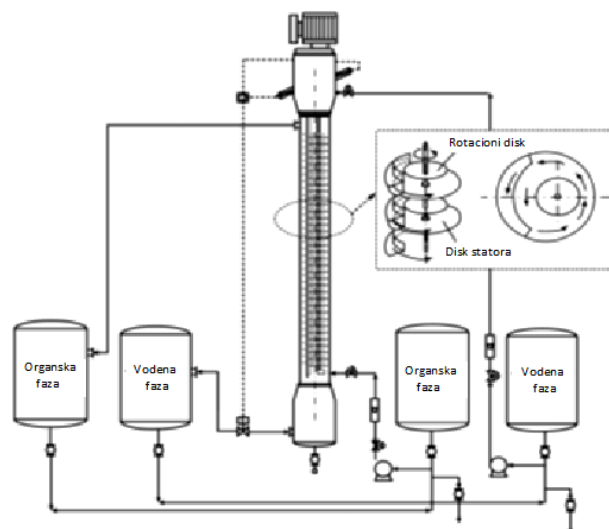


Hidrodinamika i prenos mase u ekstrakcionim kolonama tipa asimetričnog rotacionog disk kontaktora

Ekstrakcione kolone tečno-tečno se široko primenjuju za komercijalne svrhe u procesnim industrijama, kao što su: hemijska i petrohemijska industrija, hidrometalurgija, biotehnologija, nuklearna tehnologija, separacije u prehrambenoj industriji, prečišćavanje otpadnih voda i sličnim tehnologijama [1,2].

Uvod

Od ekstrakcionih kolona u industrijskoj praksi koriste se: kolona sa raspršivanjem, kolona sa pakovanjem, kolona sa perforiranim podovima, pulzaciona kolona (sa pakovanjem ili sa perforiranim podovima), rotacioni disk kontaktor (RDK), Kini (*Kühni*) kolona, Oldšu-Rašton (*Oldshue-Rushton*) kolona, Šajbelova (*Scheibel*) kolona i druge ekstrakcione kolone [3]. Od navedenih kolona u industrijskoj praksi široko se primenjuje RDK kolona zbog relativno velikog kapaciteta, malih troškova opreme, fleksibilne eksploatacije i lakog održavanja uređaja. Zbog ograničenja u njihovoj strukturi, maseno prenosne karakteristike komercijalnih RDK kolona su niske, pošto one imaju visoku vrednost povratnog mešanja [4,5]. Zbog toga, pristupilo se modifikaciji RDK kolone u cilju smanjenja povratnog mešanja koje izaziva značajnu redukciju efikasnosti prenosa mase. Najpoznatije modifikacije RDK kolone su ostvarene kod rotacionog disk kontaktora s perforiranim diskovima (PRDK), kao i kod asimetričnog rotacionog disk kontaktora (ARDK kolona). Može se konstatovati da je ARDK kolona našla najširu primenu u industrijskoj praksi od svih modifikovanih RDK kolona [6]. ARDK kolona se mnogo koristi u farmaceutskoj, petrohemijskoj i hemijskim industrijama zbog poboljšanja efikasnosti prenosa mase i smanjenja povratnog mešanja u obe faze [7]. ARDK ekstraktor karakterišu: smanjena potrošnja rastvarača, relativno mala potrošnja snage, manji zahtevi za radni prostor, kontinualni rad uz laku automatizaciju operacije ekstrakcije, kao i konzistentni rezultati razdvajanja polazne smeše. Najčešća primena ARDK kolona je u slučajevima tretmana smeša čije su komponente bliskih tački ključanja, koje se ne mogu razdvojiti destilacijom; pri razbijanju azeotropnih smeša; pri prečišćavanju finih hemijskih ili farmaceutskih smeša i u ekstrakciji koju prate hemijske reakcije. U vertikalnoj cevi se nalazi radni deo ekstraktora koji čine rotirajući diskovi (mešalice), montirani na osovinu koju pokreće elektromotor, kao i odgovarajući statori, koji su povezani pomoću vertikalnih segmentnih pregrada. Osovina sa mešalicama je postavljena asimetrično u odnosu na centar kolone, pri čemu jedan disk i dva statora čine jedan stupanj kolone [8] (Slika 1.).



