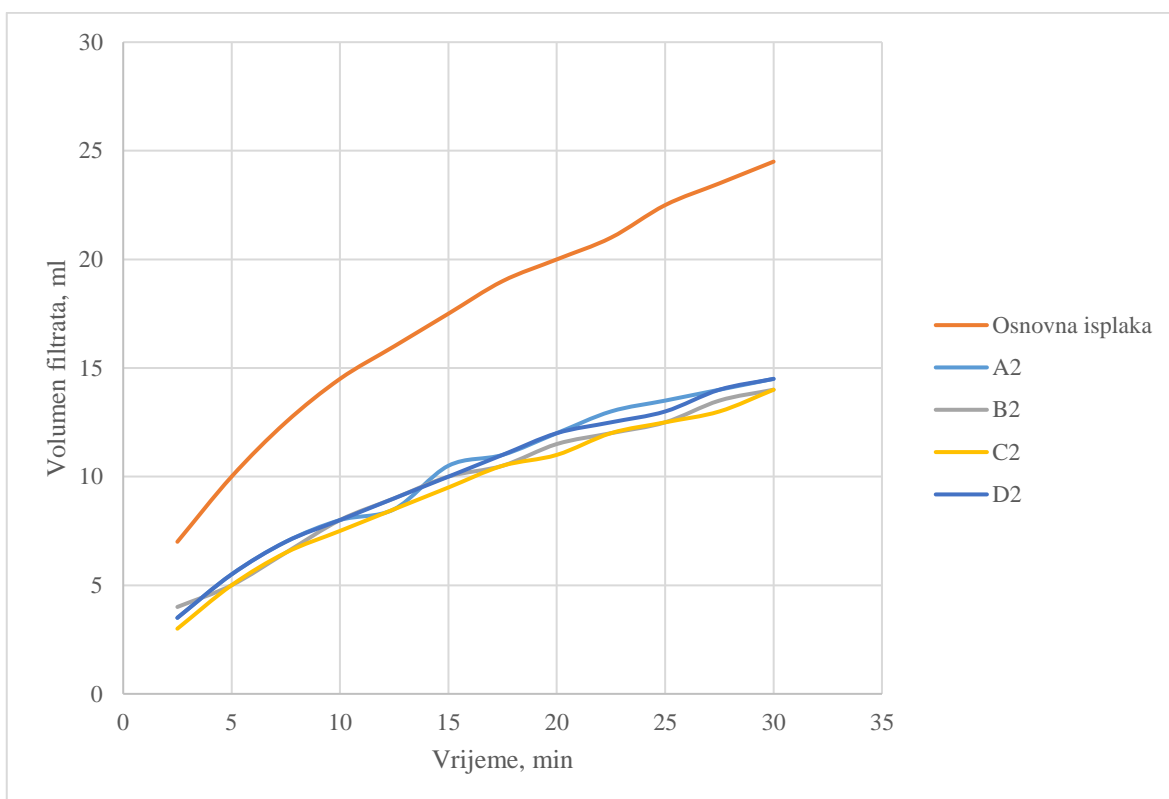
Isplaka	A 1	A 2	A 3	A 4	B 1	B 2	B 3	B 4	C 1	C 2	C 3	C 4	D 1	D 2	D 3	D 4
Smanjenje filtracije, %	29	41	51	49	27	43	51	55	31	43	51	53	29	41	49	55

Debljina isplačnog obloga stvorenog na filter papiru je kod svih ispitivanih isplaka bila vrlo slična i varirala između 1,5 mm i 2 mm, dok je debljina isplačnog obloga kod osnovne isplake bila 2 mm.

