

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, održanoj 25.10.2012. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije, koju je pod nazivom: „KINETIKA MIKROFILTRACIJE I ULTRAFILTRACIJE MODEL RASTVORA VOĆNIH SOKOVA”, predložila Tijana Urošević, dipl. inženjer prehrambene tehnologije biljnih proizvoda i master inženjer tehnologije.

Na osnovu pregleda dokumentacije koju je dostavio kandidat Komisija o naučnoj zasnovanosti predložene teme podnosi sledeći

I Z V E Š T A J

1. PODACI O KANDIDATU

Opšti biografski podaci

Tijana Urošević (devojačko Marković) rođena je 11.08.1981. godine u Beogradu. Osnovnu školu i gimnaziju završila je sa odličnim uspehom u Beogradu. Studije na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu započela je školske 2000/01. godine. Diplomirala je 30.09.2005. godine sa prosečnom ocenom 8,22 i ocenom 10 (deset) na diplomskom ispitu. Školske 2006/07. upisala je master studije na Tehnološko – metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, smer Hemijsko inženjerstvo (Hemijska tehnologija), pod mentorstvom prof. dr Dragana Povrenovića. Diplomirala je 27.11.2007. godine sa prosečnom ocenom 9,57 i ocenom 10 (deset) na završnom ispitu, čime je stekla zvanje *master inženjer tehnologije*. Školske 2007/08. upisala je doktorske studije na Tehnološko – metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, smer Hemijsko inženjerstvo, pod mentorstvom prof. dr Dragana Povrenovića. U okviru doktorskih studija položila je sve ispite predviđene planom i programom, uključujući i završni ispit, postigavši sledeće ocene:

Predmet	ESPB	Ocena
Odabrana poglavlja matematičke analize	5	8
Hemijska kinetika	5	10
Viši kurs termodinamike	5	10
Analogije fenomena prenosa	4	10
Specijalna poglavlja prenosa mase	4	10
Odabrani membranski procesi	4	10
Viši kurs pripreme vode za piće	4	10
Industrijke vode	4	10
Prečišćavanje otpadnih voda	5	10
Prenos toplote i energetska integracija	5	10
Principi bioprocesnog inženjerstva u prečišćavanju otpadnih voda	6	10
Završni ispit na doktorskim studijama	30	10

Tijana Urošević je odmah nakon završenih osnovnih studija na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu, u oktobru 2005. godine, angažovana preko Omladinske zadruge Beograd, kao saradnik u nastavi na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u

Beogradu, pri čemu je bila zadužena za održavanje računskih vežbi na predmetu Tehnološke operacije, na Institutu za prehrambenu tehnologiju i biohemiju. Na istom fakultetu je u decembru 2008. godine izabrana za *saradnika u nastavi*, za užu naučnu oblast *Procesno inženjerstvo*, predmet *Tehnološke operacije*. A zatim u martu 2010. godine izabrana je za *asistenta* za istu naučnu oblast i na predmetima *Tehnološke operacije*, *Mehaničke operacije* i *Toplotne i difuzione operacije*.

U periodu od 01.04.2009 – 31.12.2010. godine bila je saradnik na projektu Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, pod nazivom “Razvoj sistema za grejanje i hlađenje plastenika/staklenika sa geotermalnom energijom” (TR 18234A).

Od januara 2011. godine angažovana je na projektu “Istraživanje korišćenja solarne energije primenom vakuumskih kolektora sa toplotnim cevima i izgradnja demonstracionog postrojenja”, TR 33048 koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

Spisak objavljenih naučnih radova:

Radovi u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21)

Stakić M., Urošević T.: Experimental Study and Simulation of Vibrated Fluidized Bed Drying, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, (2011) 50 (4) 428 – 437. ISSN 0255-2701; IF (2011) = 1.924

Rad u istaknutom međunarodnom časopisu (M22)

Stakić M., Nikolić A., Urošević T.: Numerical Study of Convective Water Desorption from Polystyrene Cation Resin CG-8, *Chemical Engineering and Technology*, 34 (7) (2011) 1164 – 1171. ISSN 0930-7516; IF (2011) = 1.598

Rad u međunarodnom časopisu (M23)

