

UTICAJ PROMENE NASIPNE GUSTINE NA OSOBINE SLOJA VLAKNASTIH MATERIJALA

Većina vlaknastih materijala su kompresibilni i mogu se pakovati u istu zapreminu u širokom rasponu količine tj. nasipne gustine. Tako je moguće od istog materijala formirati sloj širokog raspona vrednosti poroznosti, specifične površine čvrstog materijala i koeficijenta permeabilnosti. U ovom radu proučavan je uticaj promene nasipne gustine vlakana na osobine sloja i hidrodinamiku jednofaznog sistema kroz sloj formiran od vlakana: nerđajućeg čelika, poliakrila-mida, polietilena, poliestra, poliuretana i polipropilena. Na osnovu izmerenog pada pritiska kroz sloj, računane su vrednosti koeficijenta permeabilnosti po metodologiji koju je predložio Darsy. Na osnovu empirijskih korelacija publikovanih u literaturi računat je koeficijent permeabilnosti i dobijene vrednosti poređene su sa izmerenim.

Još sedamdesetih godina prošlog veka započela su ispitivanja mogućnosti primene vlaknastih materijala za separaciju sistema tečno-tečno, bilo da se radi o dispergovanom ulju u vodi ili dispergovanoj vodi u ulju [1–13]. Potreba separacije sistema tečno-tečno ili emulzija, široko je rasprostranjena u industriji. Daju se samo neki primeri: ukljanjanje vode iz nafte ili goriva, separacija faza posle solventne ekstrakcije [4,5,9], separacija ulja iz otpadnih voda [1,3,8,11–13].

Sloj vlakana različitih materijala pokazao je veću efikasnost separacije emulzija od sloja granula od jednakog materijala. Zapravo razvijena je nova tehnika koalescentne filtracije, u kojoj se uloga sloja ogleda u tome da obezbedi uslove pri kojima će doći do ukрупnjavanja kapi dispergovane faze, da bi se krupnije kapi, koje napuštaju sloj, efikasnije taložile [2,3,6,7,10].

Porozni sloj je složen sistem koji se još uvek intenzivno proučava i pokušava da se adekvatno matematički opiše. Sloj vlakana i prateći fenomeni nisu u dovoljnom fokusu istraživača, iako nalaze sve intenzivniju primenu i u filtraciji gasova zbog činjenice da mogu da formiraju stabilnu strukturu ekstremno visoke poroznosti, čak i do 0,99 [14].

Osnovna osobenost sloja vlakana jeste njegova visoka poroznost ili mali udeo čvrstog, tako da se kod sloja granula može govoriti o mreži pora, dok se kod vlaknastog sloja može govoriti o mreži vlakana u praznom prostoru. Pored toga, u zavisnosti od debljine vlakna i njegove krutoće, moguće je izvršiti kompresiju sloja u većem ili manjem opsegu. Sabijanjem sloja dolazi do promene udela protočnih pora što se značajno odražava na hidrodinamiku. Efekat sabijanja na hidrodinamiku jedne faze moguće je pratiti preko promene vrednosti koeficijenta permeabilnosti [15–17].

U literaturi se daju empirijske korelacije koje omogućavaju računanje koeficijenta permeabilnosti na osnovu poznatog sadržaja čvrstog materijala koji formira sloj [14,18–20]. Primenljivost takvih relacija uglavnom je ograničena na uski opseg nekih promenljivih.

U ovom radu izvršena je karakterizacija većeg broja vlakana različitih materijala, određene najbitnije osobine sloja u širokom opsegu nasipne gustine i eksperimentalno određivan koeficijent permeabilnosti za odabrani opseg nasipne gustine. Pored toga, napravljena je komparativna analiza sloja različitih materijala i ispitivana validnost nekih empirijskih korelacija publikovanih u literaturi [14,18] za određivanje koeficijenta permeabilnosti (tabela 1). Materijali koji su uključeni u eksperimentalni program bili su oni koji su dostupni na domaćem tržištu: nerđajući čelik (SS), poliakrilamid (PA), polietilen (BA), poliestar (PE), poliuretan (PU), polipropilen dve debljine vlakna (PPV, PP). Zbog potencijalne primene materijala za separaciju tečno-tečnih sistema, težilo se da ti materijali budu otpadni, jeftini i lako dostupni korisniku.