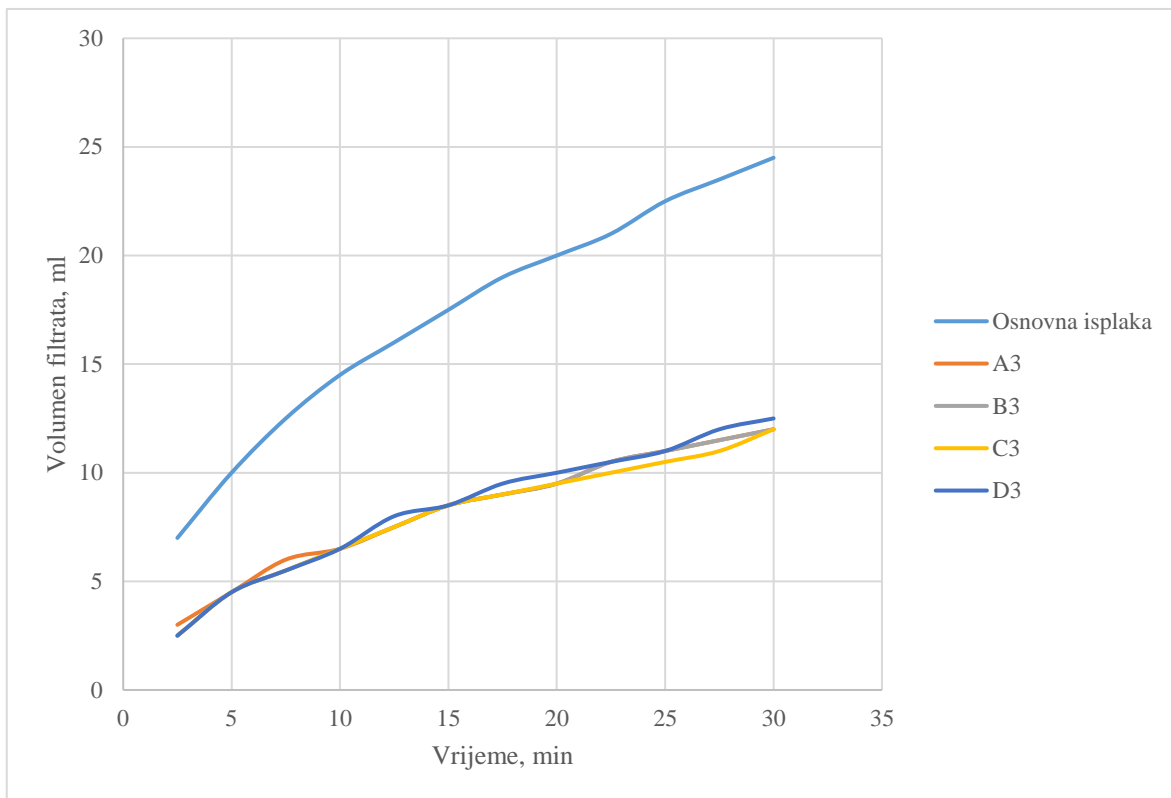
Na Slikama 3-5., 3-6., 3-7. i 3-8. prikazani su grafovi koji prikazuju ovisnost filtracije o veličini čestica pri istim koncentracijama. Iz grafova se može vidjeti kako nema značajne razlike između filtracije isplaka s istom koncentracijom praha kore mandarine različitih veličina čestica.



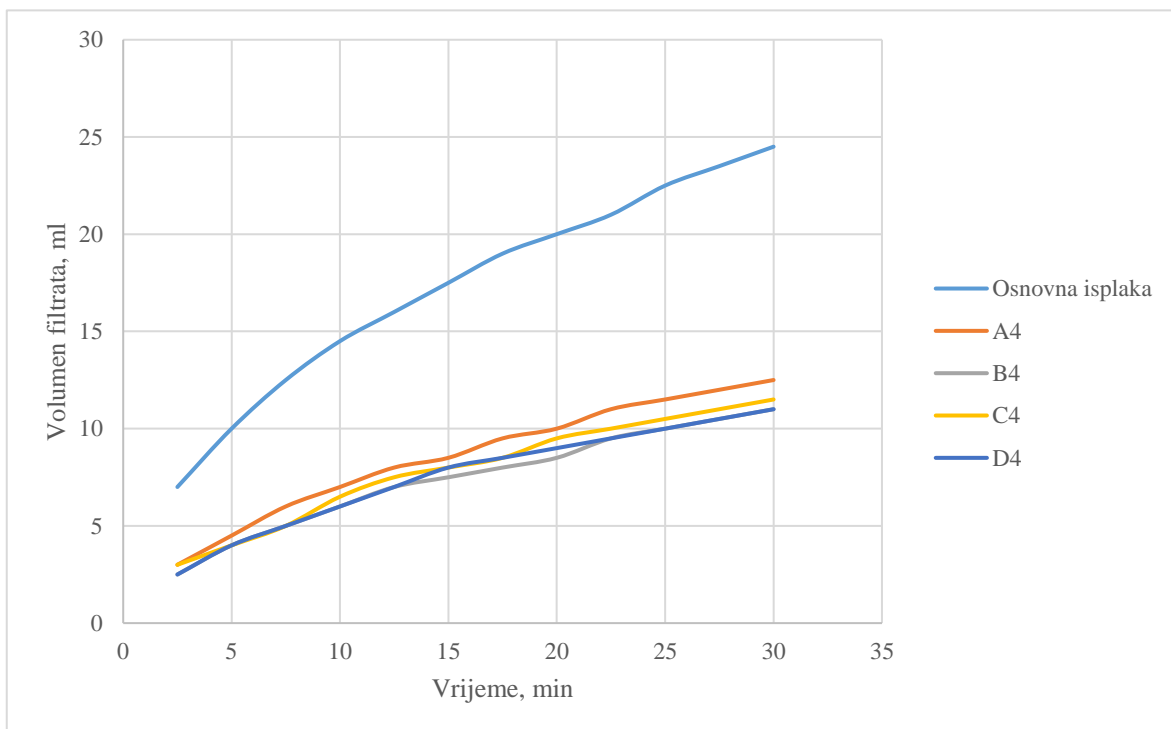
Slika 3-5. Filtracija isplaka s različitim veličinama čestica praha kore mandarine i koncentraciji od 5 g/L



Slika 3-6. Filtracija isplaka s različitim veličinama čestica praha kore mandarine i koncentraciji od 10 g/L