Slika 1: Šematski dijagram tokova u ekstrakcionoj koloni tipa asimetričnog disk kontaktora (ARDK). [1]

Cilj ovog rada je da prikaže poređenje eksperimentalni rezultata, preuzetih iz literature, koji se odnose na hidrodinamiku i karakteristike prenosa mase u ekstrakcionim kolonama tipa asimetričnog rotacionog disk kontaktora. Za dobijanje ovih eksperimentalnih podataka upotrebljeni su različiti dvofazni sistemi tečno-tečno. Kao hidrodinamički parametri razmatrani su: srednji prečnik kapi, sadržaj dispergovane faze, kao i karakteristike plavljenja u koloni u funkciji operativnih (radnih) parametara ekstrakcionih kolona (broj obrtaja rotora, brzine kontinualne i dispergovane faze i pravac prenosa mase između faza). Razmotrene su i empirijske korelacije, razvijene za Sauterov srednji prečnik kapi, kao i za sadržaj dispergovane faze. Na osnovu preuzetih rezultata za hidrodinamičke parametre, utvrđene su optimalne vrednosti veličina koje karakterišu geometriju kolone, kao i operativni parametri koji su neophodni pri dizajnu i projektovanju ovih ekstrakcionih kolona. Ispitivan je uticaj radnih parametara, kao što su broj obrtaja rotora i brzine kontinualne i dispergovane faze na karakteristike prenosa mase u koloni. Rezultati su pokazali da karakteristike prenosa mase u kolonskom uređaju vrlo mnogo zavise od broja obrtaja rotora, ali da relativno malo zavise od brzina faza. Razmotrena je i primena empirijske korelacije pomoću koje je bilo moguće predskazivati ukupan Šervudov broj (*Sherwood*) za

kontinualnu fazu, koji se zasniva na Reynoldsovom broju (*Reynolds*) i sadržaju dispergovane faze za svaki pravac prenosa mase između faza.

Hidrodinamika

Wang i sar. [9] su prikazali rezultate određivanja hidrodinamičkih karakteristika u modifikovanom rotacionom disk kontaktoru (MRDK). Utvrđeno je da su rezultati za povratno mešanje, dobijeni u MRDK, znatno niži u odnosu na one koji se dobijaju u tradicionalnim RDK ekstraktorima. Ispitivana su četiri tipa MRDK ekstraktora koji su konstruisani tako da su dodatni perforirani diskovi instalisani unutar prstenastih diskova, pri čemu je stvorena mogućnost poređenja dobijenih rezultata hidrodinamike i prenosa mase sa onima koji se dobijaju u RDK ekstraktorima, pod istim operativnim uslovima. Ovaj tip MRDK ekstraktora je uspešno primenjen u postupku ekstrakcije kaprolaktama. U literaturi [10] su prikazani rezultati određivanja sadržaja dispergovane faze i karakteristika plavljenja u poluindustrijskom ekstraktoru tipa modifikovanog (perforiranog) rotacionog disk kontaktora (PRDK), koristeći tri različita sistema tečno-tečno. Ispitivani su uticaji različitih operativnih parametara, kao što su: broj obrtaja rotora, protoci kontinualne i dispergovane faze i pravac prenosa mase između faza na sadržaj dispergovane faze. Utvrđeno je da promena brzine kontinualne faze ima minimalan uticaj na sadržaj dispergovane faze, dok povišenje broja obrtaja i protoka dispergovane faze znatno utiču na povećanje sadržaja dispergovane faze. Na bazi podataka o fizičkim osobinama tečnih sistema i vrednostima operativnih parametara razvijene su dve empirijske korelacije koje se mogu koristiti za predviđanje tačke plavljenja i sadržaj dispergovane faze u ovom tipu kolone. Predložene empirijske korelacije su proveravane koristeći eksperimentalne podatke za ispitivane sisteme. S obzirom na to da se raspolagalo sa eksperimentalnim podacima za ovaj tip ekstraktora, bilo je moguće koristiti predložene empirijske korelacije za precizno projektovanje PRDK ekstraktora. U literaturi [11] su izvršena merenja sadržaja dispergovane faze (ε_d), efektivne međufazne površine (a), koeficijenta prenosa mase za kontinualnu fazu (K_{oc}), kao i aksijalnog disperzionog koeficijenta za dispergovanu fazu (E_d). Merenja su vršena u kolonama koje su imale unutrašnji prečnik od 80 mm i 150 mm, pri čemu je korišćen širok opseg operativnih parametara i fizičkih osobina tečnih sistema. Na osnovu ovako dobijenih rezultata, određene su vrednosti brzine klizanja (U_s) i Sauterovog srednjeg prečnika kapi dispergovane faze (d_{32}). U radu su razvijene empirijske korelacije za sadržaj dispergovane faze, brzinu klizanja, stvarni koeficijent prenosa mase (k_c), Sauterov srednji prečnika kapi, Pekleov broj za kontinualnu fazu (Pe_c) i Pekleov broj za dispergovanu fazu (Pe_d). Rezultati koji se odnose na stvarni koeficijent prenosa mase upoređivani su sa odgovarajućim podacima iz literature.