Tabela 1. Empirijske korelacije za permeabilnost sloja vlakana
Table 1. Empirical correlations for the permeability of a fibrous bed

Autor	Korelacija	Ograničenja	Referen.
Davies 1 D1	$K = \frac{d_v^2}{64 \cdot \phi^{3/2} \cdot (1 + 56 \cdot \phi^3)}$	$Re_v < 1$	[14]
Davies 2 D2	$K = \frac{d_v^2}{70 \cdot \phi^{3/2} \cdot (1 + 52 \cdot \phi^{3/2})}$	$Re_v < 1$ $\varepsilon > 0,98$	[14]
Jackson i James JJ	$\frac{K}{a^2} = \frac{3}{20 \cdot \phi} (-\ln \phi - 0.931)$	$Re_v < 1$	[18]

EKSPERIMENTALNI DEO

Eksperimentalna ispitivanja imala su za cilj da odrede važnije osobine vlakana odabranih materijala,

kao i osobine sloja vlakana za široki raspon nasipne gustine. Gustina materijala određivana je piknometrijski. Morfologija površine vlakana, geometrija poprečnog preseka i dimenzije određivani su optičkim mikroskopom. Poroznost, ε , i udeo čvrstog u sloju, ϕ , izračunavani su na osnovu poznatih vrednosti gustine materijala, ρ , i nasipne gustine, ρ_N , na osnovu poznatih relacija:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_N}{\rho} \quad (1)$$

$$\phi = 1 - \varepsilon \quad (2)$$

Specifična površina, S , uslovljena odnosom površine, P_v , i zapremine vlakna, V_v , kao i udelom čvrstog u jedinici zapremine sloja, računata je poznatom relacijom:

$$S = \frac{P_v}{V_v} \cdot \phi \quad (3)$$

Oblik pora u sloju i orijentacioni opseg njihovih dimenzija, takođe, su određivani optičkim mikroskopom. Može se uočiti, na osnovu relacija (1) i (2) da nasipna gustina utiče na udeo čvrstog i poroznost sloja. Date empirijske relacije (tabela 1) daju zavisnost permeabilnosti od udela čvrstog.

Permeabilnost sloja za svaku nasipnu gustinu računata je na osnovu eksperimentalnih vrednosti pada pritiska po jedinici debljine sloja ($\Delta P/L$) za određeni opseg brzine strujanja tečnosti, iz nagiba prave po proceduri koju je uveo Darsy [18]:

$$v = \frac{K_0 \Delta P}{\mu_f L} \quad (4)$$

Eksperimenti određivanja pada pritiska realizovani su u koloni od pleksiglasa čije su karakteristike date u tabeli 2. Kao tečnost korišćena je voda iz česme na konstantnoj temperaturi od 15°C. Linearna zavisnost pada pritiska po jedinici debljine sloja od brzine fluida realizovana je pri svim uslovima rada.

Vrednost broja Reynoldsa računata je prema relaciji datoj u literaturi za jednofazni sistem, gustine ρ_f , viskoznosti μ_f , koji struji brzinom v kroz vlaknast sloj [19]:

$$Re = \frac{v d_v \rho_f}{\mu_f}$$

Tabela 2. Geometrijske karakteristike eksperimentalnog postrojenja

Table 2. Geometrical characteristics of the experimental set-up

Geometrijska karakteristika	Numerička vrednost
Unutrašnji prečnik kolone (cm)	5
Ukupna visina kolone (cm)	150
Visina dela kolone sa poroznim slojem (cm)	50
Broj piezometara	2
Rastojanje između piezometara (cm)	30

REZULTATI I DISKUSIJA

Sumarni pregled osobina vlakana ispitivanih materijala dat je u tabeli 3. Ispitivana vlakna su od materijala izrazito različitih fizičko-hemijskih osobina. Gustina materijala, ρ , za nerđajući čelik je 8089 kg/m³, dok je za polipropilen 900 kg/m³. Ta činjenica, naravno, nema uticaja na osobine nepokretnog nasutog sloja. Morfologija značajno utiče na osobine sloja i hidrodinamiku, te je potrebno istaći da su sva ispitivana vlakna glatka. Zajednička karakteristika svih ispitivanih vlakana bila je njihova uniformna debljina. Vlakna nerđajućeg čelika i polipropilena-džak tkanje su pravougaonog poprečnog preseka, dok su vlakna poliuretana trougaonog poprečnog preseka. Ostala vlakna su kružnog poprečnog preseka. Ono što izdvaja vlakna nerđajućeg čelika i polipropilena-džak tkanje, pored pravougaonog poprečnog preseka, jeste i to da su ona značajno deblja od ostalih materijala. Za vlakna čiji poprečni presek nije kružni, shodno publikovanoj literaturi, izvršena je aproksimacija i preračunat prečnik za jednaku površinu poprečnog preseka. Vrednost aproksimiranog prečnika za nerđajući čelik je 141 μ m, a za polipropilen džak 357 μ m, dok je za ostale materijale reda veličine oko 50 μ m. U komadićima poliuretana vlakna su međusobno povezana u obliku saća šestougaoanog oblika. Ostala vlakna su oblika filca, nasaćena i nepovezana.