Slika 3-7. Filtracija isplaka s različitim veličinama čestica praha kore mandarine i koncentraciji od 15 g/L



Slika 3-8. Filtracija isplaka s različitim veličinama čestica praha kore mandarine i koncentraciji od 20 g/L

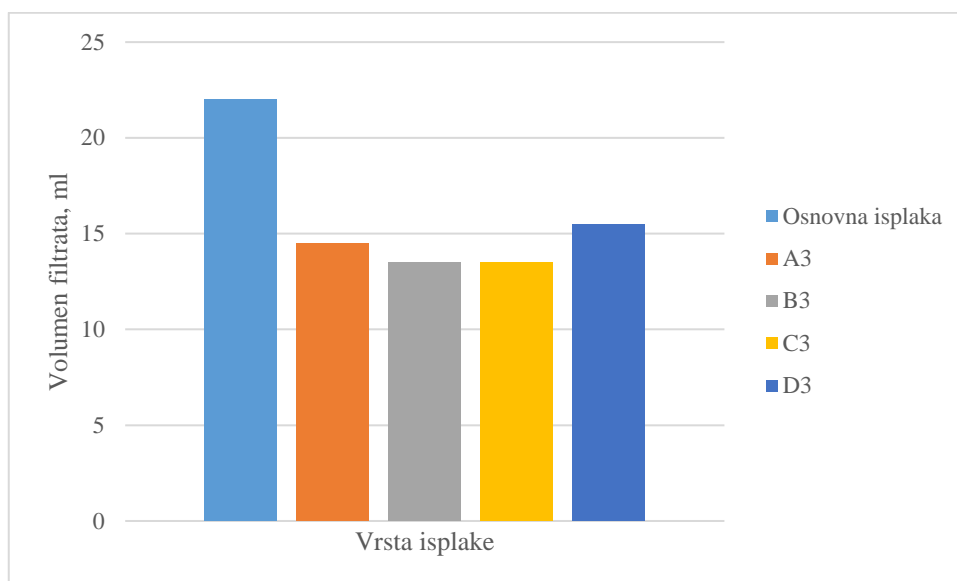
Za mjerenja na PPT uređaju odabrana je samo jedna koncentracija praha kore mandarine (1,5 % na volumen vode). Rezultati mjerenja filtracije ispitivanih isplaka na PPT uređaju pokazali su kako i pri bušotinskim uvjetima, u kojima bi se potencijalno prah kore mandarine mogao koristiti kao aditiv za smanjenje filtracije, dolazi do smanjenja filtracije u odnosu na osnovnu isplaku.

Tablica 3-4. Uvjeti i rezultati mjerenja filtracije na PPT uređaju

Propusnost diska - 0,4 D					
Temperatura – 88 °C					
Diferencijalni tlak – 3447,38 kPa					
	OI	A3	B3	C3	D3
Koncentracija praha kore mandarine u odnosu na volumen vode, %	0	1,5	1,5	1,5	1,5
Volumen filtrata nakon 7,5 minuta, ml	13	8,5	8	7,5	8
Volumen filtrata nakon 30 minuta, ml	22	14,5	13,5	13,5	15,5
Debljina isplačnog obloga, mm	3	4	4	4	4
PPT volumen filtrata, ml	44	29	27	27	31
Početna filtracija, ml	8	5	5	3	1

Iz Tablice 3-4. može se vidjeti kako dodavanjem praha kore mandarine pri povećanom tlaku i temperaturi dolazi do smanjivanja filtracije u odnosu na osnovnu isplaku podvrgnutu istim uvjetima. Također je vidljivo kako nema značajne razlike između krajnjeg rezultata filtracije kod dodavanja praha kore mandarine različitih veličina čestica pri istoj odabranoj koncentraciji (1,5% na volumen vode). Kod isplake A3 (koncentracija 1,5% na volumen vode čestica praha kore mandarine veličine 0,063 – 0,1 mm od) postignuto je smanjenje u filtraciji od 34% u odnosu na baznu isplaku (volumen filtrata smanjen je sa 22 ml na 14,5 ml). Najveće smanjenje filtracije postignuto je kod isplake B3 (koncentracija 1,5% na volumen vode čestica praha kore mandarine veličine 0,05 – 0,063 mm) i C3 (koncentracija 1,5% na volumen vode čestica praha kore mandarine veličine 0,045 – 0,05 mm) u iznosu od 39%. Isplaka D3 (koncentracije 1,5% na volumen vode čestica praha kore mandarine veličine 0 – 0,45 mm) pokazala je najmanje smanjenje od 30% u odnosu na osnovnu isplaku

pri istim uvjetima (smanjenje volumena filtrata s 22 ml na 15,5 ml). Grafički prikaz dobivenih rezultata filtracije nakon 30 minuta prikazan je na Slici 3-9.



Slika 3-9. Filtracija isplake ispitivanih na PPT uređaju nakon 30 min

Tablica 3-5. prikazuje postotno smanjenje filtracije svake ispitivane isplake u odnosu na osnovnu. Iako rezultati dobiveni na PPT uređaju pokazuju znatno smanjenje filtracije, vidljivo je kako u uvjetima povišene temperature i diferencijalnog tlaka aditiv djeluje nešto manjim intenzitetom u odnosu na rezultate zabilježene na API filter preši, što je i očekivano s obzirom na uvjete ispitivanja.