Empirijska korelacija koja se odnosi na zavisnost sadržaja dispergovane faze od fizičkih osobina tečnih sistema i brzine dispergovane i kontinualne faze prikazana je sledećom jednačinom [11]:

$$\varepsilon_d = 458 \left(\frac{U_s}{U}\right)^{0,41} \left(\frac{\sigma^2 \Delta\rho}{\mu_c^2 g}\right)^{-0,071} U_c^{0,24} U_d^{0,96} \quad (1)$$

gde su: ε_d - sadržaj dispergovane faze (-); U_s - brzina klizanja (m/s); U - ukupna brzina faza, $U = (U_d + U_c)$ (m/s); U_c , U_d - brzine kontinualne i dispergovane faze, redom (m/s); σ - međufazni napon (N/m); $\Delta\rho$ - razlika gustina, $\Delta\rho = (\rho_c - \rho_d)$ (kg/m³); ρ_c , ρ_d - gustina kontinualne i dispergovane faze, redom (kg/m³); μ_c - dinamička viskoznost kontinualne faze (Pa·s); g - ubrzanje Zemljine teže (9,81 m/s²).

Srednje apsolutno relativno odstupanje (SARO) računskih i eksperimentalnih podataka za sadržaj dispergovane faze, dobijenih pomoću Jedn. (1), bilo je 63,5%, što znači da je to dosta nepouzdanu predviđanje eksperimentalnih rezultata. S druge strane, ova jednačina se pokazala nepouzdanom i za predviđanje sadržaja dispergovane faze u višestupnjevitim ekstrakcionim uređajima. Zbog toga isti autori [11] su razvili još dve empirijske korelacije koje su prilagođene za upotrebu u ARDK ekstraktorima. Prva jednačina se bazirala na zavisnosti sadržaja dispergovane faze od fizičkih osobina tečnih sistema i operativnih parametara, pri čemu nisu uzete u obzir sve geometrijske karakteristike ekstrakcione kolone:

$$\varepsilon_d = 1,95 \left(\frac{N^2 d_R}{g}\right)^{0,42} \left(\frac{\mu_d}{\mu_c}\right)^{0,13} \left(1 + \frac{U_c}{U_d}\right)^{0,29} \left(\frac{\sigma g}{\rho_c U_d^2}\right)^{-0,56} \quad (2)$$

gde su: N - broj obrtaja rotora (1/s); d_R - prečnik rotora (m); μ_c - dinamička viskoznost dispergovane faze (Pa·s).

Sadržaj dispergovane faze proračunat je pomoću Jedn. (2) i imao je relativno malo srednje odstupanje računskih od eksperimentalnih podataka, tj. SARO = 5,63%. To znači da je ova korelacija pogodna za predskazivanje ponašanja sadržaja dispergovane faze u višestupnjevitim ekstraktorima ovog tipa.

U drugu empirijsku korelaciju uključen je podatak o geometriji ekstrakcione kolone i ona je imala izgled:

$$\varepsilon_d = 7,22 \left(\frac{N^2 d_R^2}{g h_c}\right)^{0,41} \left(\frac{\mu_d}{\mu_c}\right)^{-0,04} \left(1 + \frac{U_c}{U_d}\right)^{0,64} \left(\frac{\sigma g}{\rho_c U_d^2}\right)^{-0,95} \quad (3)$$

gde je: h_c - visina stupnja u koloni (m). Poređenje računskih podataka dobijenih pomoću Jedn. (3) sa eksperimentalnim rezultatima iz rada [11] pokazalo je da je odstupanje računskih od eksperimentalnih rezultata prihvatljivo, tj. SARO = 7,36%, što znači da se ova korelacija može koristiti za dizajn ekstrakcionih kolona tipa ARDK.

Na bazi eksperimentalnih rezultata, primenom metode najmanjih kvadrata, autori rada [11] dobili su empirijsku korelaciju za Sauterov srednji prečnik kapi dispergovane faze u ARDK koloni, sledećeg oblika:

$$d_{32} = 0,194 \left(\frac{U_s}{U}\right)^{0,45} \sigma^{0,77} (\rho_c \mu_c)^{-0,3} \left(\frac{\mu_d}{\mu_c}\right)^{0,07} \quad (4)$$

gde su: d_{32} - Sauterov srednji prečnik kapi (m);

$$d_{32} = \frac{\sum_{i=1}^{NN} n_i d_i^3}{\sum_{i=1}^{NN} n_i d_i^2}$$

NN - ukupan broj kapi u disperziji; n_i - broj kapi prečnika d_i (m) u odgovarajućem intervalu.