Tabela 3. Osobine ispitivanih vlakana
Table 3. Investigated fiber properties

Materijali		Osobine			
Priroda materijala	Šifra	ρ (kg/m ³)	Kvalitet površine	Profil vlakna	d_v (μ m)
Nerđajući čelik	SS	8089	glatka	□ 37x425	141
Poliakrilamid	PA	998	glatka	O	45
Polietilen	BA	1000	glatka	O	35
Poliestar	PE	1495	glatka	O	60
Poliuretan	PU	1200	glatka	⁶⁷ Δ	50
Polipropilen	PPV	900	glatka	O	45
Polipropilen džak	PP	900	glatka	□ 100x1000	357

Priklom formiranja sloja vlakana bio je cilj da se postigne što širi opseg nasipne gustine i da se za sve materijale nađu uslovi pri kojima su vrednosti permeabilnosti slojeva bliske, što je od značaja za dalja istraživanja u oblasti dvofaznih sistema i separacije. U tom pogledu pojavili su se sledeći problemi. Za vlakna od nerđajućeg čelika nije bilo moguće postići veće nasipne gustine da bi dobili manje vrednosti permeabilnosti, jer su vlakna izrazito kruta i nisu se više mogla sabiti. Za sve ostale materijale nije bilo moguće postići manje nasipne gustine, jer se sloj skupljao pod uticajem strujanja fluida pošto su vlakna elastična i nedovoljno kruta. Vrednosti

Tabela 4. Osobine sloja ispitivanih materijala
Table 4. Fibrous bed properties


Materijali	Osobine sloja					
	ε	ϕ	S (1/mm)	Oblik pora	Dimen. pora (mm)	K_0 (10^{-3} mm ²)
SS	0,984–0,959	0,016–0,041	0,94–2,41	mešoviti	5–0,25	41,180–8,417
PA	0,975–0,930	0,025–0,070	2,22–6,22	mešoviti	1–0,10	6,640–1,706
BA	0,970–0,870	0,030–0,130	3,43–14,86	mešoviti	0,6–0,05	5,341–0,347
PE	0,980–0,900	0,020–0,100	1,33–6,67	mešoviti	1,4–0,05	17,184–0,682
PU	0,958–0,850	0,042–0,150	3,36–12,00		0,5–0,2	5,389–0,180
PPV	0,978–0,889	0,022–0,111	1,96–9,87	mešoviti	1,2–0,05	7,444–0,702
PP	0,944–0,833	0,056–0,167	1,32–3,74	mešoviti	1,3–0,3	11,804–0,809

Tabela 5. Vrednosti Re_v iz jednačine (4) za sve nasipne gustine, opseg brzine jedne faze i prečnika vlakna
Table 5. Values of Re_v , equation (4), over a high range of bed bulk density, fluid velocity and fibrous diameter

Materijal	d_v (μ m)	Reynolds		
		ρ_N (kg/m^3)	v (10^{-3} m/s)	Re_v
SS	141	126	6,75–16,66	0,68–1,68
		150	12,14–44,81	1,21–4,49
		196	10,19–49,82	1,02–4,99
		255	14,35–46,12	1,44–4,62
		332	9,69–38,12	0,97–3,82
PA	45	25	2,44–26,53	0,08–0,85
		35	1,36–25,32	0,04–0,81
		50	0,97–20,54	0,03–0,66
		70	0,11–9,50	\approx 0–0,30
BA	35	30	0,55–6,93	0,01–0,17
		40	0,33–5,82	0,01–0,14
		50	0,34–6,16	0,01–0,15
		60	0,30–5,40	0,01–0,13
		70	0,42–6,20	0,01–0,15
		90	0,69–6,08	0,02–0,15
PE	60	30	0,59–7,14	0,02–0,30
		50	0,39–9,01	0,02–0,38
		60	0,64–7,90	0,03–0,34
		70	0,35–7,31	0,01–0,31
		90	0,68–7,90	0,03–0,34
		130	0,54–7,31	0,02–0,31
PU	50	150	0,67–6,54	0,03–0,28
		50	0,38–5,92	0,01–0,21
		70	0,40–4,58	0,01–0,16
		90	0,49–2,92	0,02–0,10
		150	0,24–1,06	0,01–0,04
PPV	45	180	0,14–0,37	\approx 0–0,01
		20	5,01–28,02	0,16–0,89
		35	3,14–24,78	0,10–0,79
		50	2,63–23,03	0,08–0,74
PP	357	100	0,40–5,86	0,01–0,19
		50	1,74–15,64	0,44–3,96
		70	0,75–8,76	0,19–2,22
		90	0,64–9,10	0,16–2,31
		100	0,80–11,39	0,20–2,89
		110	0,49–8,33	0,12–2,11
		130	0,67–7,14	0,17–1,81
		150	0,65–9,18	0,16–2,33