Tablica 3-5. Postotno smanjenje filtracije na PPT uređaju

Isplaka	A3	B3	C3	D3
Smanjenje filtracije, %	34	39	39	30

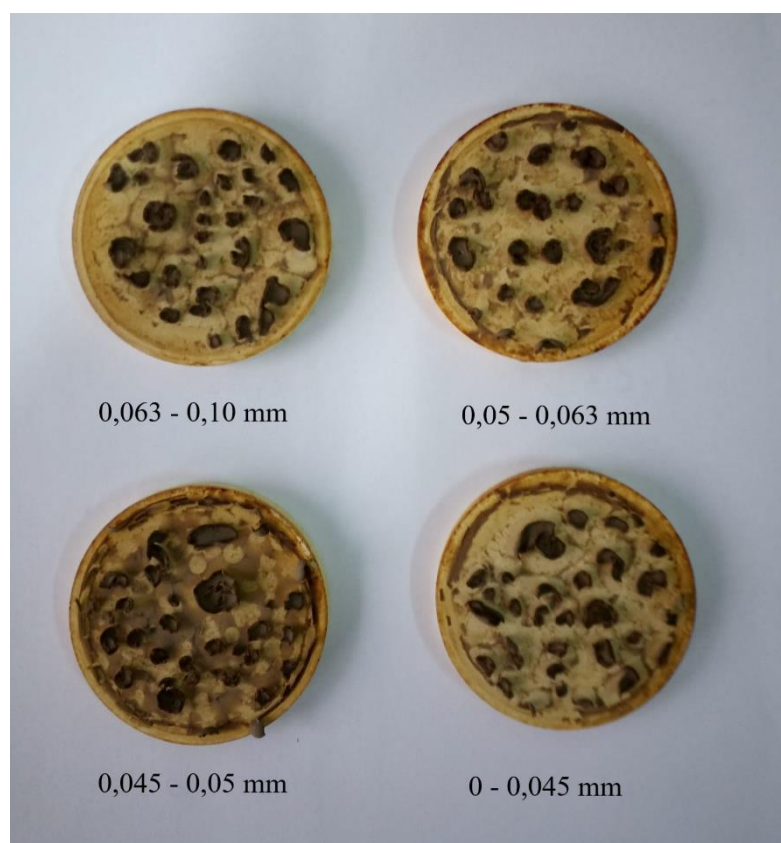
Koristeći jednadžbu 1-1, izračunati su početni gubici fluida prije formiranja isplačnog obloga, odnosno početna filtracija (engl. *Spurt loss*). Tablica 3-6 pokazuje postotno smanjenje u početnim gubiticima isplake u odnosu na osnovnu isplaku. Vidljivo je kako, iako najveće smanjenje filtracije pokazuju isplake B3 i C3, do najvećeg smanjenja u početnim gubiticima dolazi kod isplake D3, odnosno isplake u koju je dodan prah kore mandarine najmanje veličine čestica (0 – 0,045 mm), u iznosu od čak 88%. Uspoređujući Tablice 3-5.

i 3-6., primjećuje se kako se početni gubici smanjuju u puno većem postotku od filtracije, pogotovo kod dodavanja praha kore mandarine čestica manjih veličina (39% i 30% u odnosu na 63% i 88%).

Tablica 3-6. Postotno smanjenje gubitaka isplake prije formiranja isplačnog obloga

Isplaka	A3	B3	C3	D3
Smanjenje početne filtracije, %	38	38	63	88

Debljina isplačnog obloga formirana na keramičkom disku bila je nešto veća kod sve četiri ispitivane isplake u usporedbi s osnovnom isplakom (povećanje s 3 na 4 mm). Takvo povećanje nije značajno te ne bi dovelo do komplikacija pri eventualnoj upotrebi praha kore mandarine kao aditiva za smanjenje filtracije. Isplačni oblozi su ostavljeni da se suše te su prikazani na Slici 3-10.