Na bazi rezultata iz više literaturnih izvora i sopstvenih eksperimentalnih rezultata, primenom metode regresione analize, autori rada [12] dobili su empirijsku korelaciju za Sauterov srednji prečnik kapi

dispergovane faze u slučaju da nema prenosa mase između faza, sledećeg oblika:

$$d_{32} = 5,7709 \left(\frac{N^4 d_R^4 \rho_c}{g \sigma} \right)^{-0,19} \left(\frac{\mu_c g}{\Delta \rho \sigma^3} \right)^{-0,05} \left(1 + \frac{U_d}{U_d} \right)^{0,14} \left[\frac{U_d}{\left(\frac{\sigma \Delta \rho g}{\rho_c^2} \right)^{0,25}} \right]^{0,07} \left(\frac{\Delta \rho}{\rho_c} \right)^{0,98} \left(\frac{\mu_c}{\mu_d} \right)^{0,01} \quad (5)$$

Ova korelacija predskazuje podatke za Sauterov srednji prečnik kapi sa srednjom greškom od SARO = 9,99%. U drugoj korelaciji, koja obuhvata sve promenljive i podatke iz istih literaturnih izvora kao i u Jedn. (5) uključene su i vrednosti koje se odnose na geometriju kolonskog uređaja:

$$d_{32} = 0,06475 \left(\frac{N^4 d_R^4 \rho_c}{g \sigma} \right)^{-0,21} \left(\frac{\mu_c g}{\Delta \rho \sigma^3} \right)^{-0,03} \left(1 + \frac{U_d}{U_d} \right)^{-0,61} \left[\frac{U_d}{\left(\frac{\sigma \Delta \rho g}{\rho_c^2} \right)^{0,25}} \right]^{-0,37} \left(\frac{d_R h_c}{H D_c} \right)^{-0,44} \quad (6)$$

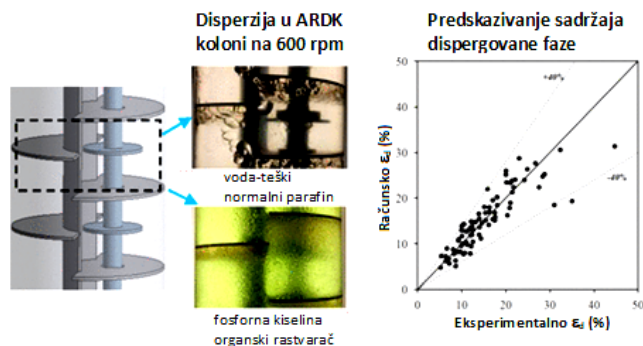
gde su: H – visina radnog dela kolone (m); D_c – unutrašnji prečnik kolone (m).

Asadollahzadeh i sar. [13] su određivali sadržaj dispergovane faze u poluindustrijskoj ARDK koloni prečnika 11,3 cm, koristeći tri različita sistema tečno-tečno. Ispitivan je uticaj radnih parametara (pravac prenosa mase, broj obrtaja rotora, kao i brzine kontinualne i dispergovane faze) na hidrodinamičke karakteristike ekstrakcione kolone. Utvrđeno je da se maksimalni kapacitet kolone smanjuje pri povišenju broja obrtaja rotora i protoka faza, dok on značajno raste s povećanjem međufaznog napona. Konstatovano je da postoji velik porast sadržaja dispergovane faze u tački plavljenja pri povećanju broja obrtaja rotora zbog toga što se u tom slučaju formiraju sitnije kapi. Sadržaj dispergovane faze zavisi uglavnom od pravca prenosa mase, broja obrtaja rotora i brzine dispergovane faze. U radu [13] su predložene nove empirijske korelacije koje se mogu koristiti za predviđanje brzine plavljenja, sadržaja dispergovane faze u tački plavljenja odnosno u radnom delu ekstrakcione kolone.

U istraživanju [14] prikazani su rezultati određivanja hidrodinamike u laboratorijskim uslovima za asimetričnu rotacionu kolonu sa impelerom (ARIK) i ARDK kolonu. Ispitivan je uticaj fizičkih osobina tečnosti i operativnih parametara na veličinu kapi, sadržaj dispergovane faze i povratno mešanje. U ovom radu su razvijene empirijske korelacije za srednji prečnik kapi i sadržaj dispergovane faze u funkciji potrošnje energije po jedinici zapremine fluida u koloni. Srednje apsolutno relativno odstupanje računskih od eksperimentalnih podataka za prečnik kapi i sadržaj dispergovane faze (SARO) iznosilo je 18% i 14%, redom, Slika 2. Istovremeno, izvršeno je poređenje hidrodinamičkih karakteristika određenih u ARIK koloni sa podacima dobijenim u ARDK koloni.