određivanih osobina sloja za postignuti opseg nasipne gustine: poroznost, ε , udeo čvrstog, ϕ , specifična površina, S, oblik pora, dominantne dimenzije pora, D_p , i koeficijent permeabilnosti, K_0 , date su u tabeli 4. Pod pojmom "mešoviti" oblik pora podrazumevaju se neuređeno nabacana vlakna koja grade pore trougaonog i pravougaonog oblika različitih dimenzija.

Odabrane empirijske relacije date u tabeli 1 imaju ograničenje da važe za vrednost $Re_v < 1$. U tabeli 5 dati su podaci opsega vrednosti nasipnih gustina, opsega brzina strujanja tečnosti i vrednosti broja Reynoldsa za sve materijale ispitivane u radu. Treba podvući da je postavljeni uslov ispunjen kod svih materijala, za sve uslove rada ($Re_v < 1$), osim kod nerđajućeg čelika, za koji su dobijene malo veće vrednosti istog reda veličine.

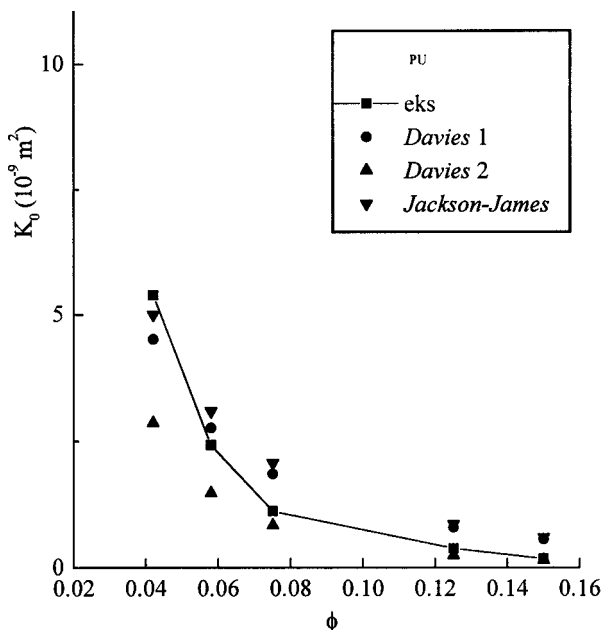
Računate su vrednosti permeabilnosti preko datih relacija (tabela 1) u funkciji promene udela čvrstog promenom nasipne gustine i poredene sa eksperimentalno dobijenim. Kako je za sloj poliuretana, (PU), realizovan najširi opseg udela čvrstog, ϕ , od 0,042 do 0,150, a prečnik vlakna je reda veličine približan sa većinom ispitivanih materijala, date su eksperimentalne i računski dobijene vrednosti permeabilnosti grafički, slika 1.

Vrednosti relativne greške za sve materijale i korišćene relacije date su u tabeli 6.