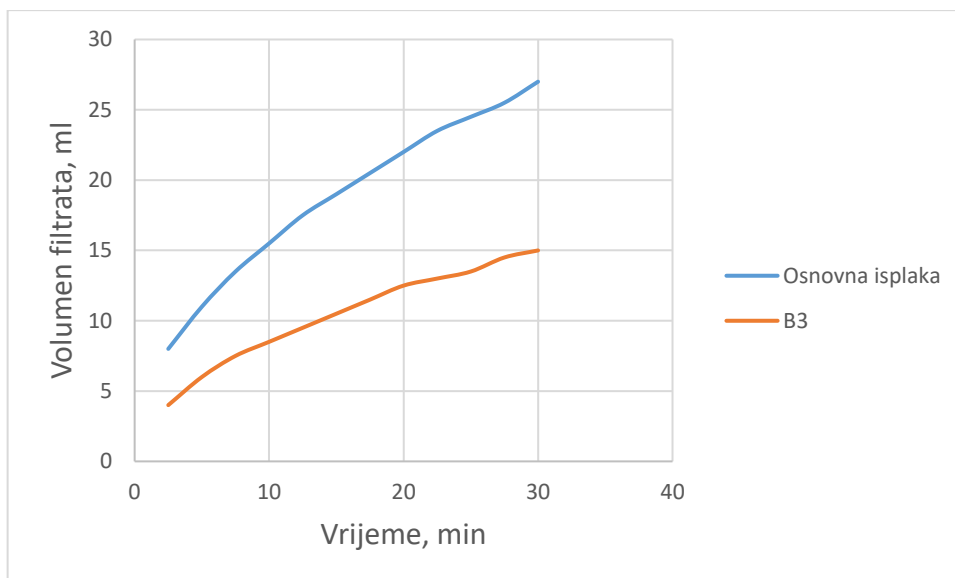
Slika 3-10. Isplačni oblozi stvoreni na keramičkim diskovima prilikom ispitivanja na PPT uređaju

Kao referentna isplaka za ispitivanje temperaturne stabilnosti odabrana je isplaka B3 (koncentracije 1,5% na volumen vode čestica praha kore mandarine veličine 0,05 – 0,063 mm) na temelju rezultata prethodno provedenih ispitivanja te količini prikupljene B frakcije. Isplaka je podvrgnuta šesnaestosatnom starenju na četiri različite temperature prije nego su joj ispitana filtracijska svojstva na API filter preši. Ispitivane temperature bile su: 125 °C, 130 °C, 135 °C i 140 °C. Dobiveni rezultati prikazani su u Tablici 3-7.

Tablica 3-7. API filtracija isplaka nakon starenja na visokim temperaturama

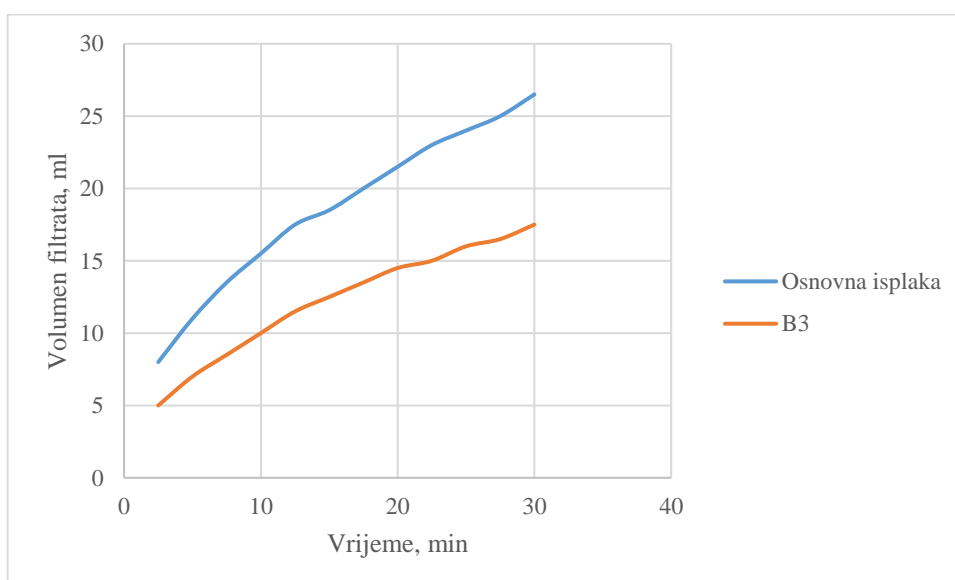
Vrijeme (min)	API filtracija, ml							
	125°C		130°C		135°C		140°C	
	OI	B3	OI	B3	OI	B3	OI	B3
2,5	8	4	8	5	7,5	5	7,5	6,5
5	11	6	11	7	11	7	10,5	9,5
7,5	13,5	7,5	13,5	8,5	13,5	9	13	11,5
10	15,5	8,5	15,5	10	15,5	10	15	13
12,5	17,5	9,5	17,5	11,5	17	11,5	16,5	15
15	19	10,5	18,5	12,5	18,5	12,5	18,5	16
17,5	20,5	11,5	20	13,5	20	14	20	17
20	22	12,5	21,5	14,5	21	15	21	18,5
22,5	23,5	13	23	15	22,5	15,5	22,5	19,5
25	24,5	13,5	24	16	23,5	16,5	23,5	20,5
27,5	25,5	14,5	25	16,5	24,5	17	24,5	21,5
30	27	15	26,5	17,5	25,5	18	25,5	22,5

Na Slici 3-11. prikazan je graf filtracije dviju ispitivanih isplaka; osnovne isplake bez dodanih aditiva i B3 (koncentracije 1,5% na volumen vode praha kore mandarine veličine 0,05 – 0,063 mm), nakon šesnaestosatnog starenja na 125°C. Vidljivo je kako pri toj temperaturi prah kore mandarine efikasno djeluje na smanjenje filtracije te smanjuje volumen filtrata sa 27 ml na 15 ml (44%).



