

**ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ**

35/308

(Број захтева)

24.08.2018.

(датум)

Образац 2

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ
НАУКА**

(назив већа научне области коме се захтев упућује)

Београд, Студентски трг бр. 1

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тачка 4. Статута Универзитета у Београду (“Гласник Универзитета у Београду” број 162/11, пречишћен текст, 167/12, 172/13 и 178/14), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

АЛЕКСАНДРА (Предраг) СТАЈЧИЋА, дипломираног инжењера технологије

КАНДИДАТ: **АЛЕКСАНДАР (Предраг) СТАЈЧИЋ**, пријавио је докторску дисертацију под називом:

„Синтеза, карактеризација и примена полимерних композитних магнетних мембрана на бази етилцелулозе“

Из научне области: **ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО**

Универзитет је дана **14.03.2016.** године, својим актом **61206-1219/2-16**, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„Синтеза, карактеризација и примена полимерних композитних магнетних мембрана на бази етилцелулозе“

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **АЛЕКСАНДРА (Предраг) СТАЈЧИЋА**, образована је на седници Наставно-научног већа одржаној **06.07.2018.** године Одлуком Факултета под бр. **35/246**, усаваству:

Име и презиме	Звање	Научна област
1. Др Радмила Јанчић Хајнеман	Редовни професор	Инжењерство материјала
2. Др Славиша Путић	Редовни професор	Инжењерство материјала
3. Др Весна Радојевић	Редовни професор	Инжењерство материјала
4. Др Јасна Стајић Трошић	Научни саветник	Инжењерство материјала
5. Др Драгутин Недељковић	Научни сарадник	Инжењерство материјала

Студен је уписан на докторске студије шк. **2010/2011.** године.

На захтев студента и уз сагласност ментора, декан је донео Решење број 20/126 од 06.10.2016. године којим му је одобрено продужење рока за завршетак студија за два семестра школске 2016/2017. године. На захтев студента и предлог ментора, Наставно-научно веће је донело Одлуку број 35/344 од 21.09.2017. године којим му је одобрено продужење рока за завршетак студија и за још годину дана школске 2017/2018. године.

Наставно-научно веће Факултета прихватило је реферат Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **23.08.2018. године.**

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 104. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 76. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 39. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 23.08.2018. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Усваја се Извештај комисије за оцену докторске дисертације, у саставу: др Радмила Јанчић-Хајнеман, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Славиша Путић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Весна Радојевић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Јасна Стајић-Трошић, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, др Драгутин Недељковић, научни сарадник Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: **„Синтеза, карактеризација и примена полимерних композитних магнетних мембрана на бази етилцелулозе“** коју је поднео **Александар Стајчић**, дипломирани инжењер технологије и упућује се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Александра Стајчића, под називом **„Синтеза, карактеризација и примена полимерних композитних магнетних мембрана на бази етилцелулозе“** Одлуком број: 61206-1219/2-16 од 14.03.2016. године.

Верификација научних доприноса:

Kategorija M22:

1. **Aleksandar Stajčić**, Dragutin Nedeljković, Vesna Panić, Ivana Radović, Aleksandar Grujić, Jasna Stajić-Trošić, Radmila Jančić-Heinemann, Adsorption kinetics of polyethersulfone membrane-supported hydrogels, - *Desalination and Water Treatment*, 2018, ISSN 1944-3994 (IF 1.631, Engineering, Chemical 66/135) prihvaćen rad
2. **Aleksandar Stajčić**, Ivana Radović, Vladan Čosović, Aleksandar Grujić, Jasna Stajić-Trošić, Radmila Jančić-Heinemann, The influence of barium ferrite nanoparticles on morphological and mechanical properties of ethyl cellulose based nanocomposites, - *Science of SINTERING*, 2018, ISSN: 0350-820X, (IF 0.736, Materials Science, Ceramics 15/26) prihvaćen rad

Kategorija M23:

1. **Aleksandar P. Stajčić**, Jasna T. Stajić-Trošić, Aleksandar S. Grujić, Mirko Z. Stijepović, Nada L. Lazić, Tomáš Žák, Radoslav R. Aleksić, Hybrid Nd-Fe-B/barium ferrite magnetic materials with epoxy matrix, *Hemijska industrija*, 66 (3) 301–308 (2012), ISSN: 0367-598X (IF 0.463 Engineering, Chemical 104/133)

Докторска дисертација и реферат о оцени докторске дисертације достављају се на увид јавности, а по истеку рока од 30 дана, на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду. Одлуку доставити: ментору, Већу научних области техничких наука Универзитета, Служби за наставно-студентске послове и Архиви факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Aleksandra Stajčića

Odlukom br. 35/246 od 06.07.2018. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Aleksandra Stajčića, dipl. inž. tehnologije pod naslovom