Stakić M., Banjac M., Urošević T.: Numerical Study on Hygroscopic Material Drying in Packed Bed, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, (2011) 28 (2) 273 – 284. ISSN 0104-6632; IF (2010) = 0.811

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini (M33)

Tijana Marković, P. Vukosavljević, Branka Bukvić, G. Vladislavljević; *Investigations of hydrodynamic permeability ceramic and polysulfone membranes for microfiltration and ultrafiltration*, Membrane Science and Technology Conference of Visegrad Countries, Permea 2007, CD – rom, Septembar 2 – 6, 2007. Siofok, Hungary. ISBN 978 – 963 – 9319 – 69 – 1

Rad u časopisu nacionalnog značaja (M52)

Tijana Marković, P. Vukosavljević, G. Vladislavljević, Branka Bukvić; *Investigations of hydrodynamic permeability ceramic membranes for microfiltration*, J. Agric. Sci. 51(2) (2006) 151 – 164. ISSN 1450 – 8109

Odbranjen magistarski rad (M72)

Tijana Marković, *Ispitivanje hidrodinamičke propustljivosti keramičkih i polisulfonskih mikrofiltracionih i ultrafiltracionih membrana*, Završni rad na master studijama, Tehnološko–metalurški fakultet, Beograd (odbranjen 27.11.2007.).

Udžbenik

Stakić M., **Urošević T.**, Tehnološke operacije, Deo 1.: Mehničke operacije, Univerzitet u Beogradu – Poljoprivredni fakultet; Beograd – Zemun (2011.). ISBN 978-86-7834-122-9, COBISS.SR-ID 1840123068

Učešće u projektima finansiranim od strane nadležnog Ministarstva (M105)

1. Projekat Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije (TR 33048): *Istraživanje korišćenja solarne energije primenom vakuumskih kolektora sa toplotnim cevima i izgradnja demonstracionog postrojenja*, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu (Rukovodilac prof. dr Milan Gojak), **2011-2014**.
2. Projekat Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije (TR 18234A): *Razvoj sistema za grejanje i hlađenje plastenika/staklenika sa geotermalnom energijom*, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju (IHTM) u Beogradu (Rukovodilac Predrag Milanović), **01.04.2009 – 31.10.2010**.

Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Na osnovu dosadašnjeg rada i pokazanih rezultata tokom poslediplomskih studija i u okviru naučno-istraživačkog rada, Tijana Urošević, dipl. inženjer prehrambene tehnologije biljnih proizvoda i master inženjer tehnologije, pokazala je sklonost i izrazitu sposobnost za bavljenje naučno-istraživačkim radom, što ukazuje da je ispunila potrebne uslove za rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA

Praktična primena membranskih procesa se intenzivno proučava poslednjih petnaestak godina. Membranski separacioni procesi su nezaobilazna faza proizvodnje u više grana industrije. Za početak primene membranskih procesa u industriji uzima se 1960. godina kada su Loeb i Sourian, američki istraživači počeli da primenjuju sintetičke membrane u cilju dobijanja pitke vode iz morske. 1975. godine pojavila se prva industrijska membrana na bazi celuloznog acetata. Membranski separacioni procesi su nezaobilazna faza proizvodnje u više grana industrije. Primena membrana ima značajno mesto u prehrambenoj industriji (mlekarstvo, proizvodnja voćnih sokova, industrija šećera, proizvodnja alkoholnih, bezalkoholnih i niskoalkoholnih pića i sl.), u petrohemiji, u medicini (hemodijaliza), za tretman otpadnih tokova u cilju regeneracije vrednih sastojaka, energije ili zaštite životne sredine. Membranska tehnologija poslednjih godina zauzima sve značajnije mesto u prehrambenoj tehnologiji. Dobija sve veći značaj zbog većih zahteva koji se postavljaju u pogledu fizičke, hemijske, mikrobiološke i senzorne stabilnosti proizvoda kao i strožijih zakonski propisa i sve izoštrenijih zahteva tržišta.

Uređaji koji se koriste moraju po svojoj koncepciji odgovarati opštim kriterijumima savremene tehnologije u pogledu ekonomičnosti, automatizacije i ekoloških standarda, da bi bili prihvatljivi. Membranski procesi zahtevaju malu potrošnju energije, ne proizvode otpad, malih su dimenzija, velikog kapaciteta, lako se automatizuju, a postrojenja su sa aspekta sigurnosti potpuno bezbedna⁽⁹⁾.