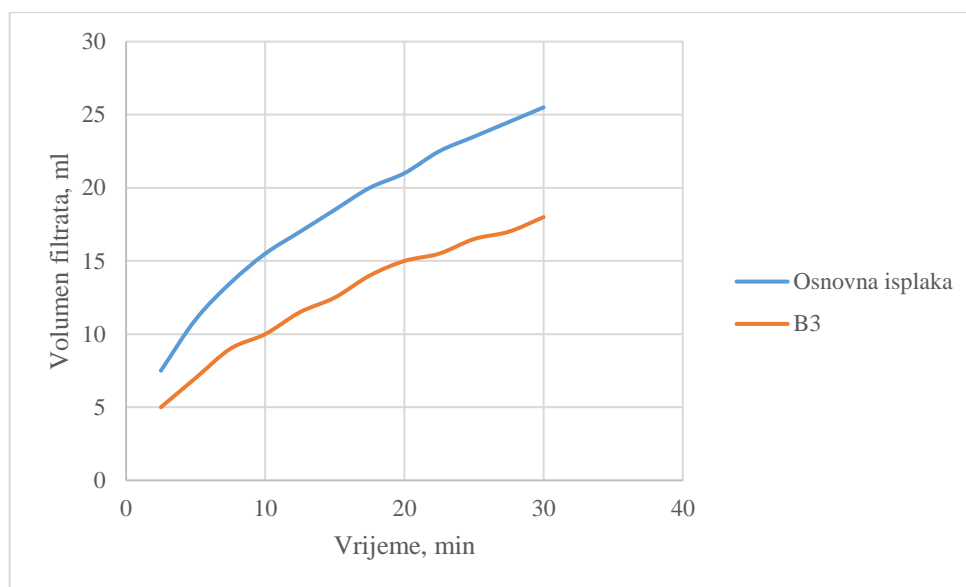
Slika 3-11. Filtracija osnovne i B3 isplake nakon 16-satnog starenja na 125°C

Povećanjem temperature starenja isplaka na 130°C djelotvornost upotrebe praha kore mandarine u smanjenju filtracije se smanjuje, no i dalje dolazi do znatnog smanjenja u volumenu filtrata, kao što je vidljivo na Slici 3-12. Krajnje smanjenje filtracije iznosilo je 34%, odnosno volumen filtrata smanjio se sa 26,5 ml na 17,5 ml u odnosu na osnovnu isplaku.



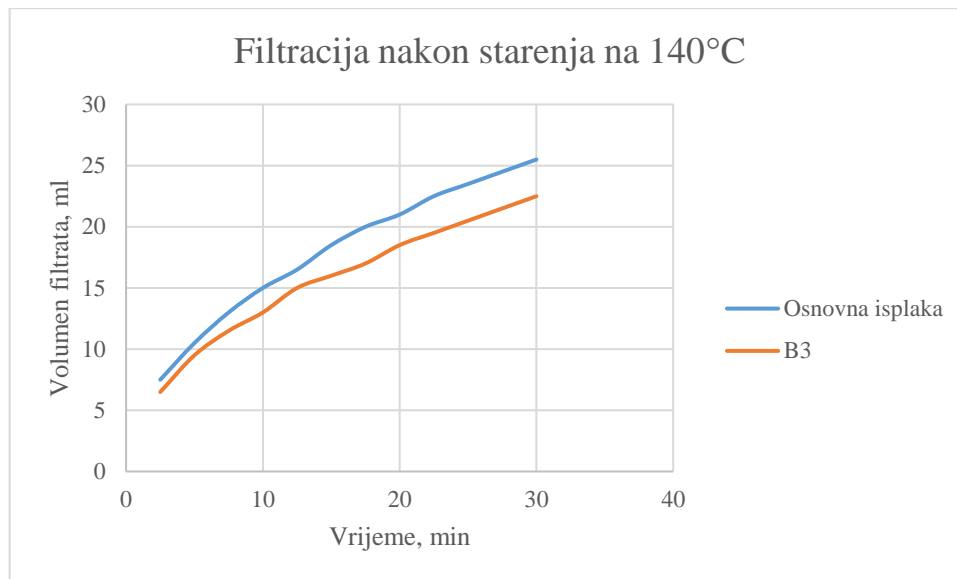
Slika 3-12. Filtracija osnovne i B3 isplake nakon 16-satnog starenja na 130°C

Dodatnim povećanjem temperature starenja na 135°C volumen filtracije isplake u koju je dodan prah kore mandarine u odnosu na osnovnu isplaku smanjuje se sa 25,5 ml na 18 ml, odnosno 29%. Grafičkim prikazom na Slici 3-13. vidljivo je kako pri toj temperaturi prah kore mandarine i dalje može biti uporabljiv kao aditiv za smanjenje filtracije.



Slika 3-13. Filtracija osnovne i B3 isplake nakon 16-satnog starenja na 135°C

Na Slici 3-14. može se vidjeti kako na posljednjoj testiranoj temperaturi od 140°C dolazi do značajnog pada u djelotvornosti praha kore mandarine kao aditiva za smanjenje filtracije. Volumen filtrata isplake B3 u odnosu na osnovnu isplaku bez aditiva smanjio se sa 25,5 ml na samo 22,5 ml, što je smanjenje od samo 12%.