Odmah je uočljivo da odabrane empirijske relacije daju izrazito loša slaganja za sloj (SS) i (PP). Vrednosti srednje relativne greške variraju i među ostalim materijalima. Najmanja vrednost je postignuta za BA (0,27) i PPV

Tabela 6. Vrednost relativne greške za sve materijale.
Table 6. Relative errors for all fibrous beds

Materijal	d_v (μ m)	Jackson–James	Davies 1	Davies 2	Srednja vrednost
BA	35	0,12	0,13	0,55	0,27
PPV	45	0,20	0,15	0,35	0,23
PA	45	0,17	0,82	0,32	0,44
PU	50	0,96	0,84	0,32	0,71
PE	60	1,16	0,97	0,18	0,77
Sred. vr.	–	0,52	0,58	0,34	–
SS	141	3,27	3,10	2,06	2,81
PP	357	16,98	15,58	4,54	12,37



(0,23), dok su vrednosti za PU (0,71) i PE (0,77) međusobno bliske. Analizom dobijenih rezultata došlo se do konstatacije da je vrednost srednje relativne greške (RG) direktno određena prečnikom vlakna i da postoji linearna zavisnost $RG = -1,44 + 0,04 \phi$. Za datu jednačinu prave na bazi sedam tačaka za sedam materijala dobi-

Slika 1. Poređenje eksperimentalnih i računskih vrednosti permeabilnosti za realizovani opseg udela čvrstog za sloj vlakana poliuretana.

Figure 1. Comparison of the experimental and calculated data for polyurethane fibrous bed permeability

jen je koeficijent korelacije od $R = 0,993$. Data činjenica ukazuje da je neophodno za preporučene korelacije (tabela 1) uvesti i ograničenje vrednosti prečnika vlakna za koje ona važi.

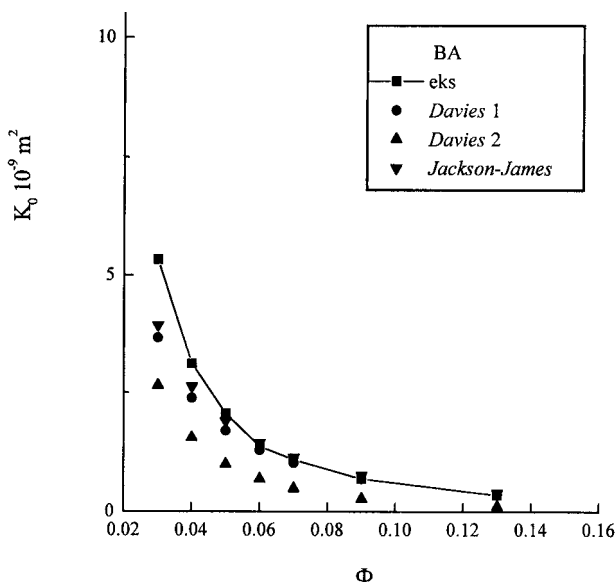
Ako se analizira vrednost greške za pojedine korelacije za svaki materijal pojedinačno, može se konstatovati da greške takođe variraju. Najmanja vrednost relativne greške postignuta je za korelaciju JJ i to za one materijale koji imaju najmanji prečnik vlakna (BA, PPV, PA), dok je vrednost relativne greške za korelaciju D2 najmanja za PU i PE, čiji su prečnici međusobno bliski. Čak i kod onih materijala sa velikom relativnom greškom vrednost greške je najmanja za korelaciju D2.

Ako se posmatra srednja vrednost relativne greške za sve tri korelacije za grupu materijala manjih prečnika, može se uočiti da je njihova međusobna vrednost bliska (za JJ greška iznosi 0,52, za D1 je 0,58, za D2 0,34). Iako su relativne greške za SS i PP drastično velike, može se i tu uočiti određena pravilnost i to za SS da su vrednosti grešaka bliske za sve tri korelacije, a za PP je neuporedivo najmanja za D2. Kako SS ima prečnik od 141 μm , a PP od 357 μm , moglo bi se reći da je SS u oblasti prečnika vlakna gde je odstupanje od posmatra-

nih korelacija podjednako, dok je daljim povećanjem prečnika odstupanje najmanje za D2.

