

Dunja Sokolović<sup>1</sup>, Arpad Kiral<sup>2</sup>, Milica Hadnađev-Kostić<sup>2</sup>,  
Thomas Laminger<sup>3</sup>, Srđan Sokolović<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, <sup>2</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad, Srbija, <sup>3</sup>Tehnički Univerzitet u Beču, Institut za hemijsko inženjerstvo, TU WIEN, Beč, Austrija, <sup>4</sup>NIS a.d. Novi Sad, Novi Sad, Srbija

Naučni rad

ISSN 0351-9465, E-ISSN 2466-2585

UDC:66.063.37.062.2

doi: 10.5937/ZasMat1703293S



Zastita Materijala 58 (3)  
293 - 296 (2017)

## Uticaj viskoznosti dispergovane faze na koalescentnu filtraciju

### IZVOD

Zauljene vode neminovno su pratilac u svim granama procesne industrije: preradi nafte, proizvodnji nafte, petrohemijskih, farmaceuskih i drugih hemijskih proizvoda, u prehrambenoj, kao i u metaloprerađivačkoj industriji, servisima za održavanje vozila i na brodovima. Zbog široke primene koalescera za tretman zauljenih voda i složenosti fenomena, projektovanju odgovarajućih koalescentnih filtera specifičnih karakteristika predhode opsežna poluindustrijska istraživanja. U različitim granama procesne industrije, potrebno je izvršiti separaciju dispergovane uljne faze različite prirode, pri čemu je viskoznost jedna od bitnih osobina koja utiče na separaciju. Pored toga geometrija sloja može da promeni uticaj viskoznosti. Cilj ovog rada je da ispita uticaj viskoznosti dispergovane uljne faze primenom sloja vlakana dva otpadna polimera različite permeabilnosti na efikasnost koalescentne filtracije. U ovom radu dati su rezultati ispitivanja tri različite model emulzije dobijene dispergovanjem uljne faze: domaća nafta A, njena frakcija A4 i namešani poluproizvod P1 u vodi za piće. Eksperimenti su vršeni u opsegu peremabilnosti sloja od  $0,18 \cdot 10^{-9}$  do  $5,389 \cdot 10^{-9}$  m<sup>2</sup>. Korišćeni su otpadni polietilenteraftalat BA1 i otpadni polipropilen, PP. Opseg brzina u ogledu bio je od 19 do 70 m/h. U slučaju kada viskoznost disperzne faze varira od 10 do 168 mPa s, filtarsko punjenje u koalesceru treba da bude od materijala BA1, a permeabilnost sloja niska. Dok je punjenje PP pogodno za korišćenje u slučaju viših viskoznosti disperzne faze preko 80mPa s kada je neophodno da sloj bude visoke permeabilnosti jer se u tim okolnostima postiže veća radna brzina. Cilj je naći uslove u kojima se realizuje veća radna brzina pošto se time smanjuje dimenzija uređaja.

**Ključne riječi:** koalescentna filtracija, zauljene vode, viskoznost uljne faze, naftno polje.

### 1. UVOD

Problem separacije ulja iz zauljenih otpadnih voda prisutan je u svim granama procesne industrije, uslovljen bilo pojedinim tehnološkim operacijama u samom procesu proizvodnje ili pratećim postupcima u celovitoj tehnološkoj liniji, a značajan je i u drugim oblastima u kojima su otpadne zauljene vode prateći deo delatnosti. Zauljene vode neminovno su pratilac proizvodnje nafte na naftnim poljima i na naftnim platformama, posebno pri hlađenju procesnih uređaja kao i pumpi, kompresora, rezervoara. Otpadne vode ovog tipa formiraju se i tokom operacija održavanja proizvodnih mašina, pranja radnih površina i održavanja voznog parka, a prisutne su i u servisima za održavanje vozila.

Dosadašnja istraživanja pokazala su da je koalescentna filtracija jedan od efikasnih postupaka separacije ulja iz zauljenih voda u svim granama procesne industrije: kod proizvodnje i prerade nafte, proizvodnje petrohemijskih, farmaceuskih i drugih hemijskih proizvoda, u prehrambenoj, metaloprerađivačkoj industriji, kao i u servisima za održavanje vozila i na brodovima, pri čemu je razvoj odgovarajućih koalescentnih filtera specifičnih karakteristika jedan od fokusa sveobuhvatnih istraživanja složenih fenomena separacije višefaznih sistema [1-4].

Sa obzirom na široku primenu koalescentne filtracije u različitim granama procesne industrije, gde je potrebno separisati dispergovanu uljnu fazu različite viskoznosti, cilj ovog rada je da ispita uticaj viskoznosti dispergovane uljne faze na efikasnost separacije primenom dva različita polimerna materijala kao filtarska materijala pri različitoj permeabilnosti sloja.

\*Autor za korespondenciju: Dunja Sokolović

E-mail: dunjaso@uns.ac.rs

Rad primljen: 20.05.2017.

Rad prihvacen: 22.06.2017.

Rad je dostupan na sajtu: www.idk.org.rs/casopis

Koalescentna filtracija se neretko primenjuje na naftinim poljima za separaciju nafte iz ležišnih voda, gde je viskoznost dispergovane faze promenljiva u toku eksploatacije nafte, te je kao dispergovana uljna faza u ovom radu uzet uzorak nafte i njenih derivata.

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

Eksperimenti su realizovani na model emulziji tipa ulje u vodi pri horizontalnoj orijentaciji toka fluida, kao optimalnoj. Aparatura na kojoj su realizovana ispitivanja detaljno je opisana u prethodnim radovima [5-11].

Model zauljene vode pripreman je korišćenjem vode za piće u dva rezervoara od 80 L, i dispergovanjem ulja kontinualnim mešanjem properelskim mešalicama brzinom od 650  $\text{°/min}$  u trajanju od 45 min pre početka ogleada i kontinualno tokom ogleada kako bi se održala prosečna veličina kapi od 10  $\mu\text{m}$ .

Model emulzija je formirana dispergovanjem različitog ulja u vodi za piće. Ulja koja su dispergovana su: domaća nafta A, njena frakcija A4, i namešani poluproizvod P1 bez aditiva, a njihove osobine date su u tabeli 1.

Tabela 1. Fizičko-hemijske osobine dispergovane faze

Table 1. Physico-chemical characteristics of dispersed phase

Analiza/uzorak	A	A4	P1
Gustina 20 °C, $\text{kg/m}^3$	915,5	918,9	879,0
Viskoznost na 40 °C, $\text{mPa s}$	43	169	10
Neutralizacioni broj, $\text{mg KOH/L}$	1,42	1,71	0,13
Tačka tečenja °C	-42	-3	+3
Međupovršinski napon, $\text{mN/m}$	18,8	30,5	32,4
Površinski napon, $\text{mN/m}$	26,56	27,72	30,16
Emulzivnost % v/v	99,92	70,00	54,17
Dielektrična konstanta	0,1612	0,1905	0,0645
Molska masa, $\text{g/mol}$	410	520	300

Koalescentna filtracija realizovana je primenom vlaknastog sloja polietilenteraftalata (BA1) i primenom vlaknastog sloja polipropilena (PP), čije su osobine prikazane u tabeli 2.

Korišćen je otpadni polietilenteraftalat BA1, koji se koristi kao termo punjenje zimskih jakni, dok korišćena vlakna polipropilena PP, predstavljaju otpad nastao pri proizvodnji tepiha.

Debljina sloja bila je konstanta i iznosila je 5 cm. Geometrija sloja varirana je promenom per-

meabilnosti sloja. Permeabilnost sloja je varirana u opsegu od  $0,18 \cdot 10^{-9}$  do  $5,389 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$ .

Tabela 2. Osobine materijala

Table 2. Characteristics of materials

Materijal	Gustina $\text{kg/m}^3$	Tačka topljenja °C	Dielektrična konstanta	Kritični površinski napon $\text{mN/m}$
Polietilenteraftalat, BA1	1400	254,3	2,3	31
Polipropilen, PP	900	168,60	1,5	30,5

Opseg brzina u ogledu bio je od 19 do 70  $\text{m/h}$ . Odabrana brzina je držana konstantnom jedan sat.

Ulazna koncentracija dispergovanog ulja model emulzije iznosila je 500  $\text{mg/L}$  i takođe je konstantna u svim ogledima, koji su izvođeni pri konstantnoj temperaturi od 20°C. Izlazna koncentracija uljne faze određivana je FTIR metodom.

Efikasnost koalescencije praćena je preko izlazne koncentracije uljne faze  $C_i$ . Dozvoljena koncentracija ulja u tehnološkim otpadnim vodama, prema važećim propisima kreće se od 15 do 30  $\text{mg/L}$  [12,13], te je u ovim ogledima kao gornja granica dozvoljene koncentracije ulja u izlaznom toku uzeta 15  $\text{mg/L}$ .

## 3. REZULTATI I DISKUSIJA

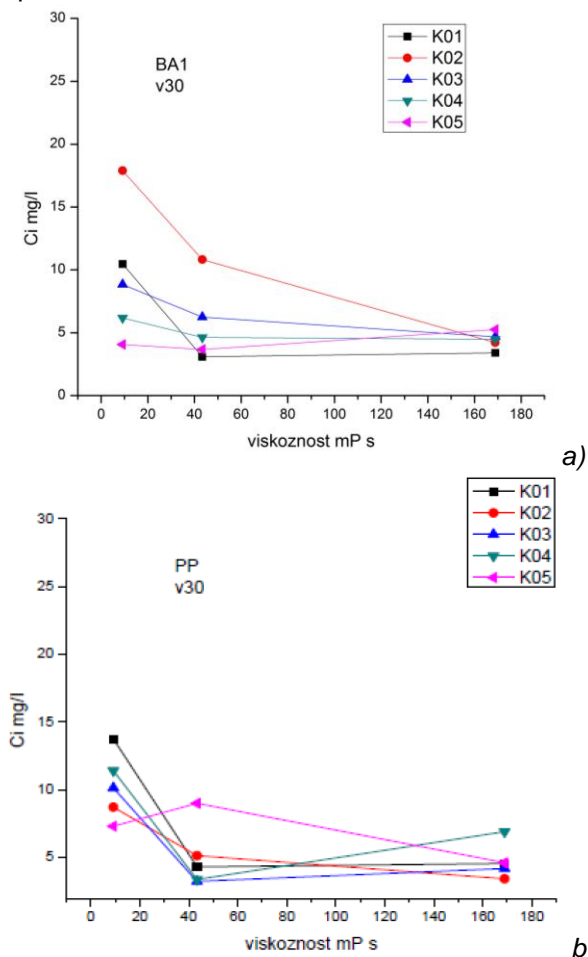
U ovom radu ispitivan je uticaj viskoznosti dispergovane uljne faze na koalescentnu filtraciju primenom dva različita polimerna materijala kao filterska materijala, polietilenteraftalata BA1 i polipropilena PP pri različitim permeabilnostima sloja.

Na slici 1. dat je prikaz zavisnosti izlazne koncentracije uljne faze,  $C_i$ , u vodi nakon tretmana zauljene vode koalescentnom filtracijom, za sve ispitivane model emulzije pri svim ispitivanim permeabilnostima sloja, a pri radnoj brzini fluida od 30  $\text{m/h}$ .

Na osnovu dobijenih rezultata uočava se da je koalescentna filtracija efikasnija kada disperzna faza ima višu viskoznost, što je slučaj za oba ispitivana vlaknasta materijala. Međutim, kada je u vodi dispergovano ulje niske viskoznosti, tada je materijal PP efikasniji, pošto zadovoljava izlaznu koncentraciju manju od 15  $\text{mg/L}$  za sve ispitivane permeabilnosti sloja, za razliku od materijala BA1.

Šećerov Sokolović i saradnici su uveli vrednost kritične brzine kao granice prirode ponašanja sistema. Za brzine ispod kritične, viskoznost dispergovane faze, za posmatrani opseg permeabilnosti sloja, ne utiče na izlaznu koncentraciju, dok drastično utiče za brzine iznad kritične [4]. Autori definišu vrednosti kritične brzine kao ključnu vrednost pri

projektovanju koalescera, jer se time određuju kapacitet i dimenzije uređaja. Radna brzina treba da je što veća, ali ispod kritične vrednosti za dati sistem. Autori predlažu da se usvoji brzina pri kojoj izlazna koncentracija dostiže vrednost od 15 mg/L, što je često preporučeni limit koncentracije ulja u otpadnim vodama.



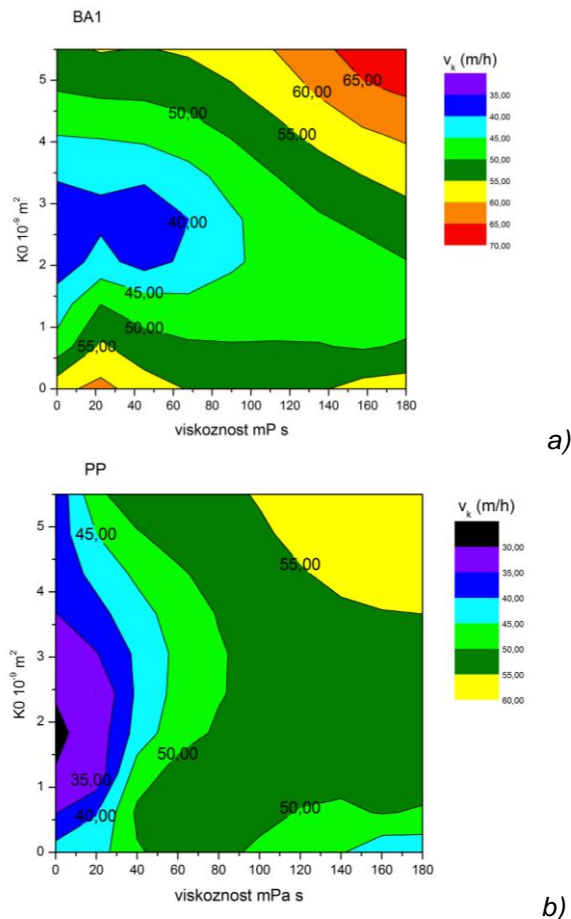
Slika 1. Zavisnost izlazne koncentracije od viskoznosti dispergovanog ulja za sve ispitivane permeabilnosti sloja: a) materijal BA1, b) materijal PP  
Figure 1. Dependence of the effluent oil concentration on the viscosity of the dispersed oil for all investigated bed permeability: a) material BA1, b) material PP

Na slici 2 dat je prikaz izokritičnih brzina, za sve ispitivane permeabilnosti sloja primenjene za tretman navedenih model emulzija, primenom otpadnih vlaknastih polimera BA1 i PP.

Na osnovu prikazanih dijagrama (slika 2) uočljivo je da se u predelu niskih viskoznosti i niskih permeabilnosti sloja postižu manje kritične brzine, a nasuprot tome pri visokim permeabilnostima i viskoznostima postižu se više kritične brzine, kod BA1 čak 70 m/h

Ako se detaljno analizira konturni dijagram za materijal BA1, uočava se da je njegovom primenom uticaj viskoznosti dispergovane faze najmanji kod najnižih permeabilnosti sloja, dok je kod sred-

njih i viših permeabilnosti on izraženiji. Sa druge strane kod materijala PP uticaj viskoznosti dispergovane faze je dominantan za opseg ispitivanih permeabilnosti u slučaju kada je viskoznost ulja manja od 80 mPa s, dok to nije slučaj kada su ulja viskoznija.



Slika 2. Prikaz zavisnosti izokritične brzine od viskoznosti ulja za sve permeabilnosti sloja a) materija BA1, b) materijal PP

Figure 2. Dependence of the izokritical velocity on the viscosity of the dispersed oil for all investigated bed permeability: a) material BA1, b) material PP

#### 4. ZAKLJUČAK

Oba ispitivana materijala, za sve ispitivane uzorke pokazuju određenu oblast geometrije sloja (permeabilnosti) u kojoj viskoznost uljne faze neznatno utiče na koalescenciju. U slučaju kada viskoznost dispergovane uljne faze varira u od 10 do 168 mPa s, bolje je za separaciju koristiti materijal BA1, i to pri najmanjoj permeabilnosti sloja,  $0,18 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$ , pošto je u toj oblasti koalescer sa materijalom BA1 najmanje osetljiv na promenu viskoznosti dispergovane faze, a sa druge strane postiže visoku kritičnu brzinu od 50 m/h.

Međutim, kada su viskoznosti dispergovane uljne faze veće od 80 mPa s, onda je bolje koristiti

PP vlakana, pošto se postiže kritična brzina od čak 55 m/h za najveći opseg permeabilnosti sloja. Ukoliko je viskoznost disperzne uljne faze preko 100 mPa s, primenom PP vlaknastog sloja pri izrazito visokim permeabilnostima sloja mogu se postići radne brzine i do 60m/h. Koji će materijal biti odabran svakako pored prirode uljne faze, tj. njene viskoznosti, zavisi i koja permeabilnost sloja je odabrana. Cilj je naći uslove u kojima se realizuje veća radna brzina pošto se time smanjuje dimenzija uređaja, dok mu kapacitet ostaje nepromenjen.

#### Zahvalnica

Ovaj rad je urađen uz finansijsku pomoć Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (projekat br.172022).

#### LITERATURA

- [1] D.Govedarica, D.Sokolović (2014) *Separacija emulzija koalescencijom u sloju vlakana*, Novi Sad, Srbija: Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Univerzitet u Novom Sadu
- [2] R.Šećerov Sokolović, S.Sokolović, S.Šević (2009) Oily water treatment using a new steady-state fiber-bed coalesce, *J. Hazard. Mater.*, 162, 410–415.
- [3] R.Šećerov Sokolović, D.Govedarica, D.Sokolović (2010) Separation of oil-in- water emulsion using two coalescers of different geometry, *J. Haz. Mat.*, 175 (1-3), 1001-1006.
- [4] J.Li, Y.Gu (2005) Coalescence of Oil-in-Water Emulsions in Fibrous and Granular Beds., *Sep. Purif. Technol.*, 42, 1–13.
- [5] R.Šećerov Sokolović, T.Vulić, S.Sokolović (2006) Effect of fluid flow-orientation on the coalescence of oil droplets in steady-state bed coalescers, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 45, 3891–3895.
- [6] R.Šećerov Sokolović, T.Vulić, S.Sokolović (2007) Effect of bed length on steady-state coalescence of oil-in-water emulsion, *Sep. Purif. Technol.*, 56, 79–84.
- [7] R.Šećerov Sokolović, S.Sokolović, B.Djoković (1997) Effect of working conditions on bed coalescence of an oil-in-water emulsion using a polyurethane foam bed, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 36 (11), 4949–4953.
- [8] R.Šećerov Sokolović., T.Vulić, S.Sokolović, R.Marinković Nedučin (2003) Effect of fibrous bed permeability on steady-state coalescence, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 42, 3098–3102.
- [9] R.Šećerov Sokolović, S.Sokolović (2004) Effect of the nature of different polymeric fibers on steady-state bed coalescence of an oil-in-water emulsion, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 43 (20), 6490–6495
- [10] A.Kiralj (2017) Simultani uticaj energije površine vlakana, gemoetrije sloja i prirode uljne faze na obradu zauljenih voda koalescentnom filtracijom. *Doktorska disertacija*, Novi Sad, Srbija: Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu
- [11] D.Govedarica, R.Šećerov Sokolović, A.I.Kiralj, O.M.Govedarica, D.Sokolović, M.Hadnadjev-Kostic (2015) Separation of mineral oil droplets using polypropylene fibre bed coalescence. *Hem. Ind.* , 69 (4) 339–345
- [12] Zakon o vodama (2010) Sl. glasnik RS br. 30/10.
- [13] Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje (2012) Sl. glasnik RS br. 67/11 , 48/12.

## ABSTRACT

### THE EFFECT OF VISCOSITY OF DISPERSED PHASE ON COALESCENT FILTRATION

*Oily water is formed in: oil production and refining, petrochemical, pharmaceutical, chemical and food production, metal processing as well as in services for vehicles and ship maintenance. Due to the wide application of coalescence filtration for the treatment of different kind of oily water and complexity of the phenomenon, the design of appropriate coalescer with specific characteristics precede extensive semi-industrial research. In process industry, it is necessary to separate the dispersed oil phase of different nature, and the viscosity is one of the important characteristics affecting the separation. The aim of this study is to investigate the viscosity influence of the dispersed oil phase on the coalescence filtration efficiency using two waste polymer fiber beds over different bed permeabilities. Three different model emulsions obtained by dispersing the oil phase: domestic oil - A, fractions of domestic oil - A4, mixed intermediate product - P1 in drinking water were investigated. Experiments were carried out for bed permeability range from  $0.18 \cdot 10^{-9}$  to  $5.389 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$ . Waste polyethylene terephthalate - BA1 and waste polypropylene - PP were used. The velocity was kept in the range from 19 to 70 m/h. In the case where the viscosity of the dispersed phase ranges from 10 to 168 mPa s, the bed filter in the coalescer should be BA1 material with low bed permeability. While in the case of higher viscosity, above 80mPa s, the bed filter in the coalescer should be PP material with high bed permeability because in these circumstances greater operating velocity of 55 m/h is achieved resulting in the reduction of the coalescer dimensions.*

**Keywords:** coalescence filtration, oily water, viscosity of the oily phase, oil field.

*Scientific paper*

*Paper received: 20. 05. 2017.*

*Paper accepted: 22. 06. 2017.*

*Paper is available on the website: [www.idk.org.rs/journal](http://www.idk.org.rs/journal)*