Membranski procesi podrazumevaju razmenu mase i energije između dve faze, koje se vrše kroz tanak sloj treće faze (membrane), čija fizička i hemijska građa dominantno utiču na karakter i tok razmene. Membranski procesi uopšteno mogu biti separacioni, energetski ili hemijski.

Membranski separacioni procesi imaju prednosti u odnosu na alternativne procese kao što su destilacija, uparavanje, ekstrakcija, kristalizacija, centrifugiranje, hemijsko razdvajanje komponenti i drugo. Prednosti su što se separacija vrši bez promene temperature, pH smeše i bez dodavanja bilo kakvih hemikalija. Usled toga energetski troškovi su niski, nema gubitaka termolabilnih i isparljivih sastojaka, produkti separacije se dobijaju bez stranih primesa i drugo.

Mikrofiltracija i ultrafiltracija sa aspekta pogonskih sila, spadaju u istu grupu membranskih procesa koje karakteriše zajednička osobina – separacija pojedinih komponenti tečne faze pod dejstvom razlike pritiska kao pogonske sile. Osnovne razlike između ova dva procesa su u veličini čestica koje se zadržavaju na granici tečna faza – membrana, kao i u pogledu radnih pritiska i flukseva. U slučaju mikrofiltracije i ultrafiltracije koriste se mikroporozne membrane, pa se transport rastvarača obavlja kroz pore membrane hidrauličkim tokom, dok se molekuli rastvorka i suspendovane čestice zadržavaju na površini membrane delovanjem efekta sita, jer su pore membrane suviše uske da bi ih propustile.

Međutim, u stvarnosti, proces nije tako jednostavan. Jedan od glavnih problema pri izvođenju mikro- i ultrafiltracije je opadanje fluksa permeata tokom izvođenja procesa. Do opadanja fluksa permeata dolazi zbog nekoliko fenomena koji se dešavaju u ili na membrani. Svi fenomeni koji dovode do opadanja fluksa permeata su obuhvaćeni fenomenom koncentracione polarizacije i fenomenom "prljanja" membrane. Rezultat ovih fenomena je opadanje fluksa permeata. Koncentraciona polarizacija i prljanje pora membrane dovode do gubitka propustljivosti membrana za mikro- i ultrafiltraciju, što se manifestuje smanjenjem fluksa permeata. Na ukupan prenos mase kroz membranu, osim otpora same membrane, utiče i polarizacioni otpor. Uzroci i fenomeni koncentracione polarizacije, prljanja pora tj. stvaranja sloja na membrani su manje ili više poznati, međutim primenljive metode za njeno smanjenje se sve više ispituju.

Metode koje se mogu primeniti su predtretman napojnog rastvora, izbor vrste, odnosno konstrukcije membrane i modula kao i izbor radnih uslova. Neke od njih se već dugo primenjuju u praksi, dok su neke u fazi ispitivanja. U cilju dobijanja većeg fluksa permeata i boljih selektivnih karakteristika membrane tokom "cross – flow" ultrafiltracije i mikrofiltracije, razvijene su različite metode smanjenja prljanja membrane i efekta koncentracione polarizacije. Najveći broj istraživanja je usmeren na razvoj dve vrste metoda: hidrodinamičke metode kojima se poboljšava prenos mase na površini membrane (uvođenjem turbulentnog toka), metode koje se zasnivaju na povratnom transpotru zadržanih rastvoraka i čestica od površine membrane ka osnovnoj masi rastvora.

Ovde spadaju metode za izazivanje turbulentnog proticanja i metode za izazivanje nestabilnosti i nestacionarnog proticanja kroz modul. Turbulentno proticanje se postiže povećanjem "cross – flow" brzine proticanja kroz modul ili korišćenjem promotera turbulencije. Metode koje će biti primenjene prilikom izvođenja eksperimenata u cilju izrade ove doktorske disertacije su: *izbor membranskog materijala, promena operativnih uslova, primena promotera turbulencije i stvaranja lokalnog vrtloženja, periodično povratno ispiranje (backwashing)*.