Kumar i Hartland [15] su prikazali novu empirijsku korelaciju za proračun povratnog mešanja u kontinualnoj i dispergovanoj fazi na primeru ARDK ekstraktora. Korišćeni su eksperimentalni rezultati za povratno mešanje u kontinualnoj fazi, dobijeni primenom metode trasera (obeleživača) i koncentracionih profila rastvorka. Korelacija

je razvijena na bazi 1055 eksperimentalnih podataka, korišćenjem 32 sistema tečno-tečno, preuzetih iz 19 različitih literaturnih izvora. Ustanovljeno je da je povratno mešanje u ARDK ekstraktoru za 20% manje od odgovarajućih vrednosti u RDK koloni. Utvrđeno je da se rezultati za povratno mešanje u dispergovanoj fazi znatno teže korelišu nego oni u kontinualnoj fazi. Pošto su rezultati za dispergovanu fazu bili često kontradiktorni, korelacija za koeficijent povratnog mešanja u dispergovanoj fazi je bila manje tačna nego odgovarajuća korelacija za kontinualnu fazu.



Slika 2: a) Detalj ekstrakcione kolone ARDK u toku rada uređaja; b) Poređenje računskih i eksperimentalnih podataka za sadržaj dispergovane faze [14]

U radu [16] prikazan je postupak optimizacije efikasnosti ekstrakcije lantana u poluindustrijskoj ARDK koloni. Određeni su optimalni uslovi za pripremu polazne smeše za ekstrakcionu kolonu (D2EHPA 0,08 mol/L; pH≈8). [D2EHPA – Di-(2-etilheksil) fosforna kiselina]. Pri kontinualnom radu ekstraktora, optimizacija je vršena pomoću centralnog kompozitnog pristupa, pri čemu su korišćena tri glavna parametra: protok kontinualne faze, broj obrtaja rotora i protok dispergovane faze. Ispitivane su tri veličine kao odzivni signal: brzina klizanja, sadržaj dispergovane faze i efikasnost ekstrakcije. Veću vrednost efikasnosti ekstrakcije pri separaciji lantana izazvao je uticaj broja obrtaja rotora na sadržaj dispergovane faze, brzinu klizanja, kao brzinu prenosa mase. Optimalni uslovi koji dovode do efikasnosti ekstrakcije od 98,5% bili su: broj obrtaja rotora 7,75 1/s i protok faza od $1,25 \times 10^{-5}$ m³/s. U ovom radu je razvijena empirijska korelacija koja omogućava predskazivanje sadržaja dispergovane faze i brzine klizanja sa tačnošću od 0,9734 i 0,9670, redom. Dobijeni rezultati u ovom radu su pokazali da se ARDK kolona može koristiti kao odgovarajuća kolona za ekstrakciju lantana kao jednog od retkih metala.

Prenos mase

Karakteristike prenosa mase su određivane u literaturi [8] u ARDK koloni prečnika 11,3 cm na poluindustrijskoj skali za dva različita sistema tečno-tečno. Ispitivan je uticaj operativnih karakteristika (broj obrtaja rotora, kao i brzine dispergovane i kontinualne faze) na zapreminski ukupni koeficijent prenosa mase. Rezultati su ukazali na to da performanse prenosa mase strogo zavise od broja obrtaja rotora i međufaznog napona, dok relativno malo zavise od protoka faza. U ovom radu je korišćena efektivna difuzivnost umesto molekulske difuzivnosti u jednačini Grebera (*Gröber*) za određivanje ukupnog

koeficijenta prenosa mase u dispergovanoj fazi. Faktor poboljšanja je određivan eksperimentalno ali i iz empirijskog izraza koji je razvijen za predviđanje faktora poboljšanja kao funkcije Reynoldsovog broja. Dobijeni računski podaci su upoređivani sa eksperimentalnim rezultatima, pri čemu je utvrđeno da razvijena empirijska korelacija može efikasno predvideti ukupan koeficijent prenosa mase u ARDK koloni. Izraz za faktor poboljšanja prenosa mase u ARDK koloni (R) za ispitivane operativne uslove prikazan je u radu [17], a imao je sledeći oblik:

$$R = -0,79 + 0,48 \text{ Re}^{0,67} \quad (7)$$

gde je Re - Reynoldsov broj,

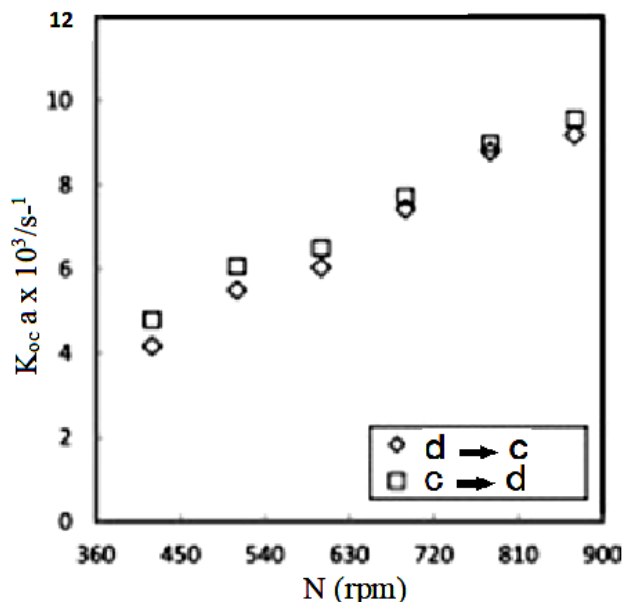
$$\text{Re} = \frac{d_{32} U_s \rho_c}{\mu_c}$$

U radu [9] prikazani su rezultati određivanja karakteristika prenosa mase u MRDK koloni. Utvrđeno je da je efikasnost prenosa mase u MRDK koloni znatno veća u odnosu na rezultate dobijene u RDK. Postignuti eksperimentalni rezultati u ovom radu su ukazali na to da je povratno mešanje u ovom ekstraktoru efektivno smanjeno a da je efikasnost prenosa mase znatno povećana. U literaturi [14] prikazani su rezultati određivanja prenosa mase u ARDK koloni pri ekstrakciji metalnih jona iz fosforne kiseline. Razmotren je i uticaj brzine impelera na efikasnost ekstrakcije i vrednost ukupnog koeficijenta prenosa mase u kontinualnoj fazi. Rezultati iz ovog rada mogu poslužiti za određivanje osobina ARDK kolona, pri čemu se oni mogu uspešno koristiti i za projektovanje ovog tipa kolona. U radu [11] je konstantovano da ARDK kolona nudi potencionalne prednosti u povišenim vrednostima koeficijenta prenosa mase i nižem vrednostima povratnog mešanja u odnosu na konvencionalni RDK kontaktor.

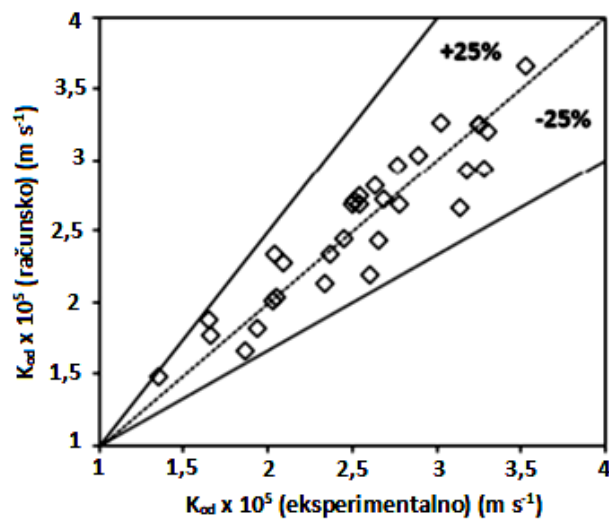
U literaturi [17] su prikazani rezultati određivanja zapreminskog ukupnog koeficijenta prenosa mase u poluindustrijskom ARDK ekstraktoru prečnika 11,3 cm za sistem toluen-aceton-voda. Eksperimenti su izvođena za oba slučaja pravca prenosa mase između faza. Ispitivan je uticaj radnih parametara: broj obrtaja rotora i brzine kontinualne i dispergovane faze na performanse prenosa mase u koloni. Rezultati su pokazali da karakteristike prenosa mase u kolonskom uređaju vrlo mnogo zavise od broja obrtaja rotora, dok relativno malo zavise od brzina faza. U ovom radu je razvijena empirijska korelacija pomoću koje je bilo moguće odrediti ukupan Šervudov broj za kontinualnu fazu, koji se zasniva na Reynoldsovom broju i sadržaju dispergovane faze za oba pravca prenosa mase između faza. Utvrđeno je da postoji vrlo dobro slaganje računskih i eksperimentalnih podataka za zapreminski ukupni koeficijent prenosa mase u svim radnim uslovima korištenim u koloni. Sa Slike 3. se može uočiti da zapreminski ukupni koeficijent prenosa mase raste s povišenjem broja obrtaja rotora, pri korišćenju oba pravca prenosa mase. Istovremeno, zapreminski ukupni koeficijent prenosa mase ima nešto veće vrednosti u slučaju prenosa mase iz kontinualne u dispergovanu fazu. Na Slici 4. je prikazano poređenje računskih i eksperimentalnih rezultata za ukupni koeficijent prenosa mase u dispergovanoj fazi. Može se uočiti da je odstupanje računskih od eksperimentalnih rezultata u intervalu $\pm 25\%$.