Sinteza, karakterizacija i primena polimernih kompozitnih magnetnih membrana na bazi etilceluloze

Posle pregleda dostavljene Disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa Kandidatom, Komisija je sačinila sledeći

R E F E R A T

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

- **Školske 2010/11** godine kandidat Aleksandar Stajčić, dipl. inž. tehnologije upisao je Doktorske akademske studije na Univerzitetu u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, profil Inženjerstvo materijala.
- **08. 11. 2016.** Kandidat Aleksandar Stajčić, dipl. inž. tehnologije je predložio temu doktorske disertacije pod nazivom: "Sinteza, karakterizacija i primena polimernih kompozitnih magnetnih membrana na bazi etilceluloze"
- **03.12.2015.** na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu doneta je odluka (br. 35/542 od 03.12.2015) o imenovanju članova Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Aleksandra Stajčića, dipl. inž. pod naslovom "Sinteza, karakterizacija i primena polimernih kompozitnih magnetnih membrana na bazi etilceluloze"
- **03.03.2016.** na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu doneta je odluka o prihvatanju teme doktorske disertacije pod naslovom "Sinteza, karakterizacija i primena polimernih kompozitnih magnetnih membrana na bazi etilceluloze", a za mentora je imenovana dr Radmila Jančić-Hajneman, red. prof., Odluka br. 35/76 od 03.03.2016.
- **14.03.2016.** Veće naučnih oblasti tehničkih nauka donosi odluku po kojoj daje saglasnost na predlog teme "Sinteza, karakterizacija i primena polimernih kompozitnih magnetnih membrana na bazi etilceluloze" kandidata Aleksandra Stajčića, dipl. inž., Odluka br. 61206-1219/2-16.

- 06.10.2016. Dekan je na zahtev studenta i uz saglasnost mentora, doneo Rešenje br. 20/126 od 06.10.2016. o produženju roka za završetak studija za dva semestra šk. 2016/2017. god.
- 21.09.2017. Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, odlukom br. 35/344, odobreno je produženje statusa studenta doktorskih studija u trajanju od dva semestra.
- **06.07.2018.** Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je odluka o imenovanju članova Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije Aleksandra Stajčića, dipl. inž. pod naslovom "Sinteza, karakterizacija i primena polimernih kompozitnih magnetnih membrana na bazi etilceluloze" Odluka br. 35/246 od 06.07.2018.

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo i užoj naučnoj oblasti Inženjerstvo materijala za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Mentor je dr Radmila Jančić-Hajneman, redovni profesor TMF, uža nučna oblast Inženjerstvo materijala, koja je na osnovu dosadašnjih objavljenih radova i iskustava kompetentna da rukovodi izradom ove doktorske disertacije.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Aleksandar Stajčić rođen je 12.09.1980.godine u Beogradu gde je završio osnovnu školu kao i Petu beogradsku gimnaziju. Na osnovnim studijama Tehnološko-metalurškog fakulteta, u Beogradu, smer Hemijsko inženjerstvo, diplomirao je 2009. Diplomski rad pod nazivom „Proračun napona nadzemnog horizontalnog rezervoara za propan – butan gas“ odbranio je sa ocenom 10.

Doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu, studijski program Inženjerstvo materijala upisao je školske 2010/11. U okviru doktorskih studija, položio je sve ispite, sa prosečnom ocenom 9,38. Završni ispit pod nazivom „Elastična svojstva polimernih kompozitnih membrana“ odbranio je u oktobru 2014. godine sa ocenom 10, pred komisijom u sastavu: dr Slaviša Putić, red. prof., dr Mirjana Kijevčanin, red.prof. i dr Radmila Jančić-Heinemann, red. prof.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija kandidata Aleksandra Stajčića, dipl. inž. tehnologije pisana je na srpskom jeziku i sadrži 166 strane A4 formata, 96 slika, 21 tabelu i 287 literaturnih navoda. Doktorska disertacija sadrži sledeća poglavlja: *Rezime* (na srpskom i engleskom jeziku), *Uvod*, *Teorijski deo* (Definicija i klasifikacija membrana i membranskih procesa; Materijali za dobijanje membrana; Mehanizmi uklanjanja jona teških metala iz vode i separacije gasova; Procesiranje i karakterizacija membrana na bazi polimera), *Eksperimentalni deo* (Procesiranje, karakterizacija, modeli i efikasnost adsorpcije i separacije sintetisanih membrana), *Zaključak*, *Literatura*, *Biografija* i *Prilozi*. Prilozi sadrže izjavu o autorstvu, izjavu o istovetnosti štampane i elektronske verzije rada i izjavu o korišćenju.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U uvodnom delu je prikazan predmet, sadržaj i cilj doktorske disertacije. Predmet ove doktorske disertacije obuhvata istraživanja u oblasti procesiranja i karakterizacije membrana za separaciju gasova i uklanjanje jona teških metala iz vode. Izvedene su sinteza i karakterizacija nanokompozitnih magnetnih membrana na bazi etilceluloze, kao i membranski podržanih hidrogelova.