Literatura:

1. Richard W. Baker, *Membrane Technology and Applications, Second Edition*, John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
2. B. Girard, L.R. Fukumoto, *Membrane Processing of fruit juices and beverages: A review*, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 40 (2): 91 - 157 (2000).
3. Vukosavljević P., *Bistrenje soka maline primenom ultrafiltracije i mikrofiltracije*, Doktorska disertacija, Beograd, 2006.
4. P. Rai, G.C. Majumdar, S. Das Gupta, S. De, *Modeling of permeate flux of synthetic fruit juice and mosambi juice (Citrus sinensis (L.) Osbeck) in stirred continuous ultrafiltration*, LWT 40 (2007) 1765 – 1773.
5. Srimanta Pal, Swati Ambastha, Timir Baran Ghosh, Sirshendu De, Sunando DasGupta, *Optical evaluation of deposition thickness and measurement of permeate flux enhancement of simulated fruit juice in presence of turbulence promoters*, Journal of Membrane Science 315 (2008) 58 – 66.
6. Mehdi Yazdanshenas, Sayyed Ali Reza Tabatabaee – Nezhad, Mohammad Soltanieh, Reza Roostaazad, Ali Baradar Khoshfetrat, *Contribution of fouling and gel polarization during ultrafiltration of raw apple juice at industrial scale*, Desalination 258 (2010) 194 – 200.
7. Vladislavljević, G.T., Vukosavljević, P. and Bukvić, Branka, 2003, *Permeate flux and fouling resistance in ultrafiltration of depectinized apple juice using ceramic membranes*, Journal of Food Engineering, 60: 241–247.
8. V. Alvarez, L. J. Andres, F. A. Riera, R. Alvarez, *Microfiltration of apple juice using inorganic membranes: process optimization and juice stability*, Can. J. Chem. Eng., 74, 156 – 162 (1996).
9. O. Padilla-Zakour, M. R. McLellan, *Optimization and modeling of apple juice cross-flow microfiltration with a ceramic membrane*, J. Food Sci., 58, 369 (1993).
10. Y.N.Lee, R.C.Wiley, M.J.Sheu, D.V.Schlimme, *Purification and Concentration of Betalaines by Ultrafiltration and Reverse Osmosis*, Journal of Food Science, Vol. 47, 465-471 (1982).
11. Diana T. Constenla, Jorge E. Lozano, *Hollow Fibre Ultrafiltration of Apple Juice: Macroscopic Approach*, Lebensm.-Wiss. u.-Technol., 30, 373–378, (1997).
12. Diana T. Constenla, Jorge E. Lozano, *Predicting Stationary Permeate Flux in the Ultrafiltration of Apple Juice*, Lebensm.-Wiss. u.-Technol., 29, 587–592, (1996).
13. Mohd Zaki Sulaiman, Nik Meriam Sulaiman, Marwan Shamel, *Ultrafiltration studies on solutions of pectin, glucose and their mixtures in a pilot scale crossflow membrane unit*, Chemical Engineering Journal 84, 557–563, (2001).
14. M.Z.Sulaiman, N.M.Sulaiman, L.S.Yih, *Limiting Permeate Flux in the Clarification of Untreated Starfruit Juice by Membrane Ultrafiltration*, Chemical Engineering Journal 69, 145-148 (1998).

3. POLAZNE HIPOTEZE

Industrijska primena membranskih separacionih procesa za filtraciju u proizvodnji voćnih sokova, još uvek je ograničena usled prljanja membrane, koje dovodi do smanjenja fluksa permeata i promene selektivnih osobina membrane. U cilju dobijanja boljih karakteristika ovih procesa, istraživani su različiti faktori koji utiču na prenos mase kroz membranu.