Slika 3-14. Filtracija osnovne i B3 isplake nakon 16-satnog starenja na 140°C

U Tablici 3-8. uspoređeni su rezultati krajnjih postotnih smanjenja filtracije sve četiri ispitivane isplake. Vidljivo je da prah kore mandarine efikasno djeluje kao aditiv za smanjenje filtracije sve do temperature od približno 140 °C gdje počinje gubiti svoja svojstva smanjenja filtracije te se više ne bilježe znatno bolji rezultati u odnosu na osnovnu isplaku.

Tablica 3-8. Krajnja postotna smanjenja filtracija osnovne i B3 isplake nakon 16-satnog starenja

Isplaka/temperatura na kojoj je starila isplaka	B3/125°C	B3/130°C	B3/135°C	B3/140°C
Smanjenje filtracije, %	44	34	29	12

4. ZAKLJUČAK

Tijekom posljednjeg desetljeća potreba za uvođenjem cirkularne ekonomije u razne gospodarske djelatnosti postala je sve veća, pa tako i u naftnoj industriji. Prilikom bušačkih operacija dolazi do generiranja velike količine otpada kojeg je potrebno zbrinuti na adekvatan način. Znatno broj aditiva koji se dodaju isplakama na bazi vode spadaju u nerazgrađujuće i štetne za okoliš. Iz tog razloga provode se mnoga istraživanja koja imaju za cilj imala pronalazak biorazgradivih materijala koji bi mogli poslužiti kao aditivi za kontrolu pojedinih svojstava isplake. U ovom je istraživanju ispitivani materijal bio prah kore mandarine. Zadatak je bio vidjeti na koji način veličina čestica praha kore mandarine i njegova koncentracija utječu na filtraciju isplake.

Nakon prikupljanja kore mandarina, u prvoj fazi pripreme korišten je sušionik u kojem se materijal zagrijavao 48 sati pri temperaturi od 90 °C, kako bi se dehidrirao. Nakon toga materijal je ostavljen na suhom mjestu sljedećih 24 sata te je potom smrvljen u blenderu. Tako dobiven prah je prosijan kroz četiri sita različitih otvora kako bi se dobile četiri frakcije koje su, u okviru ovog istraživanja, testirane u isplaci: frakcija A (raspon veličina čestica od 0,063 mm do 0,10 mm), frakcija B (raspon veličina čestica od 0,05 mm do 0,063 mm), frakcija C (raspon veličina čestica od 0,045 mm do 0,05 mm) i frakcija D (raspon veličina čestica od 0 mm do 0,045 mm). Isplake su prvo ispitivane na statičku filtraciju na API filter preši, a svaka frakcija je miješana u osnovnu isplaku na bazi vode u četiri različite koncentracije: 2 g/l, 4 g/l, 6 g/l i 8 g/l. Nakon toga odabrana je referentna koncentracija pri kojoj je svaka frakcija ponovno dodana u baznu isplaku i testirana na PPT uređaju. Na kraju je odabrana referentna isplaka koja je testirana na API filter preši nakon starenja na četiri različite temperature: 125 °C, 130 °C, 135 °C i 140 °C.

Rezultati dobiveni testovima na API filter preši pokazali su kako s povećanjem koncentracije praha kore mandarine u isplaci na bazi vode dolazi do smanjenja filtracije u odnosu na osnovnu isplaku bez aditiva. Najveće smanjenje od čak 55% pokazale su isplake B4 (koncentracije 2% na volumen vode; veličine čestica 0,05 – 0,063 mm) i D4 (koncentracije 2% na volumen vode; veličine čestica praha kore mandarine veličine 0 – 0,045 mm). Isplake istih koncentracija, a različitih veličina čestica praha kore mandarina pokazivale su vrlo slične rezultate te se može zaključiti kako veličina čestica pri laboratorijskim uvjetima ne utječe značajno na smanjenje filtracije.

PPT uređaj mjeri filtraciju pri povišenoj temperaturi i tlaku te su njegovi rezultati pokazali kako čak i pri tim uvjetima, u kojima bi se aditiv eventualno i koristio, prah kore mandarine pokazuje dobre rezultate u smanjenju filtracije u odnosu na osnovnu isplaku. Vidljivo je da nema značajne razlike između krajnjeg rezultata filtracije kod isplaka s različitim veličinama čestica praha kore mandarine pri istoj koncentraciji (odabrana referentna koncentracija 1,5% na volumen vode). Najveće smanjenje filtracije postignuto je kod isplaka B3 (koncentracije 1,5% na volumen vode čestica praha kore mandarine veličine 0,05 – 0,063 mm) i C3 (koncentracije 1,5% na volumen vode čestica praha kore mandarine veličine čestica 0,045 – 0,05 mm) u iznosu od 39%. Također, utvrđeno je kako se kod isplake s najmanjim veličinama čestica praha kore mandarine početni gubitci (eng. *Spurt loss*) smanjeni u najvećem postotku od čak 88%.