Nanokompoziti na bazi etilceluloze predstavljaju materijale visokih performansi kod kojih se mogu dizajnirati specifična svojstva zavisno od primene. S obzirom na to da etilceluloza pokazuje umerenu propustljivost i selektivnost smeša gasova, moguća je njihova primena za separaciju smeše N_2/O_2 , što bi omogućilo obogaćivanje smeše kiseonikom. Separacija kiseonika iz smeše gasova, kao i obogaćivanje vazduha kiseonikom predstavljaju veoma ozbiljan zadatak u savremenoj industriji. Pored konvencionalnih kriogenih metoda koje se baziraju na frakcionoj destilaciji tečnog vazduha, separaciju je moguće vršiti i membranskim postupcima. Zbog činjenice da se separacija vrši na molekulskom nivou, membrane koje se koriste za ovu svrhu svoja separaciona svojstva zasnivaju na različitim brzinama difuzije molekula gasa kroz membranu. S obzirom na njihovu sličnost, za kvalitetno i efikasno razdvajanje azota i kiseonika, neophodno je korišćenje razlike njihovih magnetnih svojstava. Umetanjem magnetnih nanočestica u membranu na bazi etilceluloze, bilo bi omogućena difuzija kiseonika i znatno slabija difuzija azota, čime bi bilo postignuto efikasno razdvajanje njihovih smeše.

Separacija hemijskih vrsta predstavlja neizostavni deo velikog broja procesa kojima se proizvode fabrikati i polufabrikati. Membranski separacioni sistemi primenjuju se u širokom spektru. Mikrofiltracija (MF) i ultrafiltracija (UF) primenjuju se u procesima prečišćavanja voda. Membrane na bazi hidrogelova poseduju visok potencijal kao materijali za ultrafiltraciju, usled dobrih adsorpcionih svojstava. Međutim, skromna mehanička svojstva hidrogelova znatno ograničavaju njihovu primenu. Kao rešenje za prevazilaženje navedenog problema javlja se mogućnost uvođenja mehanički superiornijeg polimera koji ne bi narušio adsorpciona svojstva hidrogela.

U Teorijskom delu je u prvom poglavlju dat pregled dosadašnjih saznanja o klasifikaciji membrana. Za izučavanje membrana najvažnije su podele prema strukturi i prema vrsti materijala od kojih su napravljene. Membrane mogu biti neporozne ili porozne, napravljene od metalnih, keramičkih, polimernih materijala, kao i od kombinacije navedenih grupa, čime se dobijaju kompozitne membrane. U zavisnosti od korišćenih materijala za pripremu membrana, definiše se i njihova primena. U okviru ovog dela prikazan je pregled materijala za dobijanje membrana, kao i njihovo poređenje.

U drugom poglavlju definisani su i opisani su membranski procesi u kojima se koriste različite membrane predstavljene u prvom poglavlju. Membrane i membranski procesi razlikuju se po strukturi, materijalima koji se koriste, kao i po funkciji koju imaju. Ono što im je zajedničko je efikasno i jeftino razdvajanje date smeše molekula na sobnoj temperaturi, bez nastanka otrovnih i štetnih produkata. Membranski separacioni procesi se mogu definisati kao niz operacija pri kojima dolazi do razdvajanja hemijskih vrsta iz jednog fluida u drugi posredstvom različitih membrana. Membranski separacioni sistemi primenjuju se u širokom spektru industrija. Mikrofiltracija (MF) i ultrafiltracija (UF) primenjuju se u procesima prečišćavanja voda. Proces reversne osmoze (RO) omogućava proizvodnju demineralizovane vode. U petrohemijskoj industriji, reakcija i separacija igraju važnu ulogu u dostizanju neophodnog kvaliteta proizvoda. Koristeći membranske reaktore, ova dva parametra se mogu istovremeno kontrolisati. U slučaju primene nanotehnologije u proizvodnji membrana za separaciju gasova, nanokompozitne membrane mogu istovremeno poboljšati propustljivost i selektivnost. Kroz različite zakone transporta mase i termodinamike definisani su mehanizmi separacija u membranama.