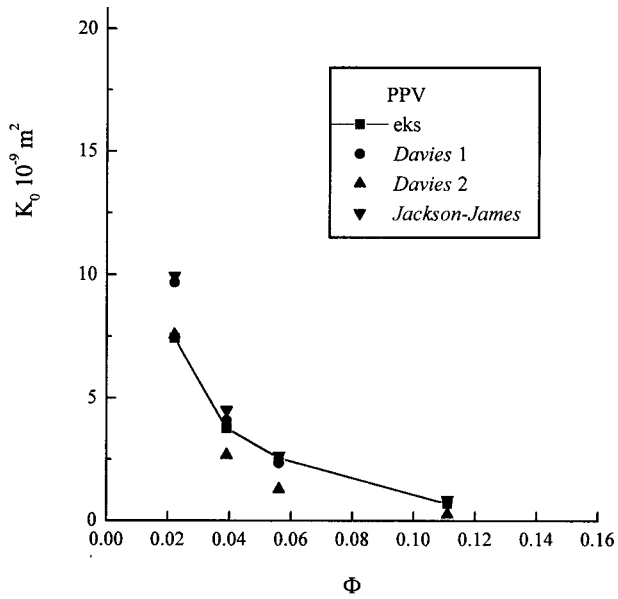
Na slikama 2 do 6 dat je grafički prikaz eksperimentalnih i računskih vrednosti permeabilnosti u funkciji udela čvrstog za ispitivane materijale redom BA, PPV, PA, PE, PP. Na prikazanim slikama moguće je komentarisati rasipanja i promene apsolutnog odstupanja, kao i to da li su računске vrednosti manje ili veće od eksperimentalnih.

Za prva četiri materijala sa manjim prečnicima treba istaći da korelacija D2 podbacuje dok su ostale bliske eksperimentalnim vrednostima. Na osnovu grafičkih prikaza takođe je uočljivo da su slaganja računskih vrednosti uslovljena opsegom vrednosti udela čvrstog, i da su apsolutna odstupanja niža što je udeo čvrstog veći. Jedino je Davies dao dodatno ograničenje za korelaciju D2 da važi za $\phi < 0,02$. Međutim, ovde prikazani rezultati pokazuju da data korelacija važi za mnogo širi opseg i da su apsolutna odstupanja porastom čvrstog (smanjenjem poroznosti) sve manja. Zapravo su eksperimenti autora pokrivali opseg viših vrednosti poroznosti što objašnjava postavljeno ograničenje. U ovom radu realizovana je maksimalna vrednost za ϕ od 0,15. Pošto je trend da sa porastom udela čvrstog stalno opada vrednost apsolutne greške, moguće je da su slaganja dobra i za još veće vrednosti ϕ . Važno je podvući da za prva četiri materijala sa najmanjim prečnikom vrednosti po korelaciji D2 podbacuju, dok kod PE, čiji je prečnik 60 μm , sve korelacije prebacuju eksperimentalne vrednosti i to sve više sa daljim povećanjem prečnika, slika 6, PP.

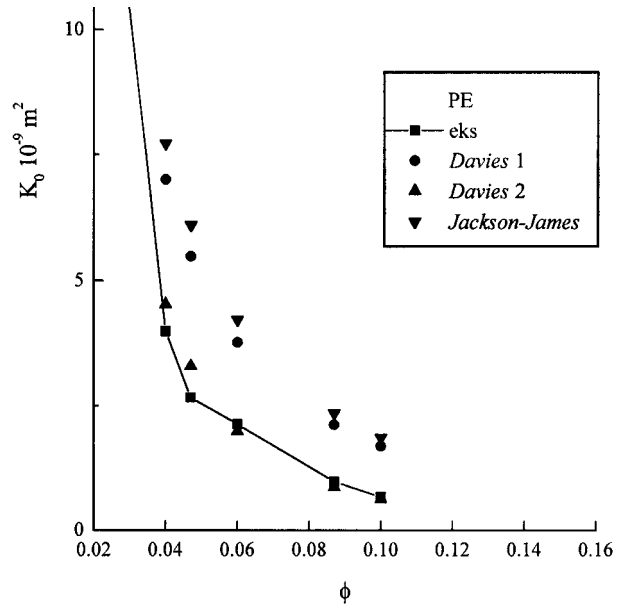


Slika 2. Poređenje eksperimentalnih i računskih vrednosti permeabilnosti za realizovani opseg udela čvrstog za sloj vlakana polietilena.

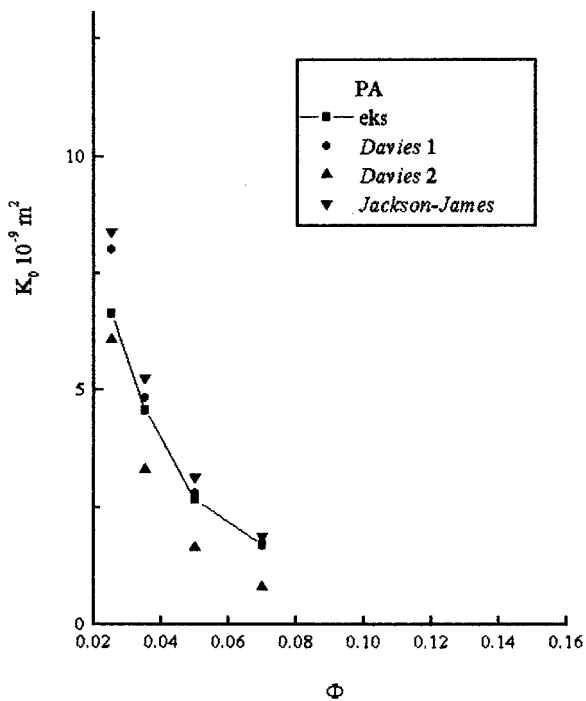
Figure 2. Comparison of the experimental and calculated data for polyethylene fibrous bed permeability



