

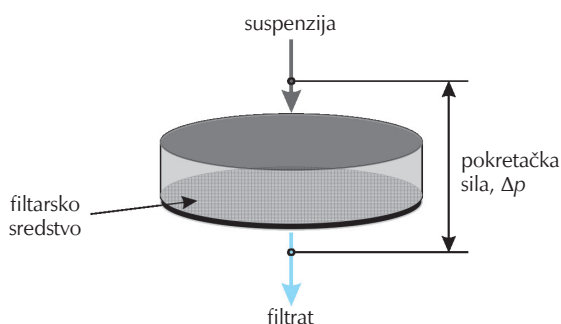


G. Matijašić*

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
Sveučilište u Zagrebu
Marulićev trg 19, 10 000 Zagreb

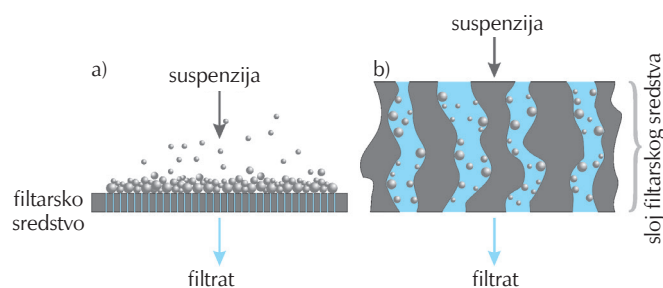
Filtracija

Filtracija je separacijski proces u kojem se čvrsta faza odvaja od kapljevine pomoću nekog filtarskog sredstva. Tok kapljevine kroz porozni sloj ostvaruje se razlikom tlakova s jedne i druge strane filtarskog sredstva (slika 1) – pokretačkom silom. Kapljevina koja prolazi kroz filtarsko sredstvo naziva se filtrat.



Slika 1 – Shematski prikaz filtarskog uređaja (filtra)

Filtracija se uvijek odvija uz prisutnost filtarskog sredstva. Ono može biti vrlo tanko s ujednačenim porama, pri čemu dolazi do zadržavanja na površini filtarskog sredstva i stvaranja tzv. kolača. Takva vrsta filtracije naziva se **filtracija kroz kolač** (slika 2a). Primjenjuje se za separaciju koncentriranih suspenzija (> 1 % vol. udio čvrstog), jer kod rijetkih suspenzija dolazi do brzog začepljenja pora filtarskog sredstva.



Slika 2 – Način zadržavanja čvrste faze:
a) filtracija kroz kolač, b) dubinska filtracija

U slučaju kada se čestice zadržavaju unutar filtarskog sredstva, govorimo o **dubinskoj filtraciji** (slika 2b). Čestice su manje od pora filtarskog sredstva te se zadržavaju unutar filtarskog sloja na različitim dubinama. Ta vrsta filtracije djelotvorna je za uklanjanje sitnih čestica te za rijetke suspenzije kojima je volumni udio čvrste faze manji od 0,1 %. Filtarsko sredstvo obično je neki disperzni sustav koji stvara poroznu strukturu. Dubinska se filtracija

primjenjuje u procesima obrade pitke vode kada se upotrebljavaju pješčani filtri.

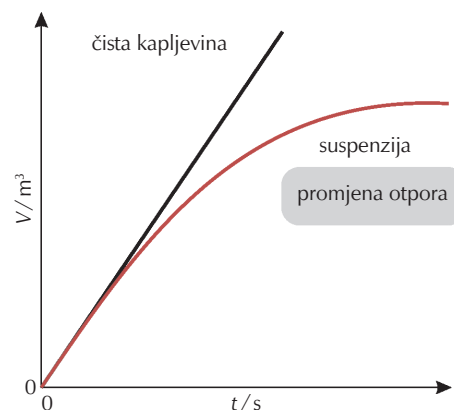
Filtracija kroz kolač

Filtracija kroz kolač češća je u procesnoj industriji jer se primjenjuje za odvajanje vrijednih proizvoda. Filtarsko sredstvo služi kao nosač stvorenog kolača. Međutim separacija čestica ne odvija se samo na površini filtarskog sredstva i površini kolača već i u njegovoj unutrašnjosti. Zbog toga ta vrsta filtracije obuhvaća dvojaki mehanizam separacije, pa se može reći da djelomično uključuje i dubinsku filtraciju.

Osnovna zakonitost koja povezuje protok, pokretačku silu i svojstva poroznog sloja je Darcyjeva jednadžba kojom je pokazano da je pad tlaka izravno proporcionalan protoku, odnosno brzini protjecanja kapljevine.

$$\frac{dp_L}{dl} = \frac{\mu}{K} \cdot v_A \quad (1)$$

Otpor protjecanju kapljevine pruža filtarsko sredstvo (R_M) i kolač koji se stvara na njegovoj površini (R_C), a ima jedinicu m^{-1} . Ukupni otpor tijekom filtracije raste, pa uz konstantnu pokretačku silu (Δp) dolazi do smanjenja volumena filtrata koji je moguće prikupiti u jediničnom vremenu (slika 3).



Slika 3 – Volumen filtrata prikupljen u vremenu pri filtraciji kapljevine i suspenzije

Otpor filtarskog sredstva konstantan je tijekom filtracije. Ukupni otpor kolača raste tijekom filtracije, a njegova konačna vrijednost ovisi o količini nastalog kolača po jediničnoj površini. Zbog toga se definira specifični otpor filtarskog kolača (α_{sr}) koji predstavlja otpor jedinične mase kolača. Specifični otpor filtarskog kolača ne mijenja se tijekom filtracije u slučaju da je kolač nestlačiv ili kada se radi pri konstantnom filtracijskom tlaku. Stlačivost kolača podrazumijeva promjenu strukture kolača promjenom filtracijskog tlaka, a ovisi o prirodi čestica.

* Prof. dr. sc. Gordana Matijašić
e-pošta: gmatijas@fkit.hr

Opća Carmanova jednadžba primjenjiva je za sve oblike filtracije:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A \cdot \Delta p}{\mu \cdot \left(\frac{\alpha_{sr} \cdot G \cdot V}{A} + R_M \right)} \quad (2)$$

Filtracija se može provoditi uz konstantan tlak, konstantnu brzinu ili promjenjive uvjete (konstantna brzina nakon čega slijedi period konstantnog tlaka), a opća Carmanova jednadžba prilagođava se integriranjem uz odgovarajuće procesne uvjete.

Filtracijski test

Srednji specifični otpor filtarskog kolača i otpor filtarskog sredstva određuju se eksperimentalno filtracijskim testom na laboratorijskim ili poluindustrijskim uređajima. Filtracija se provodi uz konstantan filtracijski tlak, zbog čega se primjenjuje modificirana Carmanova jednadžba za filtraciju pri konstantnom tlaku:

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu \cdot \alpha_{sr} \cdot G}{2 \cdot A^2 \cdot \Delta p} \cdot V + \frac{\mu \cdot R_M}{A \cdot \Delta p} \quad (3)$$

Na temelju podataka o volumenu filtrata prikupljenog u određenom vremenu konstruira se grafička ovisnost $\frac{t}{V} = f(V)$, a potom se iz nagiba pravca i odsjeka izračunavaju otpori.

Ukoliko se radi o stlačivim kolačima, srednji specifični otpor mijenja se promjenom filtracijskog tlaka zbog čega je potrebno poznavati sljedeću ovisnost:

$$\alpha_{sr} = \alpha_0 \cdot (1-n) (\Delta p)^n \quad (4)$$

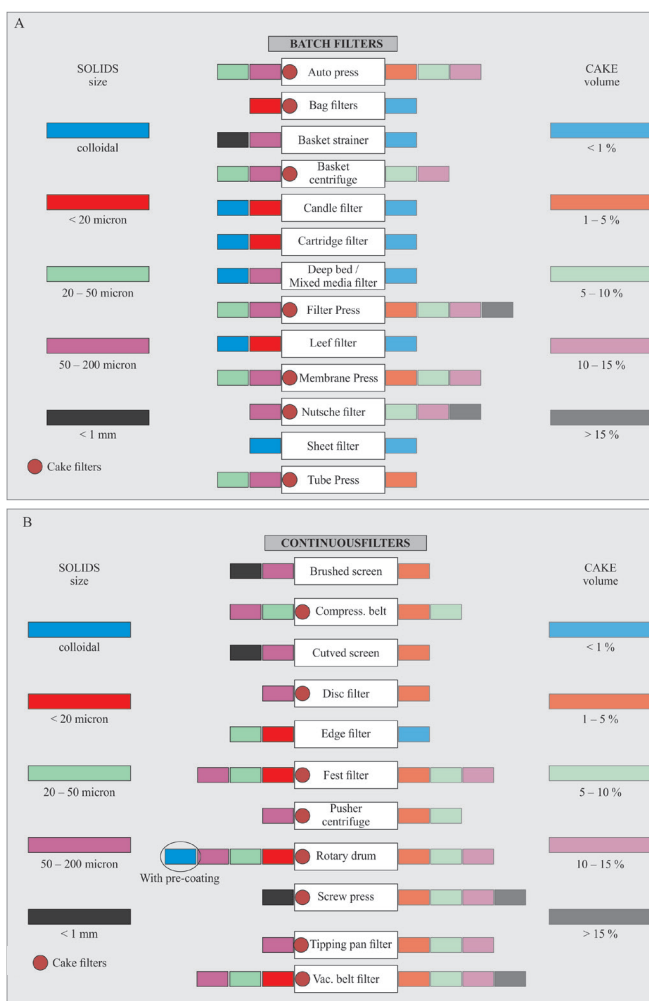
gdje su α_0 i n empirijske konstante.

Vrste filtara i odabir

Ponuda filtara danas je iznimno velika. Filtri se s obzirom na pokretačku silu mogu podijeliti na tlačne, vakuumske i centrifugalne. Tlačni filtri nalaze čestu upotrebu u kemijskoj procesnoj industriji za separaciju suspenzija koncentracije 1 do 10 %, koje sadrže sitnije čestice koje se sporo talože. Vakuumski filtri pogodniji su kod suspenzija s manjim udjelom sitnijih čestica. Tlačni filtri rade diskontinuirano (šaržno), dok je kod vakuumskih moguć i kontinuiran rad jer je uklanjanje kolača jednostavnije.

Prilikom odabira opreme i procesnih uvjeta treba voditi računa o nizu faktora poput: svojstava kapljevine, svojstava čvrste faze, koncentracije, količine suspenzije, ispiranju kolača, mogućnosti predobrade i slično. Odabir s obzirom na veličinu čestica i volumen kolača ilustriran je slikom 4a i 4b.

Za pomoć pri odabiru standardizirane opreme danas služe i vodiči koje nude proizvođači opreme. Također, razvijeni su razni ekspertni sustavi za odabir opreme na temelju odgovarajućih laboratorijskih testova. Za to su, prije svega, potrebni podatci dobiveni filtracijskim testom u laboratorijskim uvjetima, specifični otpor kolača i otpor filtarskog sredstva (više informacija: R. G. Holdich, 2000.).



Slika 4 – Vodič pri odabiru filtara:
a) šaržni, b) kontinuirani uređaji (B. A. Perlmutter, 2009.)

Najprikladniji filtar za operaciju je onaj koji će zadovoljiti zahtjeve procesa i pri tome imati najnižu cijenu. Cijena opreme proporcionalna je filtarskoj površini.

Simboli

dp/dl	– gradijent hidrodinamičkog tlaka, Pa m ⁻¹
μ	– dinamička viskoznost, Pa s
K	– permeabilnost, m ²
v_A	– brzina strujanja fluida, m s ⁻¹
V	– volumen filtrata, m ³
t	– vrijeme, s
A	– površina filtra, m ²
Δp	– filtracijski tlak, m ³
G	– količina čvrste tvari po jediničnom volumenu filtrata, kg m ⁻³
α_{sr}	– srednji specifični otpor filtarskog kolača, m kg ⁻¹
R_M	– otpor filtarskog sredstva, m ⁻¹
n	– koeficijent kompresibilnosti kolača, –

Literatura

- A. Rushton, A. S. Ward, R. G. Holdich, Solid-Liquid Filtration and Separation Technology, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Federal Republic of Germany, VCH Weinheim, 1996, doi: <https://doi.org/10.1002/9783527614974>.
- R. J. Wakeman, E. S. Tarleton, Equipment Selection, Modeling and Process Simulation, Elsevier, Oxford 1999.
- B. A. Perlmutter, Selection of filters for the separation process, Chem. Eng. World 12 (2009) 68–74, URL: <http://www.bhs-filtration.com/documents/Selection-of-Filtration.pdf>.
- R. G. Holdich, The selection procedure based on filter cake specific resistance, Loughborough University, 2000. (<http://www.filtration-and-separation.com/filters-alpha.htm>).