Treće poglavlje obuhvata metode procesiranja nanokompozitnih membrana za separaciju gasova, kao i membrana na bazi polimera za adsorpciju jona teških metala iz vode. Pri izdvajanju jona teških metala iz vode, veliku efikasnost pokazuju membrane na bazi hidrogelova, koje poseduju slaba mehanička svojstva. Navedeni nedostatak moguće je prevazići uvođenjem čvršćeg polimera tokom umrežavanja hidrogelova. Kombinovanjem različitih metoda sinteze i procesiranja, moguće je dobiti hidrogel podržan čvršćom polimernom membranom, tako da se poboljšaju mehanička svojstva, dok se adsorpciona ne narušavaju. Odvajanje gasova, kao što je razdvajanje O_2/N_2 , je proces pod pritiskom, gde je pokretačka sila razlika u pritisku između prednje i zadnje strane. Membrana koja se koristi u procesu separacije gasova generalno predstavlja neporozni sloj,

tako da nema ozbiljnog curenja gasa preko membrane. Neophodne razlike u transportu mase kiseonika i azota se mogu stvoriti uvođenjem magnetnog polja koje aktivno utiče na transport kiseonika, dok se očekuje da je neutralno za azot. Kiseonik je paramagnetski element, dok je azot diamagnetski, što stvara potencijal za njihovo odvajanje. Neophodne razlike u transportu mase kiseonika i azota se mogu stvoriti uvođenjem magnetnog polja koje aktivno utiče na transport kiseonika, dok se očekuje da je neutralno za azot. Stoga se fokus istraživanja usmerava ka nanokompozitnim membrana na bazi polimera i ojačanja u vidu magnetnih nanočestica.

U četvrtom poglavlju prikazana su ograničenja pri korišćenju membrana na bazi polimera, kao i istraživački napor u prevazilaženju nedostataka membrana. Hidrogelovi imaju slaba mehanička svojstva, čime je njihova upotreba ograničena. Poboljšanjem ovih svojstava hidrogelovi bi postali prihvatljiviji za mnoge buduće primene, pa je težnja da se prevaziđu ovi nedostaci rezultirala velikim brojem različitih pristupa. U ovom poglavlju predstavljeni su pokušaji poboljšanja mehaničkih svojstava hidrogelova. Slaba propustljivost i selektivnost polimernih membrana pri separaciji gasova predstavlja izazov sa kojim se suočavaju istraživači u cilju izbacivanja konvencionalnih, zagađujućih i skupih separacionih metoda. Propustljivost i selektivnost moguće je poboljšati procesiranjem nanokompozitnih membrana, gde ojačanje može služiti i za razdvajanje smeše gasova. Koncept magnetnih membrana je relativno nov i nedovoljno istražen. Umetanjem keramičkih magneta u polimernu matricu, moguće je povećati selektivnost pri separaciji kiseonika i azota.

Peto poglavlje predstavlja različite metode karakterizacije membrana na bazi polimera. Opisane su sve metode relevantne za istraživanje morfologije, separacije i mehaničkih svojstava membrana na bazi polimera.

Izveden je literaturni pregled savremenih dostignuća u oblasti membranskih tehnologija, u cilju upoznavanja sa aktuelnim nedostacima i izazovima u ovom oblasti.

Eksperimentalni deo je organizovan u četiri celine. Prva celina obuhvata pregled primenjenih materijala za sintezu polimernih membrana za uklanjanje jona teških metala i nanokompozitnih magnetnih membrana za separaciju gasova. Za polimernu matricu nanokompozita izabrana je komercijalna etilceluloza, dok je za membrane za uklanjanje jona teških metala korišćen poli(etar sulfon) u kombinaciji sa hidrogelom na bazi 2-akrilamido-2-metilpropan sulfonske kiseline (AMPS). Druga i treća celina obuhvataju procesiranje i sintezu membrana. Za pripremu PES membrana ispunjenih hidrogelom, tradicionalni postupak inverzije tečne faze modifikovan je inkorporiranjem monomera AMPS i umreživača, N,N'-metilenbisakrilamid (MBAA) u rastvor za izlivanje polimera. Tanki filmovi od čiste etilceluloze (EC) i EC sa magnetnim $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ i $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ nanočesticama pripremljeni su metodom izivanja polimernog rastvora. U šestoj celini su opisane metode korišćene za karakterizaciju polaznih konstituenata i procesiranih polimernih kompozitnih materijala.

U okviru poglavlja Rezultati i diskusija izdvojene su dve celine: a) Sinteza i karakterizacija membrana na bazi hidrogelova podržanih polimerom, kao i uticaj različitih udela komponenata na krajnja svojstva dobijenih membrana; b) Sinteza i karakterizacija nanokompozitnih magnetnih membrana ugradnjom nanoprahova barijum i stroncijum ferita. Druga celina je podeljena na dva poglavlja: 1) Sinteza i karakterizacija nanokompozitnih membrana etilceluloza- $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$; 2) Sinteza i karakterizacija nanokompozitnih membrana etilceluloza- $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$.

U prvoj celini uočeno je da povećanje udela poli(etar sulfona) dovodi do poboljšanja mehaničkih svojstava membrana. Poroznost i asimetričnost membrana ispitivane su korišćenjem FESEM analize, dok je stvaranje hemijskih veza praćeno FTIR analizom. Adsorpciona svojstva ispitivana su promenom koncentracije jona u rastvoru i određivanjem odgovarajućih teorijskih modela kinetike sorpcije. Utvrđeno je da se adsorpcija sa donje i gornje strane membrane obavlja po različitim zakonima.

U okviru druge celine ispitana su magnetna svojstva nanoprahova $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ i $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$, sa ciljem predviđanja njihovog ponašanja u membranama. FESEM i AFM analizama ispitana je

morfologija nanokompozitnih membrana i utvrđeno je da čestice grade aglomerate koji treba da omoguće efikasno provođenje kiseonika. FTIR analizom potvrđena je stabilnost magnetnih nanoprahova tokom procesiranja magnetnih nanokompozitnih membrana. Takođe, heksa-feriti barijuma i stroncijuma identifikovani su u polimernoj matrici korišćenjem XRD metode. Mehanička svojstva pokazuju poboljšanje dodavanjem nanočestica u EC. Navedena tvrdnja potkrepljena je rezultatima zatezanja membrana i merenjem mikro Vickers tvrdoće. Pokazano je da dejstvom magnetnog polja tokom procesiranja dolazi do magnetisanja i orijentacije čestica, što inicira separaciju smeše gasova N_2/O_2 . Merenjem razlike pritisaka na ulazu i izlazu iz membrane, utvrđeno je da se ulazna smeša obogaćuje kiseonikom.

U Zaključku su ukratko sumirani svi dobijeni rezultati u ovoj doktorskoj disertaciji i iznet je njihov značaj za pravce razvoja i primene membrana za separaciju gasova i uklanjanje jona teških metala.

Poglavlje Literatura obuhvata 287 navoda iz oblasti istraživanja i pokriva sve delove disertacije.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Nanokompoziti na bazi etilceluloze predstavljaju materijale visokih performansi kod kojih je moguće dizajnirati svojstva prema zahtevima primene. Etilceluloza pokazuje propustljivost i selektivnost pri separaciji gasova, te se može koristiti kao materijal u membranskoj separacionoj tehnologiji. Smeša gasova kao što je N_2/O_2 nije jednostavna za separaciju jer su gasovi vrlo sličnih fizičkih svojstava, te je potrebno naći svojstvo na osnovu kog se može vršiti separacija, što nije moguće korišćenjem čiste etilceluloze. Stoga je separacija kiseonika iz smeše N_2/O_2 , kao i obogaćivanje vazduha kiseonikom ozbiljan izazov u savremenoj industriji. Nedavno je predložen koncept takozvanih *magnetnih membrana*, gde se za separaciju koristi različita magnetna priroda kiseonika i azota. Drugi problem u membranskoj tehnologiji predstavlja efikasno uklanjanje jona teških metala iz vode. Materijali koji se koriste za izradu ultrafiltracionih membrana obično su hidrogelovi koji poseduju slaba mehanička svojstva. Ojačavanjem hidrogelova inkorporiranjem jačeg polimera, uz zadržavanje njihovih adsorpcionih svojstava, proširila bi se oblast upotrebe membrana za uklanjanje jona teških metala iz vode. Sa gledišta nauke o materijalima za oba ova tipa membrana potrebno je uskladiti mehanička svojstva kako bi membrane mogle da se efikasno koriste u uređajima. U okviru ove teze ovaj problem je sagledan za oba tipa membrana i iskustva koja su dobijena na hidrogelovima kao membranama koje rade u uslovima uklanjanja teških metala su omogućila rešavanje problema kod membrana koje su namenjene obogaćivanju kiseonikom.

U toku izrade ove disertacije istražene su mogućnosti procesiranja nanokompozitnih magnetnih membrana poboljšanih mehaničkih i funkcionalnih svojstava. Ovo je ostvareno inkorporiranjem feritnih nanoprahova u polimernu matricu i izlaganjem magnetnom polju tokom procesiranja. Na ovaj način je omogućena efikasna separacija smeše N_2/O_2 . Takođe, izvršeno je ojačavanje hidrogelova uvođenjem jačeg polimera tokom sinteze, korišćenjem modifikovanog postupka pripreme. Mehanička svojstva su značajno poboljšana, dok je adsorpcioni kapacitet zadovoljavajući. Takođe, na osnovu eksperimentalnih podataka, ispitani su teorijski modeli po kojima se vrši adsorpcija jona teških metala.

Nakon literaturnog pregleda, utvrđeno je da ova dva pristupa nisu ispitivana. U oba slučaja, membrane su značajno mehanički ojačane u odnosu na postojeće membrane slične namene. Time se povećava izdržljivost membrana pri različitim operativnim uslovima i proširuje polje njihove primene.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U doktorskoj disertaciji je citirano 287 literaturnih navoda koja se odnose na istaživanja vezana za problematiku membrana na bazi polimernih materijala. Literaturni pregled je obuhvatio veliki broj publikovanih naučnih radova iz oblasti: savremenih membranskih tehnologija, različitih polimernih i kompozitnih membrana, metoda procesiranja membrana za separaciju gasova i uklanjanje jona teških metala iz vode, i savremenih metoda za karakterizaciju separacionih, morfoloških i mehaničkih svojstava membrana, uticaja sinteze, kao i nanomodifikacije na mehanička svojstva polimernih nanokompozita. U okviru disertacije dat je potpun kritički literaturni pregled po pojedinim poglavljima fenomena koji su istraživani kao i poređenja dobijenih rezultata sa sličnim publikovanim rezultatima.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

U istraživanjima u okviru ove doktorske disertacije korišćene su savremene tehnike karakterizacije materijala u svim fazama eksperimentalnih istraživanja. U početnim istraživanjima izvedena je karakterizacija polaznih konstituenata. Stabilnost početnih komponenata, kao i ostvarene veze tokom procesiranja ispitani su primenom FTIR spektroskopije i rendgensko-difraktometrijskom analizom (XRD). Morfologija sintetisanih membrana ispitana je skenirajućom elektronskom mikroskopijom (FESEM) i mikroskopijom atomskih sila (AFM). Podaci o morfologiji materijala su kvantifikovani tehnikom analize slike. SQUID analiza korišćena je za merenje promena magnetnog fluksa nanočestica $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ i $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$. Mehanička svojstva ispitivana su Mikro Vickers metodom za određivanje mikrotvrdoće, kao i ispitivanjem zatezanjem.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Problemi koji se tretiraju u disertaciji predstavljaju izazov u oblasti primene savremenih polimernih i kompozitnih materijala sa polimernom matricom u oblastima koje su ključne za obezbeđivanje kvaliteta života u naše vreme. Dostupnost vode za piće predstavlja jedan od osnovnih problema sa kojima se civilizacija suočava i ispitivanja koja vode ka materijalima koji na adekvatan način mogu da uklone teške metale iz vode predstavljaju važan segment inženjerstva materijala. Hidrogelovi koji su ispitani u okviru ove teze pokazali su poboljšana mehanička svojstva i time su postali kandidati za upotrebu u ovom osjetljivom domenu tehnike.

Sa druge strane obogaćivanje kiseonikom smeše azota i kiseonika predstavlja izazov u mnogim aspektima počev od upotrebe u medicini do nekih tehničkih primena gde je povećan sadržaj kiseonika tražen parametar. Membranski procesi su energetski interesantni, omogućavaju relativno jednostavno rukovanje i upotrebu ovih uređaja u savremenim instalacijama čak i u teškim radnim uslovima. Membrane koje sadrže magnetne čestice na bazi prirodnog polimera predstavljaju materijal koji zbog svoje dostupnosti može da nađe primenu u širokom spektru uređaja. Membrane pri ovom procesu trpe velika mehanička opterećenja i potrebno je osim svojstava koja omogućavaju separaciju uticati i na mehanička svojstva kako bi membrane bile primenljive u uređajima što je u okviru ove teze pokazano kao moguće i tehnički izvodljivo.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat je u toku izrade disertacije pokazao sposobnost analitičkog pristupa problemu posebno prilikom definisanja ciljeva istraživanja u pogledu optimizovanja mehaničkih i separacionih svojstava membrana. Rešavanje problema u vezi sa procesiranjem i izradom složenih polimernih i kompozitnih struktura su povezivali laboratorijsko iskustvo koje je kandidat stekao i sposobnost da se odabere pravi način za sintezu i karakterizaciju kompozitnih membrana. Kandidat je osposobljen za samostalnu analizu rezultata i za njihovo prikazivanje na srpskom i engleskom

jeziku što se vidi iz spiska objavljenih radova i saopštenja. Sagledavanjem ukupne aktivnosti kandidata koje su obuhvatale izradu ove doktorske disertacije ukazuje na to da je Aleksandar Stajčić stekao iskustva koja su ga osposobila za analizu dostupnih podataka i njihovo adekvatno korišćenje za rešavanje tehničkih problema u oblasti inženjerstva materijala.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Rezultati dobijeni u ovoj doktorskoj disertaciji daju značajan doprinos razumevanju uticaja načina prcesiranja materijala kako bi se optimizovala njihova mehanička svojstva i omogućilo njihovo korišćenje kao materijala za izradu membrana kod kojih se postavljaju složeni zahtevi sa gedišta njihove primene.

Naučni doprinos rezultata istraživanja ostvarenih u okviru ove doktorske disertacije je je sledeći:

- Sintetizovani su kompozitni materijali sa matricom od etilceluloze sa ciljem da se koriste u obogaćivanju smeše azota i kiseonika kiseonikom.
- Utvrđen je uticaj različitih magnetnih čestica na mehanička svojstva dobijenih membrana.
- Pokazana je efikasnost korišćenja sintetisanih kompozitnih materijala za obogaćivanje kiseonikom smeše azota i kiseonika na osnovu različitosti njihove interakcije sa magnetnim poljem u materijalu membrane.
- Pokazano je da je dobijen materijal adekvatnih mehaničkih svojstava koji omogućava korišćenje ovih membrana u teškim radnim uslovima u kojima je materijal izložen velikim unturašnjim naprezanjima.
- Sintetisani su hidrogelovi poboljšanih mehaničkih svojstava koji omogućavaju rukovanje membranama za uklanjanje teških metala iz rastvora.
- Pokazano je da je moguće efikasno korišćenje membrana sa strukturom hidrogela za dobijanje vode koja je očišćena od jona teških metala.
- Korelisani su uslovi sinteze materijala sa njihovim mehaničkim svojstvima i svojstvima sorbcije u eksploatacionim uslovima.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Predmet ove doktroske disertacije predstavljalo je dobijanje materijala koji omogućava selektivnost u protoku smeše azota i kiseonika kroz membranu sa ciljem povećanja sadržaja kiseonika u smeši gasova. Ovaj cilj postignut je korišćenjem membrane na bazi etilceluloze kao matrice i prahova koji imaju magnetna svojstva koji u suštini čine ovaj proces mogućim. Pokazano je da se ostvaruju dobri rezultati u pogledu obogaćivanja kiseonikom i da su dobijene membrane koje su omogućile da se ovaj proces ostvari bez razaranja membrane. Korelisani su parametri procesiranja sa svojstvima separacije gasova i mehaničkim svojstvima materijala. Drugi deo teze bio je usmeren na ispitivanje dobijanja hidrogelova koji omogućavaju uklanjanje jona teških metala iz vodenih rastvora. Centralni problem sa hidrogelovima koji je analogan onom kod dobijanja membrana za obogaćivanje kiseonikom jeste usmeren na dobijanje materijala pogodnih mehaničkih svojstava koji omogućava rukovanjem materijalom i njegovu upotrebu u eksploatacionim uslovima. Oba dela istraživanja usmerena su na korelisanje svojstava materijala sa uslovima njihove pripreme sa ciljem postizanja odgovarajuće mikrostrukture koja zadate zahteve omogućava.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Iz disertacije je do sada objavljeno osam radova: dva rada u istaknutom međunarodnom časopisu M22, jedan u međunarodnom časopisu M23 i pet saopštenja kategorije M34.

Kategorija M22 - Rad u istaknutom međunarodnom časopisu

1. **Aleksandar Stajčić**, Dragutin Nedeljković, Vesna Panić, Ivana Radović, Aleksandar Grujić, Jasna Stajić-Trošić, Radmila Jančić-Heinemann, Adsorption kinetics of polyethersulfone membrane-supported hydrogels, - *Desalination and Water Treatment*, 2018, ISSN 1944-3994 (IF 1.631, Engineering, Chemical 66/135) prihvaćen rad
2. **Aleksandar Stajčić**, Ivana Radović, Vladan Ćosović, Aleksandar Grujić, Jasna Stajić-Trošić, Radmila Jančić-Heinemann, The influence of barium ferrite nanoparticles on morphological and mechanical properties of ethyl cellulose based nanocomposites, - *Science of SINTERING*, 2018, ISSN: 0350-820X, (IF 0.736, Materials Science, Ceramics 15/26) prihvaćen rad

Kategorija M23 - Rad u međunarodnom časopisu

1. **Aleksandar P. Stajčić**, Jasna T. Stajić-Trošić, Aleksandar S. Grujić, Mirko Z. Stijepović, Nada L. Lazić, Tomáš Žák, Radoslav R. Aleksić, Hybrid Nd-Fe-B/barium ferrite magnetic materials with epoxy matrix, *Hemijaska industrija*, 66 (3) 301–308 (2012), ISSN: 0367-598X (IF 0.463 Engineering, Chemical 104/133)