Na osnovu dosadašnjih saznanja, postavljeni su ciljevi ovog rada polazeći od sledećih pretpostavki:

- Jedan od glavnih problema pri izvođenju mikrofiltracije i ultrafiltracije je opadanje fluksa permeata tokom procesa, zbog prljanja membrane, odnosno stvaranja sekundarnog dinamičkog sloja. Jedna od metoda koja služi za suzbijanje i kontrolu fenomena koncentracione polarizacije je izbor operativnih uslova. Promenom operativnih uslova odnosno optimizacijom temperature i transmembranskog pritiska sa obe strane membrane, kao i optimizacijom brzine strujanja napojnog rastvora direktno se utiče na kontrolu koncentracione polarizacije i to na sledeći način. Većim brzinama strujanja napojnog rastvora podstiče se turbulentni tok, koji ima važnu ulogu u uklanjanju sekundarnog dinamičkog sloja u komercijalnim membranama. Ranijim ispitivanjima je utvrđeno da stacionarni fluks permeata različitih sokova raste sa porastom transmembranskog pritiska samo do neke optimalne vrednosti pritiska, koja se kreće od 1 do 3 bara, a nakon toga fluks opada sa daljim povećanjem pritiska. Iz tog razloga potrebno je da razlika pritisaka ne bude veća od optimalne razlike pritisaka za date uslove.
- „Cross - flow“ tehnika mikrofiltracije i ultrafiltracije je takođe tehnika koja služi za smanjenje prljanja membrane i suzbijanje fenomena koncentracione polarizacije. Povećanjem „cross – flow“ brzine proticanja kroz modul postiže se stvaranje nestabilnog i nestacionarnog toka, odnosno turbulentnog proticanja napojnog rastvora kroz modul. Dosadašnja istraživanja su bila upućena na ispitivanje dovoljnih većih brzina napojnog rastvora, pri kojima bi pri prolasku kroz membranu, napojni rastvor sa sobom odnosio sekundarni dinamički sloj čestica koji se obrazuje na površini membrane pri filtraciji polaznog rastvora i time se smanjuje mogućnost taloženja čestica na membrani, zatim blokiranje i zapušavanje pora, a samim tim se direktno utiče na koncentracionu polarizaciju koji je glavni problem pri obavljanju procesa mikrofiltracije i ultrafiltracije.
- U dosadašnjoj objavljenoj literaturi mogu se naći brojna ispitivanja upotrebe statičkih promotera turbulencije različitih oblika pri obavljanju „cross-flow“ mikro- i ultrafiltracije. Umetci, odnosno statički mešači kao promotori turbulencije povećavaju brzinu strujanja, prouzrokuju sekundarne tokove i izazivaju nestabilnost laminarnog toka. Prema dosadašnjim istraživanjima pokazalo se da su fluksevi pri ultrafiltraciji koloidnih rastvora sa promoterima turbulencije bili veći za 50 – 300%, nego bez upotrebe tih umetaka. Što znači da bi upotreba promotera turbulencije trebala da poboljša karakteristike "cross-flow" ultrafiltracije, da se može očekivati njegov pozitivan uticaj, kako sa aspekta potrošnje energije tako i sa aspekta ukupne ekonomičnosti, i da bi upotreba statičkog mešača mogla da doprinese većoj primeni "cross-flow" ultrafiltracije u proizvodnji voćnih sokova;
- Periodičnim povratnim ispiranjem (backwashing) se formirani talog pri procesu mikrofiltracije, na membrani podiže, i to uz pomoć komprimovanog vazduha ili nekog inertnog gasa, koji se propušta u suprotnom smeru od isticanja permeata. Dosadašnja ispitivanja ove alternativne tehnike su pokazala da je podizanje taloga sa membrane idejno dobro rešenje. Ova tehnika ima niz prednosti. Nema uspostavljanja stacionarnog stanja pri niskim fluksevima, već je fluks stalno u zoni visokog fluksa. Time je i ukupna sakupljena masa permeata znatno veća, a osim toga kratkotrajno ispiranje u određenim vremenskim intervalima (backwashing) komprimovanim vazduhom ili nekim inertnim gasom nije tehnički komplikovano rešenje. Nema velikih utrošaka energije koji ekonomski opterećuju proces. Proces je lako i jednostavno voditi bez puno dodatnog manuelnog rada. Prema podacima iz literature, mnogi istraživači su ispitivali zavisnost opadanja fluksa sa VCR – om (faktor

zapreminskog koncentrisanja), na osnovu koga se razlikuju tri perioda. Prvi period je period najvećeg i naglog opadanja fluksa permeata, drugi period je takođe period opadanja fluksa permeata, ali je ono mnogo manje nego u prvom periodu i tada se vrednost VCR kreće od 3 do 7. I na kraju treći period je period za koji je karakterističan vrlo mali pad fluksa permeata. Na osnovu toga se izvodi zaključak, da je periodično povratno ispitivanje najbolje vršiti na kraju prvog i u toku drugog perioda. Vreme koje se gubi za povratno ispiranje je vrlo malo u odnosu na povećanje sakupljene količine permeata, čime se ukupno vreme mikrofiltracije znatno skraćuje.

