

**Наставно-научном већу
Хемијског факултета
Универзитета у Београду**

На редовној седници Наставно-научног већа Хемијског факултета, Универзитета у Београду, одржаној 14. априла 2016. године, изабрани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације Ивана С. Стефановића, мастер хемичара, пријављене под насловом: **”Синтеза и карактеризација полиуретанских кополимера на бази поли(пропиленоксид)-*block*-поли(диметилсилоксан)-*block*-поли(пропиленоксида) и њихових нанокompозита са органомодификованом глином”**. На основу прегледа докторске дисертације подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

А) Приказ садржаја докторске дисертације

Докторска дисертација Ивана С. Стефановића написана је на 181 страну формата А4, са проредом 1,5. Садржи 10 схема, 100 слика, 27 табела и 237 литературна навода. Подељена је у следећа поглавља: Увод (4 стране), Теоријски део (56 страна), Експериментални део (17 страна), Резултати и дискусија (67 страна), Закључак (5 страна), Литература (8 страна) и Прилози (24 стране). Дисертација поред наведеног садржи и Списак скраћеница, Извод, Извод на енглеском језику, Биографију, Списак радова и саопштења који су део дисертације, као и потребне Изјаве у складу са захтевима за репозиторијум.

У **Уводу** кандидат дефинише тему, садржај и циљ докторске дисертације. Наводи се да је предмет ове докторске дисертације синтеза и изучавање структуре и својстава полиуретанских кополимера (SPU-а) и полиуретанских нанокompозита (SPUNC-а; са органомодификованом глином, Cloisite 30B®) на бази α,ω -дихидрокси-поли(пропиленоксид)-*b*-поли(диметилсилоксан)-*b*-поли(пропиленоксида) (PPO-PDMS) као меких сегмената и 4,4'-дифенилметандиизоцијаната (MDI) и 1,4-бутандиола (BD) као тврђих сегмената. Полиуретански кополимери су синтетисани двостепеном полиадицијом у раствору, док су полиуретански нанокompозити припремани *in situ* полимеризацијом. Прво је синтетисана једна серија полиуретанских кополимера са различитим садржајем тврђих сегмената од 10 до 60 мас.%, а затим серија њихових нанокompозита са 1 мас.% органоглине. Докторска дисертација је подељена у два дела. У првом делу дисертације приказана је синтеза серије полиуретанских кополимера и испитан је утицај њихове структуре и састава на термичка, површинска, морфолошка и механичка својства. У другом делу дисертације приказана је припрема серије нових полиуретанских нанокompозита, са побољшаним својствима у односу на полазне полиуретанске кополимере, и изучаван је утицај дисперговања наночестица органомодификоване глине на термичка, површинска, морфолошка и механичка својства. Обе серије узорака (SPU и SPUNC) детаљно су окарактерисане у погледу структуре, термичких, механичких, површинских својстава као и морфологије.

У **Теоријском делу** је најпре приказана структура и синтеза сегментираних полиуретанских еластомера, а затим су приказане структура и својства поли(диметилсилоксана) (PDMS), као и преглед објављених радова о синтези и својствима полиуретанских кополимера са меким сегментима на бази различитих PDMS-а. Затим су приказани синтеза, структура и својства сегментираних полиуретанских нанокомпозита са додатком слојевитих силиката (глине) као нанопуниоца. На крају, дат је преглед објављених радова који се баве припремом и својствима сегментираних полиуретанских нанокомпозита са додатком наночестица глине.

У **Експерименталном делу** је дат детаљан опис коришћених хемикалија, поступака синтезе, припреме и карактеризације сегментираних полиуретанских кополимера и њихових нанокомпозита.

У поглављу **Резултати и дискусија** најпре су презентовани резултати карактеризације силоксанског претполимера, а затим су описани резултати оптимизације услова извођења реакције полиадиције. Установљено је да су најбољи експериментални услови за синтезу полиуретанских кополимера и њихових нанокомпозита били: време прве фазе реакције 40 мин., време друге фазе реакције 10 часова, температура обе фазе 80 °С, концентрација реактанта 15 мас.%, молски однос –NCO/–ОН група 1,1, смеша растварача THF-а и DMAc-а у запреминском односу од 1/1 (в/в), концентрација катализатора калај-октоата 0,15 мол.% у односу на PPO-PDMS претполимер.

У другом делу овог поглавља приказана је синтеза и карактеризација полиуретанских кополимера и њихових нанокомпозита са садржајем тврдих сегмената у опсегу од 10 до 60 мас.%. Под оптималним условима је синтетисана серија сегментираних полиуретанских кополимера на бази PPO-PDMS-а као дела меког сегмента и MDI-BD-а као комономера тврдог сегмента. Серија SPU-а је синтетисана двостепеном реакцијом полиадиције у смеси растварача тетраhydroфурана/*N,N*-диметилацетамида (THF/DMAc, 1/1, в/в). Потом је припремљена серија полиуретанских нанокомпозита са додатком органомодификоване глине Cloisite 30B[®] (1 мас.%). Серија SPUNC-а је припремљена поступком *in situ* полимеризације.

У овом делу рада је приказан и утицај структуре и састава синтетисаних полиуретана и њихових нанокомпозита на постигнута термичка, механичка и површинска својстава као и морфологију. Структура, састав и дужина тврдих сегмената SPU-а су испитани NMR (¹H, ¹³C и 2D) и FTIR спектроскопијама. FTIR спектроскопија је такође коришћена за испитивање присуства микрофазне сепарације између тврдих и меких сегмената SPU-а и SPUNC-а. Моларне масе и расподела моларних маса SPU-а су одређени гел-пропусном хроматографијом (GPC). Термичка својства SPU-а и SPUNC-а су испитана термогравиметријском анализом (TGA) и диференцијално-скенирајућом калориметријом (DSC). Реолошка својства су окарактерисана помоћу динамичко-механичке термичке анализе (DMTA), док су вредности модула еластичности, затезних чврстоћа и максималних издужења при кидању одређени у огледима истезања SPU-а и SPUNC-а. Тродимензионална микроструктура SPU-а и SPUNC-а је окарактерисана помоћу дифракције X-зрака на великим (WAXS) и малим (SAXS) угловима. Постигнута морфологија, тј. степен раслојености глине, код серије SPUNC-а је такође испитана WAXS анализом. Површинска својства су испитана мерењем контактних углова површина SPU и SPUNC филмова са водом (WCA), формаидом (FCA) и дијод-метаном (ICA), као и одређивањем слободне површинске енергије (SFE) и фотоелектронском спектроскопијом (XPS). Присуство микрофазне сепарације и морфологија (попречног пресека) SPU-а и SPUNC-а, су испитани помоћу скенирајуће електронске микроскопије (SEM), микроскопије атомских сила (AFM) и трансмисионе електронске микроскопије (TEM).

У поглављу **Закључак** су сумирани најважнији резултати који су добијени у оквиру ове докторске дисертације.

Поглавље **Литература** садржи 237 навода из области истраживања и покрива све делове докторске дисертације.

У **Прилозима** су приказани GPC хроматограми и калибрациона крива за GPC анализу, ^1H и ^{13}C NMR спектри, FTIR спектри, XPS спектри и резултати фитовања SAXS и WAXS региона одређених узорака, који због прегледности и обимности нису приказани у оквиру поглавља Резултати и дискусија.

Б) Кратак опис постигнутих резултата

У овој докторској дисертацији синтетисана је серија SPU-а са меким сегментима на бази PPO-PDMS-а и тврдим сегментима на бази MDI-BD-а, двостепеном реакцијом полиадиције у смеси растварача. Затим је припремљена серија SPUNC-а поступком *in situ* полимеризације уз додаток комерцијалне органомодификоване монтморилонитне глине (Cloisite 30B[®], 1 мас.%). Утврђено је да су најбољи експериментални услови за синтезу обе серије узорака били: време прве фазе реакције 40 мин., време друге фазе реакције 10 часова, температура обе фазе 80 °C, концентрација реактанта 15 мас.%, молски однос –NCO/–OH група 1,1, смеша растварача THF-а и DMAc-а у запреминском односу од 1/1 (в/в), концентрација катализатора калај-октоата 0,15 мол.% у односу на PPO-PDMS претполимер.

Структура и састав синтетисаних мулти-блок кополимера детаљно су потврђени помоћу ^1H , ^{13}C и 2D (COSY, HSQC и HMBC) NMR и ATR-FTIR спектроскопијама. ^1H NMR анализа је показала да се експерименталне вредности садржаја тврдих и меких сегмената релативно добро слажу са вредностима задатим саставом реакционе смеше. На основу квантитативне ^{13}C NMR спектроскопије израчунате су просечне вредности дужина тврдих MDI-BD сегмената које су износиле од 1,5 до 3,8 јединица. Терминални PPO блокови у структури PPO-PDMS претполимера су имали улогу компатибилизера, што је допринело бољој компатибилности између неполарних PDMS и поларних уретанских сегмената у току синтезе, као и добијању SPU-а средњих моларних маса. Постојање јаким водонично везаних C=O и –NH група унутар тврдих сегмената је водило стварању микрофазне сепарације код обе серије узорака. Микрофазна сепарација се повећавала са повећавањем садржаја тврдих сегмената код обе серије узорака и била је већа код узорака SPUNC-а. FTIR анализа је потврдила постојање и водоничних и хемијских интеракција између –CH₂CH₂OH група унутар органског модификатора глине и полимерних ланаца, што је омогућило потпуну деламинацију глине и побољшање термичких, механичких и баријерних својстава синтетисаних SPUNC-а.

XPS мерења су потврдила присуство атома Si на површини SPU и SPUNC филмова, што настаје као резултат миграције PDMS блокова на површину филмова. Присуство веће количине атома Si на површини SPUNC филмова услед додатих наночестица глине, је водило до веће хидрофобности узорака SPUNC-а у односу на узорке SPU-а.

TGA анализа је показала да је термичка стабилност синтетисаних SPU-а и SPUNC-а у највећој мери зависила од садржаја тврдих и меких сегмената, а затим и од додатка наночестица глине. Хомогена дисперзија и ексфолирано/интеркаларна морфологија наночестица глине је допринела већој термичкој стабилности узорака SPUNC-а за ~ 10 до 20 °C у односу на узорке SPU-а. Анализом DTG кривих је закључено да се термичка деградација SPU-а и SPUNC-а у атмосфери азота одвијала као вишестепени процес.

На основу DSC мерења детектоване су две температуре остакљивања (од PPO блокова и аморфних делова тврдих сегмената), док су DMTA мерења детектовала три температуре остакљивања (од PDMS, PPO блокова и аморфних делова тврдих сегмената) што указује на постојање фазно-раздвојених домена у структури синтетисаних SPU-а и SPUNC-а. DSC и WAXS анализе су показале да се са повећањем дужина тврдих сегмената изнад 3 MDI-BD јединице повећавају и вредности укупног степена кристаличности код SPU-а и SPUNC-а са садржајем тврдих сегмената изнад 40 мас.%, што је уједно значило да су ови узорци семи-кристалинични. Нешто већи степен кристаличности код узорака SPUNC-а у односу на узорке SPU-а се приписује нуклеацијском ефекту наночестица глине.

На основу испитаних механичких својстава закључено је да синтетисани узорци са највећим садржајем тврдих сегмената имају велике вредности затезних чврстоћа и модула еластичности, као и средње вредности издужења при кидању. Постојање јаких водоничних веза унутар тврдих сегмената као и одговарајући степен микрофазне сепарације су имали пресудан значај за постизање добрих механичких својстава синтетисаних SPU-а и SPUNC-а. Додатак наночестица глине на почетку *in situ* полимеризације је омогућио добро дисперговање честица глине и уградњу полимерних ланаца између ексфолираних и интеркаларних слојева глине, што је довело до побољшања механичких својстава узорака SPUNC-а.

SAXS мерења су потврдила да синтетисани полиуретани поседују микрофазно раздвојену морфологију, при чему се са повећањем садржаја тврдих сегмената у узорцима повећавало и међудоменско растојање од 13,7 до 17,2 nm.

Миграција PPO-PDMS сегмената на површину полимерних филмова је доводила до повећања хидрофобности синтетисаних SPU-а и SPUNC-а. Некваљивост површина синтетисаних полимерних филмова је потврђена измереним вредностима контактних углова са водом које су биле између 89,0° и 103,3° код узорака SPU-а и између 90,9° и 106,8° код узорака SPUNC-а. Изузетно ниске вредности апсорпције воде указивале су на високо хидрофобне материјале, чија је хидрофобност зависила пре свега од састава узорака и која је такође повећана са додатком наночестица глине. Веома ниске вредности слободне површинске енергије су још једном потврдиле високо хидрофобну природу површина SPU и SPUNC филмова. Слободна површинска енергија је била најнижа код SPUNC-а са великим садржајем меких сегмената, а која настаје као резултат ниске површинске енергије и миграције PDMS блокова на површину филмова, али и повећане концентрације атома Si на површини услед додатих наночестица глине.

На основу SEM и AFM слика је закључено да обе серије узорака поседују двофазну микроструктуру услед постојања микрофазне сепарације између фаза тврдих и меких домена. SPU и SPUNC су показивали хетерогени карактер који је био израженији код узорака са већим садржајем тврдих сегмената, али и код узорака SPUNC-а у односу на узорке SPU-а услед већег степена микрофазне сепарације. SEM анализа је показала хомогену дисперзију наночестица глине у структури SPUNC-а. AFM анализа је показала да се храпавост попречних пресека узорака SPU-а и SPUNC-а повећавала са повећањем садржаја тврдих сегмената и да је била већа код SPUNC-а, због додатка наночестица глине и организације тврдих сегмената у мало веће домене, који настају услед нуклеацијског ефекта наночестица глине. Домени тврдих сегмената су код узорака SPU-а били величине од 0,09 до 0,20 μm , док су код узорака SPUNC-а били већи и реда величине од 0,22 до 0,28 μm . TEM анализа је такође потврдила хомогену дисперзију наночестица глине унутар структуре SPUNC-а. У структури SPUNC-а наночестице глине су поседовале мешовито ексфолирано/интеркаларну морфологију, са већим бројем оних које су ексфолиране (разлистане) морфологије.

В) Упоредна анализа резултата кандидата са резултатима из литературе

Стална потреба за новим сегментираним полиуретанским материјалима са побољшаним својствима је довела до употребе различитих макродиола као дела меких сегмената. Стога се у новије време, за синтезу SPU-а уместо класичних полиетарских и полиестарских макродиола користе поли(диметилсилоксански) макродиоли као меки сегменти. Ова врста сегментираних полиуретанских еластомера на бази PDMS-а је привукла интересовање научне и стручне јавности због могуће комбинације одличних својстава полиуретана са једне и PDMS-а са друге стране. Полиуретани обезбеђују добра механичка својства, док PDMS макродиоли побољшавају биостабилност и биокompatиблност SPU-а. Поред тога, PDMS макродиоли такође обезбеђују одлична термичка и оксидативна својства, ниску површинску енергију, отпорност на UV зрачење, велику хидрофобност, хемијску инертност, добру гасну пропустљивост и одсуство било какве токсичности код синтетисаних SPU-а.

Међутим, највећи проблем приликом синтезе SPU-а је велика разлика у хемијској природи између неполарних PDMS макродиола са једне и поларних уретанских комономера са друге стране. Да би се превазишао овај проблем и добили SPU кополимери великих моларних маса а самим тим и добрим механичким својствима, неопходна је употреба смеше макродиола (PDMS/полиетар) или триблок полиетарског-*b*-PDMS-*b*-полиетарског макродиола, који у себи поседују полиетарске и PDMS блокове. У литератури је приказана синтеза сегментираних полиуреа кополимери великих моларних маса на бази смеше PPO/PDMS макродиола помоћу тростепене полимеризације у раствору. PPO макродиол је инкорпорин у сегментирани полиуреа кополимере на бази PDMS са циљем да се побољшају механичка својства у поређењу са полиуреа кополимерима само на бази PDMS-а као меког сегмента. Упоредо са истраживањем приказаним у овој дисертацији синтетисани су полиуретански кополимери на бази PPO-PDMS триблок кополимера (M_n 2840 до 4460 g mol⁻¹) двостепеном полимеризацијом у растопу. Употребом PPO-PDMS претполимера (сличан са претполимером који је употребљен у овој дисертацији) са различитим дужинама PPO блокова, је показано да PPO блокови са просечном M_n од ~1000 g mol⁻¹ доприносе бољој компатибилности тврђих и меких сегмената, а самим тим воде и до бољих механичких својстава SPU-а. У овом раду за синтезу SPU-а је коришћен α,ω -дихидрокси-поли(пропиленоксид)-*b*-поли(диметилсилоксан)-*b*-поли(пропиленоксид) макродиол који садржи терминалне поли(пропиленоксидне) (PPO; $M_{nNMR}=991$ g mol⁻¹) блокове и централни поли(диметилсилоксански) (PDMS; $M_{nNMR}=1080$ g mol⁻¹) блок. На овај начин, полиетарски терминални блокови имају улогу компатибилизера између поларних уретанских комономера и неполарних PDMS макродиола, што у знатној мери олакшава синтезу SPU-а. У овој дисертацији, SPU кополимери на бази PPO-PDMS су синтетисани двостепеном полиадицијом у раствору. Комбинација PPO и PDMS блокова омогућава добијање SPU-а са високом хидрофобношћу и одличним термичким својствима. Поред тога, истраживања су показала да употреба различитих PDMS макродиола обезбеђује висок степен микрофазне сепарације, која је неопходна за постизање добрих механичких својстава SPU-а. Тако и синтетисани SPU кополимери на бази PPO-PDMS-а поседују висок степен микрофазне сепарације и добра механичка својства због чега могу имати потенцијалну примену као еластомери, водоотпорни премази и као разни биоматеријали у медицини. Присуство PPO-PDMS претполимера у структури SPU допринело је већем степену микрофазне сепарације између сегмената и бољим термомеханичким, механичким и површинским својствима синтетисаних полиуретана у поређењу са претходно

синтетисаним кополимерима на бази етоксипропил-терминираниог PDMS као меког сегмента, објављеним у литератури.

Поред тога, у последње време се за још већа побољшања својстава полиуретанских кополимера користи додатак различитих честица нанометарских величина „нанопунилаца“ у полиуретанску матрицу. У научној литератури за припрему полиуретанских нанокompозита (SPUNC-а) се користе разни нанопуниоци, међу којима и природна глина (слојевити алумосиликати), од којих је најзаступљенији монтморилонитни тип глине. Један од кључних захтева за припрему SPUNC-а је како постићи хомогену дисперзију глине унутар полиуретанске матрице, што је веома тешко постићи због њихове некомпатибилности. Код добијања ових SPUNC-а, циљ је постићи и ексфолирану (разлистану) морфологију глине јер се на тај начин повећава интеракција између полимерних ланаца и наночестица глине. Својства SPUNC-а се углавном побољшавају додатком малих количина глине, у опсегу од 1 до 5 мас.%. На овај начин се додатно могу побољшати баријерна, термичка, механичка и површинска својства SPUNC-а у односу на полазна својства SPU-а. Полиуретански нанокompозити на бази поли(пропиленоксид)-*b*-поли(диметилсилоксан)-*b*-поли(пропиленоксидних) триблок кополимера као меких сегмената са органоглином до сада нису синтетисани и карактерисани у литератури. Показано је да термичка, механичка и баријерна својства SPU-а се могу побољшати хомогеном дисперзијом наночестица глине унутар полиуретанске матрице.

Г) Објављени радови и саопштења који чине део дисертације

Научни радови:

1. Радови објављени у врхунским часописима међународног значаја (M21)

1. **Ivan S. Stefanović**, Milena Špírková, Rafał Poręba, Miloš Steinhart, Sanja Ostojić, Vele Tešević, Marija V. Pergal, Study of the Properties of Urethane-Siloxane Copolymers Based on Poly(propylene oxide)-*b*-poly(dimethylsiloxane)-*b*-poly(propylene oxide) Soft Segments, *Ind. Eng. Chem. Res.* 2016, **55**, 3960-3973 (IF 2,843).

<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.iecr.5b04975>

2. **Ivan S. Stefanović**, Milena Špírková, Sanja Ostojić, Plamen Stefanov, Vladimir B. Pavlović, Marija V. Pergal, Montmorillonite/Poly(urethane-siloxane) Nanocomposites: Morphological, Thermal, Mechanical and Surface Properties, *Appl. Clay Sci.*, 2017, **149**, 136-146 (IF 3,101).

<https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.08.021>

2. Рад објављен у часопису међународног значаја (M23)

1. **Ivan S. Stefanović**, Dejan Gođevac, Milena Špírková, Petar Jovančić, Vele Tešević, Vesna Milačić, Marija V. Pergal, Impact of the poly(propylene oxide)-*b*-poly(dimethylsiloxane)-*b*-poly(propylene oxide) macrodiols on the surface-related properties of polyurethane copolymers, *Hem. Ind.* 2016, **70**, 725-738 (IF 0,459).

http://www.ache.org.rs/HI/2016/No6/HEMIND_Vol70_No6_p725-738_Nov-Dec_2016.pdf

Саопштења:

Саопштење са скупа међународног значаја штампано у целини (M33)

1. **Ivan S. Stefanović**, Dejan Godevac, Vele Tešević and Marija V. Pergal, *Thermoplastic polyurethanes based on poly(dimethylsiloxane): structure and thermal behavior*, Physical Chemistry 2014, 12th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Belgrade, 22-26. September 2014. J-15-P, p.815-818.

Саопштење са скупа међународног значаја штампано у изводу (M34)

1. **Ivan S. Stefanović**, Sanja Ostojić, Vele Tešević, Marija V. Pergal, *Nanoclay reinforcement of siloxane-modified segmented thermoplastic polyurethanes*, Biology and Chemistry: a Permanent Dialogue, 22nd Young Research Fellows Meeting, Paris, 4-6. February 2015. PO-058.

Саопштења са скупа националног значаја штампана у изводу (M64)

1. **Ivan S. Stefanović**, Milena Špírková, Rafał Poręba, Miloš Steinhart, Sanja Ostojić, Vele Tešević, Marija V. Pergal, *Thermal and morphological properties of thermoplastic polyurethane-based on poly(propylene oxide)-b-poly(dimethylsiloxane)-b-poly(propylene oxide)*, 51st Meeting of the Serbian Chemical Society and 2nd Conference of the Young Chemists of Serbia, Niš, 5-7. June 2014. Book of Abstracts, HTM P 03, p.80.
2. **Ivan S. Stefanović**, Plamen Stefanov, Vladimir Pavlović, Marija V. Pergal, *Effects of organically clay nanoparticles on the properties of the poli(urethane-siloxane) nanocomposites*, 4th Conference of Young Chemists of Serbia, Belgrade, 5. November 2016. Book of Abstracts, MN P 03, p.12.

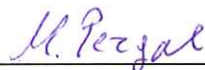
Д) Закључак комисије

На основу прегледа докторске дисертације кандидата Ивана Стефановића, мастер хемичара, Комисија је закључила да ова дисертација представља оригиналан научни допринос синтези и карактеризацији полиуретанских кополимера и нових полиуретанских нанокompозита (са органомодификованом глином) на бази поли(пропиленоксид)-поли(диметилсилоксан) триблок претполимера. Остварен је драгоцен допринос у изучавању утицаја састава и структуре полиуретанских кополимера на физичко-хемијска својства и морфологију ових полимерних материјала. Такође, значајан допринос је остварен у испитивању утицаја дисперговања наночестица глине у полиуретанској матрици на термичка, механичка и површинска својства ових полимерних материјала. Полиуретански кополимери и њихови нанокompозити су показивали задовољавајућа термичка, механичка и површинска својства, која су додатно побољшана код полиуретанских нанокompозита, а која су неопходна за њихову потенцијалну примену као еластомера, водоотпорних премаза или као биоматеријала.

Из докторске дисертације до сада су објављена два рада у врхунским часописима међународног значаја, један у часопису међународног значаја, као и четири саопштења на међународним и домаћим скуповима.

Комисија сматра да докторска дисертација Ивана Стефановића, мастер хемичара под називом: „Синтеза и карактеризација полиуретанских кополимера на бази поли(пропиленоксид)-*block*-поли(диметилсилоксан)-*block*-поли(пропиленоксида) и њихових нанокompозита са органомодификованом глином“ поседује све елементе потребне за докторску дисертацију и предлаже Наставном-научном већу Хемијског факултета да прихвати овај извештај и одобри одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 13. 11. 2017.



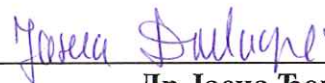
Др Марија Пергал

виши научни сарадник Института за хемију, технологију и металургију,
Центра за хемију, Универзитета у Београду, ментор



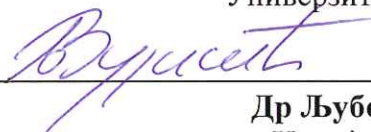
Др Веле Тешевић

ванредни професор Хемијског факултета,
Универзитета у Београду, ментор



Др Јасна Ђонлагич

редовни професор у пензији Технолошко-металуршког факултета,
Универзитета у Београду



Др Љубодраг Вујишић

доцент Хемијског факултета,
Универзитета у Београду