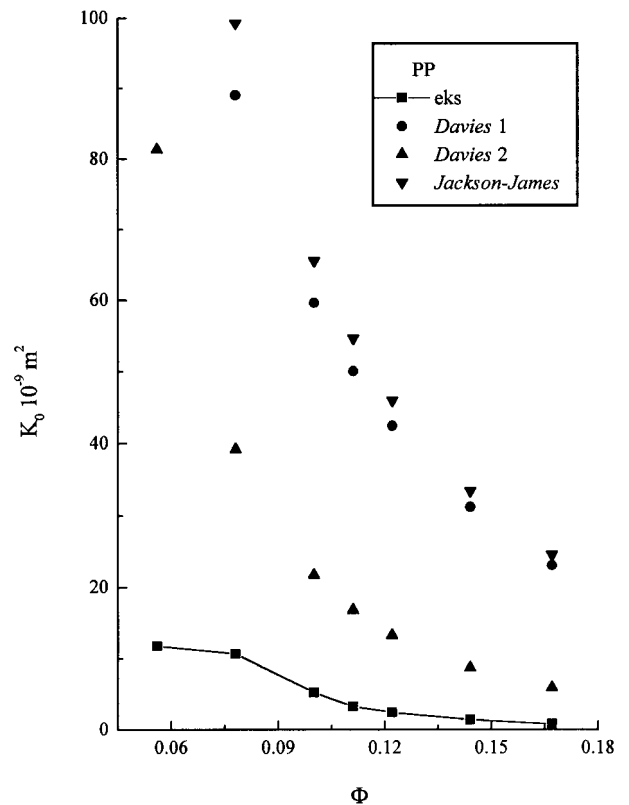
Slika 3. Poređenje eksperimentalnih i računskih vrednosti permeabilnosti za realizovani opseg udela čvrstog za sloj vlakana poli-propilena.
Figure 3. Comparison of the experimental and calculated data for polypropylene fibrous bed permeability



Slika 5. Poređenje eksperimentalnih i računskih vrednosti permeabilnosti za realizovani opseg udela čvrstog za sloj vlakana poli-estra
Figure 5. Comparison of the experimental and calculated data for polyester fibrous bed permeability



Slika 4. Poređenje eksperimentalnih i računskih vrednosti permeabilnosti za realizovani opseg udela čvrstog za sloj vlakana poliakrilamida
Figure 4. Comparison of the experimental and calculated data for polyacrylamide fibrous bed permeability



Slika 6. Poređenje eksperimentalnih i računskih vrednosti permeabilnosti za realizovani opseg udela čvrstog za sloj polipropilendžak
Figure 6. Comparison of the experimental and calculated data for polypropylene screen bed permeability

Uočljivo je da sa porastom udela čvrstog opadaju apsolutna odstupanja i za ostale posmatrane korelacije. Zapravo kada permeabilnost postaje nezavisna od udela čvrstog (asimptotski se približava određenoj vrednosti) tada više nema značajnih razlika između računskih i eksperimentalnih vrednosti. To bi moglo da znači da bi date korelacije mogle da se testiraju i za slojeve niske poroznosti i permeabilnosti.

ZAKLJUČAK

Računske vrednosti permeabilnosti sloja vlakana ispitivanih materijala, realizovane primenom navedenih empirijskih korelacija prate eksperimentalne vrednosti u funkciji opsega vrednosti prečnika vlakna i udela čvrstog. Odstupanja rastu sa povećanjem prečnika vlakna i smanjenjem udela čvrstog. Može se uočiti granična vrednost prečnika vlakna od 60 μm , vlakna poliestra, (PE, tabela 3, slika 5), ispod koga posmatrane korelacije i podbacuju i prebacuju, a posle toga sve korelacije prebacuju.

SPISAK OZNAKA

- a – poluprečnik vlakna, m
- d_v – prečnik vlakna, m
- K_o – koeficijent permeabilnosti poroznog sloja, m^2
- P_v – površina vlakna, mm^2
- Re_v – Reynoldsov broj za sloj vlakana
- v – brzina strujanja fluida, m/s
- V_v – zapremina vlakna, mm^3

GRČKA SLOVA

- ε – poroznost sloja
- ϕ – udeo čvrste faze
- μ – dinamička viskoznost fluida, Pa · s
- ρ_M – gustina materijala, kg/m^3 , jed. 2.1
- ρ – gustina fluida, kg/m^3
- ρ_N – nasipna gustina sloja, kg/m^3

SUMMARY

THE INFLUENCE OF FIBROUS BED BULK DENSITY ON THE BED PROPERTIES

(Scientific paper)

Radmila M. Šećerov Sokolović, Olja P. Stanimirović, Slobodan M. Sokolović,
Faculty of Technology, Novi Sad

The mean properties of seven different fibrous materials and the properties of their different bed bulk densities were investigated. The morphology of the surface, size and geometry were measured by optical microscopy. The bed porosity was measured by the weighing method. The experimental bed permeability, in a high range of bulk density, was calculated from the values of the sanitary water pressure drop at a constant temperature of 15°C, since the data followed Darcy's law. The Reynolds number for a fibrous bed was calculated using a relation from the literature. The Reynolds number was less than 1 for all ranges of fluid velocity. Three empirical relations for fibrous bed permeability were used and compared with the experimental data. It was determined that the empirical data depended on the fiber diameter and fraction of solid in the bed. The relative error linearly increased with increasing fiber diameter.

LITERATURA

- [1] S.S. Sareen, P.M. Rose, R.C. Gudesen, R.C. Kintner, AIChE J. **12** (6) (1966) 1045.
- [2] L.A. Spielman, S. L.Goren, Env. Sci. Technol. **2** (4) (1968) 279.
- [3] L.A. Spielman, Ph. D. Thesis, University of California, Berkeley, 1968.
- [4] R.N. Hazlett, Ind. Eng. Chem. Fundam., **8** (4) (1969) 633.
- [5] R.N. Hazlett, Ind. Eng. Chem. Fundam., **8** (4) (1969) 625.
- [6] L.A. Spielman, S.L. Goren, Ind. Eng. Chem. **62** (10) (1970) 11.
- [7] D.F. Sherony, R.C. Kintner, Can. J. Chem. Eng. **49** (1971) 314.
- [8] D.F. Sherony, R.C. Kintner, Can. J. Chem. Eng. **49** (1971) 321.
- [9] R.N. Hazlett, H.W. Carhart, Filtr. Sep. July/August (1972) 456.
- [10] L.A. Spielman, S.L. Goren, Ind. Eng. Chem. Fundam. **11** (1) (1972) 66.
- [11] L.A. Spielman, S.L. Goren, Ind. Eng. Chem. Fundam. **11** (1) (1972) 73.
- [12] J.I. Rosenfield, D.T. Wasan, Can. J. Chem. Eng. **52** (1974) 3.
- [13] L.A. Spielman, Y. P. Su, Ind. Eng. Chem., Fundam. **16** (2) (1977) 272.
- [14] F.A.L. Dullien, Porous Media – Fluid Transport and Pore Structure, Academic Press Inc. San Diego, 1992, str. 250.
- [15] T.J. Vulić, Magistarski rad, Tehnološki fakultet, Novi Sad, 1999.
- [16] R.M. Šećerov Sokolović, S. M. Sokolović, Koalescencija u poroznom sloju, Tehnološki fakultet, Novi Sad, 2000.
- [17] R.M. Šećerov Sokolović, T.J. Vulić, S.M. Sokolović, R.P. Marinković Nedučin, Ind. Eng. Chem. Res. (u štampi).
- [18] G.W. Jackson, D.F. James, Can. J. Chem. Eng. **64** (1986) 364.
- [19] K. Bal, D. Sigli, Applied Sci. Res. **52** (1994) 81.
- [20] V. Kapur, J.C. Charkoudian, B.S. Kessler, J.L. Anderson, Ind. Eng. Chem. Res. **35** (9) (1996) 3178.

Key words: Fibrous bed • Permeability • Bed geometry • Bed hydrodynamics •

Ključne reči: Sloj vlakana • Permeabilnost • Geometrija sloja • Hidrodinamika sloja •