Kategorija M34 - Saopštenja na međunarodnim konferencijama štampana u izvodu

1. **A. Stajčić**, A. Grujić, J. Stajić-Trošić, M. Stijepović, D. Nedeljković, S. Putić, P. S. Uskoković, The Toughness and Fatigue Analzsis of Nd-Fe-B/Epoxy Magnetic Composites, *Programme and The Book of Abstracts of The 13th Annual Conference YUCOMAT 2011*, Herceg Novi, Montenegro, 2011, p. 114.
2. **A. Stajčić**, D. Nedeljković, A. Grujić, J. Stajić-Trošić, Composite Polymer Membranes for Carbon Dioxide Separation, *16. European Conference on Analytical Chemistry – Challenges in Modern Analytical Chemistry*, 11.-15. September 2011., Belgrade, Serbia, Book of Abstracts, p. 81
3. **A.P. Stajčić**, D.M. Nedeljković, A.S. Grujić, L.S. Putić, J.T. Stajic-Trošić, The Influence of the Polybutadiene isomer to the structure of the triblock-copolymer SBM, *Programme and The Book of Abstracts of The 12th Young Researchers' Conference Materials Sciences and Engineering*, Belgrade, Serbia, 2013, p 25.
4. **Aleksandar Stajčić**, Filip Radovanović, Aleksandra Nastasović, Jasna Stajić-Trošić, Jelena Marković, Antonije Onjia, Asymmetric hydrogel membranes for heavy metal adsorption, *Programme and The Book of Abstracts of The 12th Young Researchers' Conference Materials Sciences and Engineering*, Belgrade, Serbia, 2013, p 40.
5. **Aleksandar Stajčić**, J. Stajic-Trošić, S. Putić, P.S. Uskoković, F. Radovanović, R. Aleksić, Novel hydrogel pore-filled composite membranes for heavy metal adsorption, *Programme and The Book of Abstracts of The 16th Annual Conference YUCOMAT 2014*, Herceg Novi, Montenegro, 2014, pp 98.

Rad koji nije na SCI listi

1. **Aleksandar Stajčić**, Aleksandra Nastasović, Jasna Stajić-Trošić, Jelena Marković, Antonije Onjia, Filip Radovanović, Novel membrane-supported hydrogel for removal of heavy metals, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3 (1) 453-461 (2015). ISSN: 2213-2929

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu svega iznetog, Komisija smatra da doktorska disertacija Aleksandra Stajčića, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „Sinteza, karakterizacija i primena polimernih kompozitnih magnetnih membrana na bazi etilceluloze” predstavlja originalan i značajan naučni doprinos u oblasti Tehnološko inženjerstvo, odnosno užoj naučnoj oblasti Inženjerstvo materijala, što je potvrđeno objavljivanjem radova u relevantnim časopisima međunarodnog značaja i saopštenjima na međunarodnim konferencijama.

Na osnovu kvaliteta, obima i naučnog doprinosa postignutih rezultata, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, da se doktorska disertacija kandidata Aleksandra Stajčića, dipl. inž. Tehnologije, pod naslovom „Sinteza, karakterizacija i primena polimernih kompozitnih magnetnih membrana na bazi etilceluloze”, prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu, 10.08.2018.

ČLANOVI KOMISIJE

.....

Dr Radmila Jančić-Hajneman, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....

Dr Slaviša Putić, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....

Dr Vesna Radojević, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

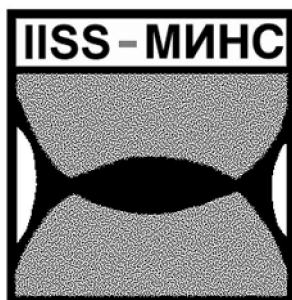
.....

Dr Jasna Stajić-Trošić, naučni savetnik
Univerzitet u Beogradu, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju

.....

Dr Dragutin Nedeljković, naučni saradnik
Univerzitet u Beogradu, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju

INTERNATIONAL
INSTITUTE



FOR THE SCIENCE
OF SINTERING

International Journal
**Science of
SINTERING**

Aleksandar Stajčić

Dear author,

We are pleased to inform you that your article "*The influence of barium ferrite nanoparticles on morphological and mechanical properties of ethyl cellulose based nanocomposites*", authors: Aleksandar Stajčić, Ivana Radović, Vladan Čosović, Aleksandar Grujić, Jasna Stajić-Trošić, Radmila Jančić-Heinemann, is accepted for publication in journal *Science of Sintering*.

Sincerely,

Editor in Chief

Academician Prof. M. M. Ristić

IISS
c/o ITN SANU
Knez-Mihailova 35/IV
11000 Belgrade
Serbia
Tel: +381112027151

scisint@sanu.ac.rs
www.iiss.sanu.ac.rs

14-Aug-2018

Ref.: TDWT-2018-0623.R1

"Adsorption kinetics of polyethersulfone membrane-supported hydrogels"

Desalination and Water Treatment

Dear Mr Stajcic:

We are pleased to accept your paper in its current form which will now be forwarded to the publisher for copy editing and typesetting. You will receive the proofs in due course.

Attached please find the copyright form. Please email the signed form promptly to deswaterjournal@gmail.com.

Thank you for your contribution to Desalination and Water Treatment and we look forward to receiving further submissions from you.

With best regards,

Miriam Balaban

Editor, Desalination and Water Treatment