Polazeći od iznetih pretpostavki, istraživanja imaju za cilj ispitivanje mogućnosti poboljšanja fluksa permeata promenom operativnih uslova i ispitivanje i određivanje optimalnih parametara mikro- i ultrafiltracije; primene promotera turbulencije kod „cross-flow“ ultrafiltracije i primene periodičnog povratnog ispiranja kod „cross - flow“ mikrofiltracije. Rezultati bi trebalo da daju doprinos postojećim znanjima o poboljšanju "cross-flow" mikrofiltracije i ultrafiltracije, kao i potpunijem razumevanju fenomena koji utiču na prenos mase kod ovog procesa.

4. NAUČNE METODE ISTRAŽIVANJA

Da bi se realizovali postavljeni ciljevi izvršiće se sledeća ispitivanja:

- Određivanje uticaja radnih parametara (protoka napojnog rastvora, razlike pritisaka, temperature i promotera turbulencije) na kinetiku prenosa mase model rastvora ultrafiltracijom kroz Carbosep membrane (M7, M8 i M9)
- Određivanje uticaja radnih parametara (protoka napojnog rastvora, razlike pritisaka, temperature i periodičnog povratnog ispiranja) na kinetiku prenosa mase model rastvora mikrofiltracijom kroz Kerasep membranu.
- Određivanje uticaja različite koncentracije pektina u model rastvorima na kinetiku prenosa mase model rastvora kroz Carbosep ultrafiltracione membrane i kroz Kerasep mikrofiltracionu membranu.
- Analiza pektinskih materija u napojnom rastvoru, permeatu i retentatu i upoređivanje sličnosti i razlika dobijenih rezultata nakon mikrofiltracije i ultrafiltracije ispitivanog model rastvora.

Svi eksperimenti biće izvedeni na laboratorijskoj aparaturi za mikro- i ultrafiltraciju, koja je konstruisana tako da omogući jednostavan rad, kontrolu procesa i variranje ispitivanih parametara (protok retentata kroz sistem, razliku pritisaka, temperaturu, vreme). Eksperimenti će se obaviti u laboratorijama Poljoprivrednog fakulteta u Beogradu.

Eksperimenti će biti izvedeni sa četiri različite membrane. Ultrafiltracione neorganske membrane, tip Carbosep M9, M8 i M7, (granica separacije prema molekulskoj masi 300, 50 i 30 kg/mol), su proizvodnje Rhone-Poulenc group, Tech-Sep, Miribel, Francuska. Ove anizotropne membrane su unutrašnjeg prečnika 6 mm i dužine 225 mm. Carbosep membrane se sastoje od tankog permselektivnog sloja sa unutrašnje strane od cirkonijum-dioksida i titan-dioksida, nanetog na nosač od poroznog ugljenika. Mikrofiltraciona membrana Kerasep je neorganska membrana napravljena od tankog permselektivnog sloja sa unutrašnje strane od cirkonijum-dioksida i titan-dioksida, nanetog na nosač od $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$, sa granicom separacije od 0,2 μm , proizvođača Tech-Sep, Miribel, Francuska. Membrana je dužine 270 cm, sadrži 19 kanala sa prečnikom od 4 mm. Membrana je smeštena u plastičnom modulu sa zaptivnim gumama.

Eksperimenti se odnose na ispitivanje uticaja radnih parametara (protok retentata kroz sistem, razlika pritisaka, temperatura, vreme) na kinetiku mikro- i ultrafiltracije za sve četiri

membrane, maksimalni stepen koncentrisanja filtrata i za oba procesa, uticaj pritiska i vremena na tehniku periodičnog povratnog ispiranja (backwashing). S' obzirom da će se kao napojni rastvori koristiti model rastvori (rastvor pektina, limunske kiseline i glukoze), biće ispitivan i uticaj koncentracije pektina na fluks permeata pri "cross – flow" mikro- i ultrafiltraciji.