Isplake koje su starile na povišenim temperaturama su pokazivale dobra svojstva smanjenja filtracije sve do 135 °C gdje je uočen negativan utjecaj viših temperatura na filtracijska svojstva, dok na 140 °C prah kore mandarine ima vrlo slabu djelotvornost i nije ga korisno upotrebljavati kao aditiv za smanjenje filtracije.

Prema dobivenim rezultatima može se zaključiti kako različite veličine čestica praha kore mandarine uglavnom ne rezultiraju znatnim razlikama u vrijednostima filtracije isplake, te da koncentracija samog aditiva igra puno veću ulogu. Svakako, prah kore mandarine kao aditiv za smanjenje filtracije pokazuje zadovoljavajuća svojstva te bi se mogao koristiti u tu svrhu. Također, na taj način se pridonosi razvitku cirkularne ekonomije u naftnoj industriji jer se biorazgradivi otpad koristi ponovno u druge svrhe te ne dolazi do njegovog odlaganja u prirodi. S obzirom na visoku godišnju proizvodnju mandarina u Republici Hrvatskoj, prah kore mandarine bi se isplativo mogao koristiti kao aditiv za isplaku.

5. POPIS LITERATURE

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., ALKINANI, H.H., DUNN-NORMAN, S., ALASHWAK, N.A., ALSHAMMARI, A.F., ALKHAMIS, M.M., ALBAZZAZ, H.F., MUTAR, R.A., ALSABA, M.T. 2019. Environmental friendly drilling fluid additives: Can food waste products be used as thinners and fluid loss control agents for drilling fluid?, In Proceedings of the SPE Symposium: Asia Pacific Health, Safety, Security, Environment and Social Responsibility, Kuala Lumpur, Malaysia
3. AMOCO PRODUCTION COMPANY, 2010. Drilling Fluids Manual
4. BRNIĆ, Z. 1989. Priručnik o isplaci, INA- Naftaplin – OOUR bušenje, Zagreb
5. GAURINA-MEDIMUREC, N. 1998. Horizontal Well Drill-In Fluids, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 10
6. GAURINA-MEDIMUREC, N., SIMON, K., MATANOVIĆ, 2000. Drill-In Fluids Design Criteria, Nafta (Special Issue)
7. GAURINA-MEDIMUREC, N., 2009. Bušotinski Fluidi i Isplaka – I dio: Zadaci isplake, Zagreb
8. 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
9. HRVATSKI ZAVOD ZA STATISTIKU, 2023. Proizvodnja povrća, voća i grožđa u 2022. ISSN 1334-0557
10. 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
11. KAZA, S., YAO, L., BHADA-TATA, P., VAN WOERDEN, F. 2018. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050., World bank group
12. LONČAR, J., 2000. Primjena PPT instrumenta za odabir drill-in fluida, Zagreb
13. M-I SWACO, 2005. Drilling Fluids Engineering Manual
14. MAHTO, V., SHARMA, V., 2004. Rheological study of a water based oil well drilling fluid. Journal of Petroleum Science and Engineering, 45(1):123–128

15. MEDVED, I., PAŠIĆ, B., MIJIĆ, P., 2023. The influence of mandarin peel powder on filtration properties and temperature stability of water-based drilling mud, Rudarsko-Geološko-Naftni Zbornik, 38(2)
16. NYECHE, W., NMEGBU, J., IFEOMA, P., 2015. Drilling mud formulation using potato starch (*Ipomoea batatas*), Journal of Engineering Research and Applications
17. OFITE. 2015. Instructions For Use Of The Permeability Plugging Tester Part No. 171-90, OFI Testing Equipment, Inc.
18. 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
19. PAŠIĆ, B., GAURINA-MEDIMUREC, N., MATANOVIĆ, D. 2007. Wellbore Instability: Causes and Consequences, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 19, No. 1
20. PAŠIĆ, B., GAURINA-MEDIMUREC, N., MIJIĆ, P., MEDVED, I. 2020. Experimental research of shale pellet swelling in nano-based drilling muds, Advances in Drilling Fluid Technology (Special Issue)
21. ZHENG, Y., AMIRI, A., POLYCARPOU, A.A. 2020. Enhancements in the tribological performance of environmentally friendly water-based drilling fluids using additives, Applied Surface Science

IZJAVA

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

Student – autor

Handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Sabljak', written over a horizontal line.

(potpis)



KLASA: 602-01/24-01/34
URBROJ: 251-70-12-24-2
U Zagrebu, 14.02.2024.

Filip Sabljak, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/34, URBROJ: 251-70-12-24-1 od 14.02.2024. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

UTJECAJ VELIČINE ČESTICA PRAHA KORE MANDARINA NA FILTRACIJSKA SVOJSTVA ISPLAKE NA BAZI VODE

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog 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)

(potpis)

dr. sc. Igor Medved

(titula, ime i prezime)

Predsjednica povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

izv. prof. dr. sc. Karolina
Novak Mavar

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

izv. prof. dr. sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)