Na Slici 4. je prikazano poređenje računskih i eksperimentalnih rezultata za ukupni koeficijent prenosa mase u dispergovanoj fazi.

Može se uočiti da je odstupanje računskih od eksperimentalnih rezultata u intervalu $\pm 25\%$.



Slika 3: Uticaj broja obrtaja rotora (N) na ukupni zapreminski koeficijent prenosa masa (K_{oc}) u asimetričnom rotacionom disk kontaktoru [1]



Slika 4: Poređenje računskih i eksperimentalnih podataka za ukupni koeficijent prenosa mase u dispergovanoj fazi, K_{od} [17]

Zaključci

U ovom radu su prikazani rezultati poređenja eksperimentalnih rezultata koji se odnose na hidrodinamičke karakteristike i prenos mase u ekstrakcionim kolonama tipa asimetričnog rotacionog disk kontaktora (ARDK kolona), uz korišćenje različitih dvofaznih sistema tečno-tečno. U eksperimentalnom radu ispitivan je uticaj operativnih parametara (broj obrtaja rotora, prividne brzine kontinualne i

dispergovane faze i pravac prenosa mase između faza), geometrije kolone, kao i fizičkih osobina sistema tečno-tečno na hidrodinamičke karakteristike ekstrakcione kolone (srednji prečnik kapi, sadržaj dispergovane faze i brzina plavljenja). Utvrđeno je da se maksimalni kapacitet ARDK kolone smanjuje pri povećanju broja obrtaja rotora i protoka faza, dok kapacitet kolone znatno raste s povećanjem međufaznog napona. Istovremeno, zaključeno je da postoji značajan porast sadržaja dispergovane faze u tački plavljenja pri povećanju broja obrtaja rotora. Sadržaj dispergovane faze zavisi uglavnom od pravca prenosa mase, broja obrtaja rotora i brzine dispergovane faze. Utvrđeno je, takođe, da pri povećanju broja obrtaja rotora dolazi do smanjenja srednjeg prečnika kapi u ekstrakcionoj koloni, dok povećanje vrednosti prividne brzine kontinualne faze ne utiče na srednji prečnik kapi. U eksperimentima koji se odnose na industrijske uslove utvrđeno je da se veća efikasnost ekstrakcije postiže u funkciji broja obrtaja rotora, koji značajno utiče na sadržaj dispergovane faze, brzinu klizanja, kao i brzinu prenosa mase. U literaturi su predložene empirijske korelacije koje daju zavisnost hidrodinamičkih karakteristika od operativnih parametara, geometrije kolone i fizičkih osobina tečnih sistema. Ove korelacije se mogu koristiti za predviđanje brzine plavljenja, srednjeg prečnika kapi, sadržaja dispergovane faze u tački plavljenja i sadržaja dispergovane faze u radnom delu ekstrakcione kolone.

U ovom radu su prikazani i rezultati određivanja uticaja operativnih parametara, kao što su: broj obrtaja rotora i brzine kontinualne i dispergovane faze na performanse prenosa mase u koloni. Rezultati su pokazali da su karakteristike prenosa mase u ARDK koloni vrlo mnogo zavisne od broja obrtaja rotora, dok na njih relativno malo utiču brzine kontinualne i dispergovane faze. Istovremeno, zapreminski ukupni koeficijent prenosa mase ima veće vrednosti u slučaju prenosa mase iz kontinualne u dispergovanu fazu. U ovom radu su komentarisane i empirijske korelacije koje daju zavisnost zapreminskog ukupnog koeficijenta prenosa mase od operativnih parametara, geometrije kolone, kao i fizičkih osobina tečnih sistema.

Može se konstatovati da radovi citirani u ovom tekstu sadrže vredne informacije za hidrodinamiku i prenos mase u ARDK kolonama, koje su inače relativno limitirane u stručnoj literaturi. Prikaz i analiza eksperimentalnih rezultata za hidrodinamiku i prenos mase, preuzetih iz literature i komentarisanih u ovom radu, koji se odnose na ARDK kolone, može biti od značaja istraživačima koji se bave projektovanjem i dizajnom kolonskih ekstraktora ovog tipa.

Literatura

- [1] **Treybal, R. E.** *Mass Transfer Operations*, Mc-Graw Hill Edition, Third Edition, Auckland-Tokyo (1981), pp. 541-557. TP156.M3T7 1980 660.2 8422 78-27876 ISBN 0-07- 065, J 76-0.
- [2] **Sovilj, M. N.** *Difuzione operacije*, Tehnološki fakultet, Novi Sad (2004), str. 173-192. (in Serbian), ISBN: 86-80995-47-9.
- [3] **Perry, R. H., Green, D. W. Eds.** in *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7th Ed.*, McGraw-Hill Company, Inc, New York (1997), pp. 15-22 - 15-46.
- [4] **Kumar, A., Hartland, S.** (1987), *Prediction of Dispersed Phase Hold-Up in Rotating Disc Extractors*, Chem. Eng. Commun. 106, 56-87.
- [5] **Moreira, E., Pimenta, L.M., Caneiro, L.L., Faria, P. C. L.,**

Mansur, M.B. Pibeiro, C. P. (2005), *Hydrodynamic Behavior of a Rotating Disc Contactor Under Low Agitation Conditions*, Chem. Eng. Commun. 192, 1017-1035.

[6] **Thornton, J. D.** (1992), *Science and Practice of Liquid-Liquid Extraction*, Oxford University Press, Oxford. <https://global.oup.com>.

[7] **Asadollahzadeh, M., Ghaemi, A., Torab-Mostaedi, M., Shahhosseini, Sh.** (2016), *Experimental Mass Transfer Coefficients in a Pilot Plant Multistage Column Extractor*, Chin. J. Chem. Eng. 24 (8) 989-999.

[8] **Torab-Mostaedi, M., Asadollahzadeh, M., Safdari, J.** (2017), *Prediction of Mass Transfer Coefficients in an Asymmetric Rotating Disc Contactor Using Effective Diffusivity*, Chi. J. Chem. Eng. 25, 288-293.

[9] **Wang, Y. D., Fei, W.Y., Sun, J. H., Yanchun, K. W.** (2002), *Hydrodynamics and Mass Transfer Performance of a Modified Rotating Disc Contactor (MRDC)*, Chem. Eng. Res. Des. 80 (4), 392-400.

[10] **Hemmati, A. R., Shirvani, M., Torab-Mostaedi, M., Ghaemi, A.** (2015), *Hold-up and Flooding Characteristics in a Perforated Rotating Disc Contactor (PRDC)*, RC S Adv. 77 (5), 63025-63033.

[11] **Kadam, B. D., Joshi, J. B., Patil, R. N.** (2009), *Hydrodynamic and Mass Transfer Characteristics of Asymmetric Rotating Disc Extractors*, Chem. Eng. Res. Des. 87 (5), 756-769.

[12] **Asadollahzadeh, M., Torab-Mostaedi, M., Torkaman, R.** (2016), *Studies of Drop Behaviour and Prediction of Sauter Mean Drop Diameter in Various Rotary Agitated Extraction Columns*, IJE Trans. B: Applications, 29 (8), 1047-1055.

[13] **Asadollahzadeh, M., Torab-Mostaedi, M., Torkaman, R.** (2016), *Holdup and Flooding Measurements in an Asymmetric Rotating Disc Column*, Chem. Eng. Process.: Process Intens. 109, 97-103.

[14] **Hendre, N. V., Venkatasubramani, V., Farakte, R. A., Patwardhan, A. W.** (2018), *Hydrodynamics and Mass Transfer Characteristics of Asymmetric Rotary Agitated Columns*, Ind. Eng. Chem. Res. 57 (5), 1630-1644.

[15] **Kumar, A., Hartland, S.** (1992), *Prediction of Axial Mixing Coefficients in Rotating Disc and Asymmetric Rotating Disc Extraction Columns*, Can. J. Chem. Eng. 70 (1), 77-87.

[16] **Asadollahzadeh, M., Torkaman, R., Torab-Mostaedi, M.** (2020), *Optimization of Lanthanum Extraction in Asymmetric Rotation Pilot Plant Column by Using Central Composite Methodology*, Geosystem Eng. 23 (2), 101-111.

[17] **Torab-Mostaedi, M., Asadolahzadeh, M.** (2015), *Mass Transfer Performance in an Asymmetric Rotating Disc Contactor*, Chem. Eng. Res. Des. 94, 90-97.

Autori

Milan SOVILJ
Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet
Bulevar cara Lazara 1
Novi Sad, Srbija

Momčilo SPASOJEVIĆ
Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
Trg Dositeja Obradovića 6
Novi Sad, Srbija