Masa sakupljenog permeata model rastvora meriće se sa tačnošću od $\pm 0,1$ g, svakih 60 sekundi u vremenskim intervalima od 120 minuta.

5. OČEKIVANI NAUČNI DOPRINOS

S' obzirom da membranski procesi imaju veliku primenu i u prehrambenoj industriji, i da se dosta dugo koriste, postoje i određeni problemi prilikom njihove primene. Najveći broj radova na temu mikro- i ultrafiltracije se odnosi na filtraciju sokova raznog voća (sok od jabuke, ananasa, citrusa, grožđa, kivija, borovnice, višnje, manga, breskve, kruške), kao i filtraciju soka od šećerne trske.

Jedan od glavnih problema pri izvođenju mikro- i ultrafiltracije je opadanje fluksa permeata tokom izvođenja procesa. Do opadanja fluksa permeata dolazi zbog nekoliko fenomena koji se dešavaju u ili na membrani. Svi fenomeni koji dovode do opadanja fluksa permeata su obuhvaćeni fenomenom koncentracione polarizacije i fenomenom "prljanja" membrane. Rezultat ovih fenomena je opadanje fluksa permeata.

U ovoj doktorskoj disertaciji biće detaljno ispitana jedna od alternativnih tehnika, koja do sada nije dovoljno istražena, i koja znatno uklanja glavni problem membranskih procesa, polarizacioni otpor, i objasniti mehanizam poboljšanja fluksa permeata pri „cross – flow“ mikro- i ultrafiltraciji. U pitanju je periodično povratno ispiranje (backwashing). Postaviće se model, koji će pokazati da je periodično povratno ispiranje, odnosno podizanje taloga sa membrane, idejno dobro rešenje. Ova tehnika ima niz prednosti i biće detaljno obrađena u ovom radu kroz eksperimente. Mehanizam ove metode se zasniva na činjenici da nema uspostavljanja stacionarnog stanja pri niskim fluksevima, već je fluks stalno u zoni visokog fluksa. Time je i ukupna sakupljena masa permeata znatno veća. Kratkotrajno ispiranje u određenim vremenskim intervalima (backwashing) komprimovanim vazduhom ili nekim inertnim gasom, nije tehnički komplikovano rešenje. Nema visokih utrošaka energije koji ekonomski opterećuju proces. Proces je lako i jednostavno voditi bez puno dodatnog manuelnog rada. Vreme koje se gubi za povratno ispiranje je vrlo malo u odnosu na povećanje sakupljene količine permeata, čime se ukupno vreme mikrofiltracije ili ultrafiltracije znatno skraćuje.

U publikovanoj literaturi se može naći određen broj primera upotrebe statičkih promotera turbulencije različitih oblika tokom "cross-flow" mikrofiltracije i ultrafiltracije. Umetci smanjuju zadržavanje u kanalima napojnog rastvora, povećavaju brzinu strujanja i prouzrokuju sekundarne tokove i nestabilnosti laminarnog toka. Prema dosadašnjim iskustvima, fluksevi pri ultrafiltraciji koloidnih rastvora su bili za 50 – 300% veći, nego bez upotrebe umetaka unutar kanala. Dobar promoter treba da: ne izaziva oštećenje membrane, ne stvara zone mirovanja fluida, da se može lako napraviti i instalirati i da je njegova cena opravdana u poređenju sa povećanom potrošnjom energije usled povećanog pada pritiska duž membrane. U ovoj doktorskoj disertaciji će takođe biti urađeni eksperimenti koji će dodatno istražiti uticaj promotera turbulencije na kinetiku procesa ultrafiltracije model rastvora voćnih sokova.

Rad bi takođe trebao da predstavlja doprinos i većoj upotrebi mikrofiltracije i ultrafiltracije kao sastavnog dela procesa proizvodnje voćnih sokova, čija je šira primena ograničena prljanjem membrana i slabim razumevanjem nastajanja i kontrole tog fenomena, kao i doprinos njihovoj većoj komercijalnoj primeni.

6. PLAN ISTRAŽIVANJA I STRUKTURA RADA

Predmet rada ove doktorske disertacije je proučavanje kinetike mikrofiltracije i ultrafiltracije model rastvora voćnih sokova. Predloženi plan istraživanja izvršio bi se u nekoliko etapa, kako je već izloženo. Najpre će se izvršiti ispitivanje uticaja radnih parametara na kinetiku procesa ultrafiltracije kroz tri ultrafiltracione membrane, zatim sledi ispitivanje uticaja radnih uslova na kinetiku procesa mikrofiltracije. Sledeća serija eksperimenata odnosiće se na ispitivanje alternativnih tehnika poboljšanja fluksa permeata kroz pomenute membrane. Te tehnike su primena promotera turbulencije kod „cross-flow“ ultrafiltracije i primena periodičnog povratnog ispiranja kod „cross - flow“ mikrofiltracije.

Predviđa se da će u doktorskoj disertaciji biti obrađena sledeća poglavlja: *Uvod*, *Teorijski deo*, *Eksperimentalni deo*, *Rezultati i diskusija*, *Zaključak* i *Literatura*.

U poglavlju *Uvod* biće prikazan kratak osvrt na područje ispitivanja, važnost jednog ovakog istraživanja za širu primenu i veću upotrebu mikrofiltracije i ultrafiltracije kao sastavnog dela procesa proizvodnje voćnih sokova.

Poglavljje *Teorijski deo* razmotriće literaturne podatke relevantnih istraživanja koji se odnose na:

- membransku filtraciju u proizvodnji voćnih sokova,
- operativne uslove pri vršenju mikrofiltracije i ultrafiltracije,
- koncentraciona polarizacija, prljanje membrana i stvaranje sekundarnog sloja na membranama za mikro- i ultrafiltraciju,
- alternativne tehnike za poboljšanje fluksa permeata pri unakrsnoj mikro- i ultrafiltraciji (promena operativnih uslova, primena promotera turbulencije i stvaranje lokalnog vrtloženja, periodično povratno ispiranje (backwashing)),
- dosadašnja iskustva o uticaju unakrsne (cross - flow) mikro- i ultrafiltracije na prljanje membrane i bistrenje sokova.

U poglavlju *Eksperimentalni deo* očekuje se da budu predstavljene metode korišćene u eksperimentalnom radu, prema redosledu eksperimentalnog istraživačkog rada:

- Materijal i metode rada;
- Opis eksperimentalne aparature za mikrofiltraciju i ultrafiltraciju;
- Kinetika „cross-flow“ mikro- i ultrafiltracije;
- Kvalitativno dokazivanje pektinskih materija;
- Primenjene matematičke i statističke metode;

U poglavlju *Rezultati i diskusija* biće prikazani i diskutovani rezultati. Ovo poglavljje sadržaće prikaz rezultata dobijenih pri određivanju radnih dijagrama uređaja zavisno od membrane za mikro- i ultrafiltraciju. Biće predstavljeni i diskutovani rezultati koji se odnose na ispitivanje uticaja protoka napojnog rastvora, temperature i razlike pritiska na kinetiku mikrofiltracije i na ultrafiltracije; uticaj promotera turbulencije na kinetiku ultrafiltracije; uticaj periodičnog povratnog ispiranja na kinetiku mikrofiltracije.

U *Zaključku* će biti sumirani dobijeni rezultati i relevantni zaključci, izvedeni na osnovu izvršenih ispitivanja.

U odeljku *Literatura* biće navedene reference citirane u disertaciji, uključujući naučne publikacije proistekle iz eksperimentalnog rada u okviru predložene teme.

7. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu iznetih podataka Komisija smatra da je tema predložene doktorske disertacije Tijane Urošević **“Kinetika mikrofiltracije i ultrafiltracije model rastvora voćnih sokova”** naučno zasnovana i predlaže Nastavno-naučnom veću da je prihvati. Za mentora se predlaže dr Dragan Povrenović, docent Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova.

U Beogradu, 06.12.2012.

ČLANOVI KOMISIJE

Dr Dragan Povrenović, docent
Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Srđan Pejanović, van. prof.
Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Predrag Vukosavljević, docent
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu