

Факултет Технолошко-металуршки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/69

(Број захтева)

11. 4. 2024.

(Датум)

Веће научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

## ЗАХТЕВ

## за давање сагласности на одлуке о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и о именовању комисије за одбрану

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације:

КАНДИДАТ Вељко (Векослав) Савић

(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму : Хемијско инжењерство

пријавио је докторску дисертацију под називом:

Синтеза и карактеризација стакла и стаклокерамике на бази летећег пепела и отпадног стакла

## Технолошко инжењерство

из научне области:

Универзитет је дана 6.7. 2020. својим актом под бр. 61206-2238/2-20 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

## Синтеза и карактеризација стакла и стаклокерамике на бази летећег пепела и отпадног стакла

Име и презиме ментора: др Снежана Грујић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Срђан Матијашевић, виши научни сарадник Института за технологију нуклеарних минералних сировина у Београду.

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној 1. 2. 2024.

одлуком факултета под бр. 35/16, у саставу:

|    | Име и презиме члана<br>комисије | звање                | научна област                                  | Установа у којој<br>је запослен |
|----|---------------------------------|----------------------|------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1. | Др Рада Петровић                | редовни професор     | Инжењерство неорганских<br>хемијских производа | ТМФ                             |
| 2. | Др Марина Дојчиновић            | редовни професор     | Инжењерство материјала                         | ТМФ                             |
| 3. | Др Сања Јевтић                  | доцент               | Неорганска хемија                              | ТМФ                             |
| 4. | Др Јелена Николић               | виши научни сарадник | Материјали                                     | ИТНМС                           |
| 5. | Др Даниела Поповић              | виши научни сарадник | Инжењерство неорганских<br>хемијских производа | ИЦ ТМФ                          |

**Напомена:** уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности 28. 2. 2024.

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана 11. 4. 2024.

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној 11. 4. 2024.

одлуком факултета под бр. 35/67, у саставу:

|    | Име и презиме члана<br>комисије | звање                | научна област                                  | Установа у којој<br>је запослен |
|----|---------------------------------|----------------------|------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1. | Др Рада Петровић                | редовни професор     | Инжењерство неорганских<br>хемијских производа | ТМФ                             |
| 2. | Др Марина Дојчиновић            | редовни професор     | Инжењерство материјала                         | ТМФ                             |
| 3. | Др Сања Јевтић                  | доцент               | Неорганска хемија                              | ТМФ                             |
| 4. | Др Јелена Николић               | виши научни сарадник | Материјали                                     | ИТНМС                           |
| 5. | Др Даниела Поповић              | виши научни сарадник | Инжењерство неорганских<br>хемијских производа | ИЦ ТМФ                          |

**Напомена:** уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

**ДЕКАН ФАКУЛТЕТА**

др Петар Ускоковић, редовни професор

- Прилози:
1. Одлука Наставно-научног већа о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и одлука о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације
  2. Извештај Комисије о оцени докторске дисертације
  3. Примедбе на извештај Комисије о оцени докторске дисертације (уколико их је било) и мишљење Комисије о примедбама

**Напомена:** Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета



Република Србија  
Универзитет у Београду  
Технолошко-металуршки факултет

РЕПУБЛИКА СРБИЈА  
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ

Бр.

20/190

28.11.2022.

год.

БЕОГРАД

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета у Београду бр. 201/2018") и члана 76. Статута Технолошко-металуршког факултета у Београду, као и захтева студента за продужење рока за завршетак студија Декан доноси

## РЕШЕЊЕ

о продужењу рока за завршетак студија

Студенту **Вељко Савић**, број индекса 2016/4005, уписан у прву годину докторских академских студија школске 2016/2017 године продужава се рок за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до краја школске 2025/2026 године.



Декан

Проф. др Петар Ускоковић

ДІVa

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 52. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 11.4.2024. године, донета је

## О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Рада Петровић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Марина Дојчиновић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Сања Јевтић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Јелена Николић, виши научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београду и др Даниела Поповић, виши научни сарадник Иновационог центра Технолошко-металуршког факултета, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: **„Синтеза и карактеризација стакла и стаклокерамике на бази летећег пепела и отпадног стакла“** коју је поднео **Вељко Савић**, мастер 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 Вељка Савића, под називом **„Синтеза и карактеризација стакла и стаклокерамике на бази летећег пепела и отпадног стакла“** Одлуком број: 61206-2238/2-20 од 6. 7. 2020. године.

Верификација научних доприноса:

Категорија M22:

**1.Savić, V.**, Topalović, V., Nikolić, J., Jevtić, S., Manić, N., Komatina, M., Matijašević, S., Grujić, S.: Foam glasses made from green bottle glass and sugar beet factory lime as a foaming agent, - *Heliyon*, vol. 9, no. 7, e17664, 2023 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17664>. (IF=4,0)(Online ISSN: 2405-8440)

**2.Savić, V.**, Dojčinović, M., Topalović, V., Cvijović-Alagić, I., Stojanović, J., Matijašević, S., Grujić, S.: The effect of sintering temperature on cavitation erosion in glass–ceramics based on coal fly ash,-*International Journal of Environmental Science and Technology*, 2024 <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05411-9>. (IF=3,1) (Electronic ISSN: 1735-2630)

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета, ментору, Служби за наставно-студентске послове и Архиви факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

ДУ

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 52. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 11. 4. 2024. године, донета је

### О Д Л У К А

о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације

Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације **Вељка Савића**, мастер инжењера технологије, са темом под називом „**Синтеза и карактеризација стакла и стаклокерамике на бази летећег пепела и отпадног стакла**“, у саставу:

1. Др Рада Петровић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
2. Др Марина Дојчиновић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
3. Др Сања Јевтић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршког факултета,
4. Др Јелена Николић, виши научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд,
5. Др Даниела Поповић, виши научни сарадник Иновационог центра Технолошко-металуршког факултета.

Одлуку доставити: Одлуку доставити: члановима Комисије, Универзитету у Београду, Служби за наставно-студентске послове и Архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Вељка В. Савића**

Одлуком бр. 35/16 од 01.02.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Вељка В. Савића под насловом: **“Синтеза и карактеризација стакла и стаклокерамике на бази летећег пепела и отпадног стакла”**.

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

### РЕФЕРАТ

#### 1. УВОД

##### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- Школске 2016/2017. године Вељко Савић, мастер инжењер технологије, уписао је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, научна област Технолошко инжењерство, ужа научна област Хемијско инжењерство.
- 20.05.2020. Вељко Савић је пријавио тему докторске дисертације под насловом: **“Синтеза и карактеризација стакла и стаклокерамике на бази летећег пепела и отпадног стакла”**
- 28.05.2020. на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је одлука (бр. 35/84) о именовању чланова Комисије за оцену подобности теме и кандидата Вељка Савића, мастер инжењера технологије, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **“Синтеза и карактеризација стакла и стаклокерамике на бази летећег пепела и отпадног стакла”** у саставу: др Снежана Грујић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, др Рада Петровић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, др Сања Јевтић, доцент Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, др Срђан Матијашевић, виши научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина и др Даниела Поповић, виши научни сарадник Иновационог центра Технолошко-металуршког факултета у Београду.
- 25.06.2020. Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета донело је Одлуку (бр. 35/188) о прихватању реферата Комисије за оцену подобности теме **“Синтеза и карактеризација стакла и стаклокерамике на бази летећег пепела и отпадног стакла”** и кандидата Вељка Савића за израду докторске дисертације. За менторе докторске дисертације именовани су др Снежана Грујић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Срђан

Матијашевић, виши научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина.

- 06.07.2020. на седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност (Одлука 02 број: 61206-2238/2-20) на предлог теме докторске дисертације Вељка Савића, мастер инжењера технологије под називом: **“Синтеза и карактеризација стакла и стаклокерамике на бази летећег пепела и отпадног стакла”**.
- На захтев Вељка Савића, студента докторских студија, а уз сагласност ментора др Снежане Грујић, редовног професора Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Срђана Матијашевића, вишег научног сарадника Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета је на седници одржаној 28.11.2022. године донело Решење бр. 20/190 о продужењу рока за завршетак докторских студија.
- На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је Одлука (бр. 35/16 од 01.02.2024.) о именовању чланова Комисије за оцену докторске дисертације Вељка Савића, мастер инжењера технологије, под називом: **“Синтеза и карактеризација стакла и стаклокерамике на бази летећег пепела и отпадног стакла”** у саставу: др Рада Петровић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, др Марина Дојчиновић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, др Сања Јевтић, доцент Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, др Јелена Николић, виши научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина и др Даниела Поповић, виши научни сарадник Иновационог центра Технолошко-металуршког факултета.

## 1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Хемијско инжењерство, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментори ове докторске дисертације су др Снежана Грујић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Срђан Матијашевић, виши научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, чија је компетенција за вођење докторске дисертације потврђена на основу искуства и објављених публикација из области којој дисертација припада.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Вељко В. Савић рођен је 03.10.1992. године у Краљеву, Република Србија. Основну школу „Вук Караџић“ и средњу Пољопривредно-хемијску школу „Др Ђорђе Радић“ завршио је у Краљеву. Школске 2011/2012. уписао је Основне академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду. Дипломирао је 2015. године на Катедри за неорганску хемијску технологију, са просечном оценом 8,08. Завршни рад „Уклањање анјонских и катјонских боја из воде адсорпцијом на меркаптосиланираним сепиолитима“ одбранио је оценом 10 на Катедри за неорганску хемијску технологију. Школске 2015/2016. уписао је мастер академске студије на Технолошко-металуршком факултету, студијски програм Хемијско инжењерство. Мастер студије је завршио 2016. године са просечном

оценом 9,50. Завршни мастер рад „Бељење сунцокретовог уља природним и модификованим сепиолитима“ одбранио је оценом 10 на Катедри за неорганску хемијску технологију. Школске 2016/2017. уписао је докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету. Положио је све испите предвиђене студијским програмом докторских студија са просечном оценом 10,0. Школске 2022/2023. продужен је рок за завршетак Докторских академских студија у трајању од три године. Од 2016. године запослен је у Институту за технологију нуклеарних и других минералних сировина у Београду. У периоду од 2016. до 2019. био је ангажован на пројектима из програма основних истраживања (ОИ172004- Феномени и процеси синтезе нових стаклстих и наноструктурних стакло-керамичких материјала) и технолошког развоја (ТР34001- Развој стакала са контролисаним отпуштањем јона за примену у пољопривреди и медицини) финансираних од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. До сада је као коаутор објавио: два рада у врхунским међународним часописима (M21), седам радова у водећим међународним часописима (M22), два рада у часописима међународног значаја верификованим посебном одлуком (M24), деветнаест саопштења са међународног скупа штампаних у целини (M33), једанаест саопштења на скуповима међународног значаја штампаних у изводу (M34), два саопштења на скуповима националног значаја штампаних у изводу (M64) и један регистрован патент на националном нивоу (M92). Кандидат говори, чита и пише на енглеском језику.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Вељка В. Савића, мастер инжењера технологије под називом „Синтеза и карактеризација стакла и стаклокерамике на бази летећег пепела и отпадног стакла“ написана је на 134 стране, садржи 61 слику, 27 табела и 182 литературна навода. Докторска дисертација садржи шест целина: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултате и дискусију, Закључак и Литературу. На почетку дисертације дат је сажетак на српском и енглеском језику. Дисертација садржи и кратку биографију кандидата и 3 обавезна прилога (изјаве). По својој форми и садржају, поднети рад задовољава све стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У **уводном** делу дисертације наведени су предмет и циљ истраживања у оквиру докторске дисертације. Објашњен је значај и начини добијања стаклстих и стаклокерамичких материјала од отпадних материјала. У зависности од састава стакларске мешавине, односно састава стакла и услова топлотне обраде могуће је добити добро синтероване стакласте/стаклокерамичке или порозне стакласте/стаклокерамичке материјале. Наведен је значај познавања процеса синтер-кристализације стакла, како са аспекта добијања густих стаклстих/стаклокерамичких производа, тако и порозних стаклстих/стаклокерамичких материјала.

**Теоријски део** садржи пет поглавља. У **првом** поглављу приказани су састави и својства летећег пепела заједно са механизмом настанка летећег пепела при сагоревању угља и на основу тога приказана примена летећег пепела. У Србији се у термоелектранама годишње сагори око 40 милиона тона лигнита и настаје око 6 милиона тона летећег пепела. И поред тога што се летећи пепео примењује у изградњи путева, у индустрији цемента, за добијање

геополимера, за добијање адсорбената за уклањање боја и тешких метала из отпадних вода, за добијање вештачких зеолита и носача катализатора, за добијање стакла и стаклокерамике, и даље су активна истраживања нових примена. У **другом** поглављу објашњени су поступци добијања и примене стакла и стаклокерамичких материјала на бази отпадних материјала. Наведени су услови добијања стаклокерамичких материјала. Приказани су процеси добијања и својства стакластих и стаклокерамичких материјала добијених од шљаке из високих пећи, пепела из спалионица комуналног отпада, пепела насталог при производњи челика и отпадних материјала из хидрометалуршке индустрије. Посебан осврт дат је на услове добијања и карактеризацију стакала и стаклокерамике на бази летећег пепела. Описани су процеси добијања стаклокерамичких материјала нуклеацијом и кристализацијом и синтер-кристализацијом праха стакла. У оквиру **трећег** поглавља објашњена су својства и значај рециклаже стакленог крша. Рециклажа стакленог крша, поред повољног утицаја на животну средину, има и економске предности, при чему су оне највеће за затворени круг рециклаже, односно при примени отпадног амбалажног стакла (стакленог крша) за добијање нове амбалаже. Међутим, након употребе амбалаже настају велике количине отпадног стакла које се не могу употребити у циклусу затворене рециклаже, због тога се стално истражују нове могућности примене стакленог крша. У **четвртном** поглављу описан је поступак рада фабрике за производњу шећера и дефинисана су својства сатурационог муља, споредног производа насталог при производњи шећера, који има висок садржај калцијум-карбоната. Сатурациони муљ нема широку употребу, углавном се примењује за регулацију рН вредности пољопривредног земљишта и као замена за калцијум-карбонат при производњи цемента и бетона. У оквиру **петог** поглавља описани су услови добијања и својства стаклене пене. Дат је историјски осврт на почетак добијања, примену и дефинисан је механизам настајања пора у зависности од примењеног средства за пењење. Објашњени су фактори који утичу на својства стаклене пене, као што су величина честица стакла и средства за пењење, брзине и времена загревања, као и температуре топлотне обраде. Наведена су претходна истраживања добијања стаклене пене коришћењем отпадних материјала.

**Експериментални део** докторске дисертације подељен је на осам потпоглавља. У **првом потпоглављу** описане су сировине коришћене у истраживањима. У **другом потпоглављу** експерименталног дела описане су методе карактеризације сировина коришћених у дисертацији за добијање стакала, стаклокерамике и стаклене пене. У **трећем потпоглављу** дефинисани су услови добијања стакла (састав стакларских мешавина, режим топљења и брзина хлађења) неопходни за добијање стакла задовољавајућег квалитета за добијање стаклокерамике. Синтетисано је шест стакала на бази различитих отпадних материјала (летећи пепео, отпадно амбалажно стакло) са различитим додацима ( $\text{CaCO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$  из сатурационог муља). **Четврто потпоглавље** описује методе карактеризације стакала. Добијена стакла испитана су атомском апсорпционом спектроскопијом (ААС), рендгенском дифракционом анализом (РДА), инфрацрвеном спектроскопијом са Фуријеовом трансформацијом (ФТИР), диференцијално-скенирајућом калориметријом (ДСК) и термомикроскопском анализом. У **петом потпоглављу** дефинисане су области синтер-кристализације стакла, односно одређене температуре синтеровања стакала. Карактеризација синтерованих узорака описана је у **шестом потпоглављу**. Одређено је упијање воде, запремина отворених пора, релативна порозност, релативна запреминска маса и запреминска маса синтерованих узорака према стандарду ISO 10545- 3:2018. РДА методом су идентификоване кристалне фазе настале током синтеровања. Тврдоћа материјала одређена је методом по Викерсу. Отпорност на дејство кавитације одређена је стандардном ултразвучном вибрационом методом ASTM G32. Микроструктура површина синтерованих узорака, као и микроструктура синтерованих узорака након дејства кавитације испитана је скенирајућим електронским микроскопом (СЕМ). Утицај на животну средину одређен је излучивањем токсичних метала по TCLP методи. Хемијска постојаност синтерованих узорака одређивана је у дестилованој води,  $0,01 \text{ mol/dm}^3$  раствору  $\text{HCl}$  и  $0,01 \text{ mol/dm}^3$  раствору  $\text{NaOH}$  применом гриз методе. Одређена је промена масе узорка након

растварања, концентрација елемената у раствору након растварања ААС-ом, а ФТИР методом су испитиване промене структуре синтерованих узорака током растварања. У **седмом потпоглављу** дефинисани су услови добијања стаклене пене. Стаклена пена добијена је синтеровањем праха отпадног стакла са 2,5; 5 и 7,5 %  $\text{CaCO}_3$  из сатурационог муља. Узорци су синтеровани на 750, 800, 850 и 900 °C. Методе карактеризације стаклене пене су описане у **осмом потпоглављу**. Одређене су: кристалне фазе настале током топлотне обраде, порозност стаклене пене, чврстоћа на притисак, топлотна проводљивост узорака и расподела величине пора стаклене пене.

Поглавље **Резултати и дискусија** подељено је на четири дела. У **првом делу** приказани су и дискутовани резултати карактеризација сировина коришћених у овој докторској дисертацији. На основу резултата хемијске анализе и термомикроскопске анализе летећег пепела и отпадног амбалажног стакла изабрани су састави стакларских мешавина и дефинисани услови топлеења. Термомикроскопском анализом амбалажног стакла одређене су температуре фиксних тачака вискозности и постављена крива вискозности амбалажног стакла која је неопходна за одређивање оптималне температуре синтеровања праха за добијање стаклене пене. Термогравиметријском анализом је испитивано понашање при загревању чистог сатурационог муља и смеша отпадног амбалажног стакла са сатурационим муљем за добијање стаклене пене. На основу резултата је потврђено да реакционо разлагање сатурационог муља на честицама стакла доводи до снижења температуре разлагања  $\text{CaCO}_3$ . У **другом делу** је приказана карактеризација стакала на бази летећег пепела и отпадног амбалажног стакла са различитим додацима. Структурне карактеристике стакала одређене су деконволуцијом траке у интервалу од 800 до 1200  $\text{cm}^{-1}$  ФТИР спектра Одређен је удео везујућих и неvezујућих кисеоника и њихова расподела у тетраедрима градителјима стаклене мреже. Термомикроскопом су одређене температуре фиксних тачака вискозности, постављене криве вискозности растопа стакла и израчунате енергије активације вискозног тока. Енергије активације вискозног тока анализиране су на основу састава и структуре стакла, односно умрежености стакла, количине и врсте присутног оксида модификатора. Упоредном термомикроскопском и диференцијално-термијском анализом дефинисане су области синтер-кристализације, односно изабране су температуре синтеровања. Температуре синтеровања су одабране у близини температуре максималног скупљања, водећи рачуна да се избегне област интензивне кристализације која би неповољно утицала на својства синтерованих узорака. Резултати, анализа и дискусија резултата карактеризације синтерованих узорака стакала приказани су у **трећем делу**. На основу резултата одређивања запремине отворених пора, упијања воде и релативне порозности по ISO 10545-3:2018 методи утврђено је да су сви узорци добро синтеровани, са порозношћу у интервалу 0,16- 1,27 %. Идентификоване кристалне фазе одговарају кристалним фазама тројних дијаграма по Гинсбергу, Рашин-Четверикову и Лебедевој (*енг.* Ginsberg, Raschin–Tschetveritkov и Lebedeva). Примарне фазе биле су, у зависности од састава почетног стакла и услова синтеровања: нефелин и воластонит, нефелин, анортит, воластонит и геленит. На тврдоћу синтерованих узорака утиче: састав издвојених кристалних фаза, састав стакласте фазе и порозност. Најмању тврдоћу по Викерсу имао је узорак највеће порозности, код кога је примарна фаза нефелин. Највећу тврдоћу по Викерсу имали су узорци добијени синтеровањем стакала добијених само од отпадних материјала. Ови синтеровани узорци су били најмање порозности, а примарне фазе издвојене током синтеровања су: анортит и геленит. На отпорност на дејство кавитације синтерованих узорака утиче више фактора, као што су: стање површине (отворена порозност узорка), тврдоћа, жилавост, удео и природа кристалних фаза у узорку, итд. Највећу отпорност на дејство кавитације имао је синтеровани узорак стакла велике тврдоће, мале порозности и са анортитом као примарном издвојеном фазом током синтеровања. Најмању отпорност на дејство кавитације имао је синтеровани узорак стакла најмање тврдоће, највеће порозности и код кога је примарна фаза нефелин. Резултати испитивања хемијске постојаности показују да синтеровани узорци имају добру хемијску постојаност у дестилованој води, раствору 0,01 mol/dm<sup>3</sup> HCl и раствору 0,01

mol/dm<sup>3</sup> NaOH. За све услове испитивања, промена масе након растварања је била мања од 1%. Већу хемијску постојаност показали су узорци са примарним фазама анортит и волластонит. У **четвртном делу** приказани су и анализирани резултати добијања и карактеризације стаклене пене. РДА показала је да се повећањем удела средства за пењење и повећањем температуре синтеровања повећава удео кристалне фазе у узорку. Синтеровањем на 750 °C не долази до потпуног раста пора стаклене пене, при чему максималну порозност има узорак са 2,5 % CaCO<sub>3</sub>. Повећањем температуре синтеровања на 800 °C дошло је до веће експанзије стаклене пене, при чему је порозност узорка са 2,5 % CaCO<sub>3</sub> износила 92 %, а узорка са 5 % CaCO<sub>3</sub> 80 %; чврстоће на притисак су биле 0,63 МПа и 0,99 МПа, редом. Синтеровање на 850 °C и 900 °C није доводило до побољшања својстава стаклене пене. Топлотна проводљивост стаклене пене обрнуто је пропорционална укупној порозности. Најнижу топлотну проводљивост, 0,043 W/mK, имао је узорак највеће порозности, односно узорак са 2,5 % CaCO<sub>3</sub> синтерован на 800 °C.

У поглављу **Закључак** приказани су најважнији закључци изведени на основу експерименталних резултата изложених у претходним поглављима.

У поглављу **Литература** дате су све референце цитиране у раду.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Резултати истраживања Вељка В. Савића, мастер инжењера технологије, приказани у докторској дисертацији „Синтеза и карактеризација стакла и стаклокерамике на бази летећег пепела и отпадног стакла“ представљају значајан допринос истраживању добијања, карактеризације и примене стакластих и стаклокерамичких материјала од отпадних материјала. Рециклажа, циркуларна економија и смањење количине насталог отпада су један од кључних циљева данашњег друштва. Употреба отпадних материјала за добијање нових материјала заснива се на принципима циркуларне економије, јер истовремено смањује неповољан утицај на животну средину. Правилним избором састава почетног стакла на бази отпадних материјала и услова синтеровања, добијени су густе стаклокерамички материјали, велике тврдоће, отпорности на дејство кавитације (отпорност у екстремним хидродинамичким условима) и добре хемијске постојаности или порозни материјали (стаклене пене) термоизолационих својства упоредивих са комерцијално доступним термоизолационим производима.

Према томе, један правац истраживања је био добијање стакала различитих састава на бази летећег пепела и отпадног стакла и дефинисање услова синтеровања стакала за добијање густих стаклокерамичких материјала. Утврђен је утицај природе издвојене фазе на тврдоћу, отпорност на кавитацију и хемијску постојаност добијеног материјала. У циљу одређивања могуће примене синтерованих стакала добијених од отпадних материјала први пут је испитивана отпорност у екстремним хидродинамичким условима, односно, примењена је ултразвучна вибрациона метода.

Други правац истраживања се односио на дефинисање састава и услова синтеровања за добијање стаклене пене искључиво од отпадних материјала. У овом истраживању је сатурациони муљ први пут употребљен као средство за пењење за добијање стаклене пене. Резултати су показали да је сатурациони муљ адекватна замена за чист CaCO<sub>3</sub> који се користи за добијање неких стаклених пена.

На основу опсежног прегледа литературе, може се закључити да су истраживања у оквиру ове докторске дисертације оригинална, као и да се уклапају у светске трендове и указују на значај и актуелност проучавање проблематике.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру докторске дисертације цитиране су укупно 182 референце, које указују на актуелност истраживања у испитиваној области. Већина референци је публикована у последњој деценији и представља научне радове објављене у врхунским међународним часописима са тематиком значајном за израду докторске дисертације. Истраживања приказана у наведеним референцама су коришћена су за планирање експерименталног рада, анализу и тумачење резултата добијених током израде докторске дисертације и извођење закључака.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Стакла на бази отпадних материјала добијена су топљењем стакларских мешавина, а густе и порозне стаклокерамички материјали синтеровањем стакала. Хемијски састав летећег пепела, отпадног амбалажног стакла, добијених стакала и раствора након испитивања хемијске постојаности одређен је атомском апсорпционом спектроскопијом (ААС).

Структурне карактеристике стакла и стаклокермике пре и након растварања у различитим растворима одређене су инфрацрвеном спектроскопијом са Фуријеовом трансформацијом (ФТИР).

Крива скупљања стакла и температуре фиксних тачака вискозности одређене су на основу резултата термомикроскопске анализе. Комбинација диференцијално-скенирајуће калориметрије и термомикроскопске анализе је коришћена за одређивање синтерабилности праха стакла и дефинисање услова синтеровања. Термогравиметријска анализа (ТГ) је коришћена за одређивање температуре разлагања  $\text{CaCO}_3$  из сатурационог муља и меша отпадног стакла и сатурационог муља,

Рендгенском дифракционом анализом (РДА) потврђена је аморфност добијених стакала и идентификоване кристалне фазе у синтерованим узорцима.

Тврдоћа узорака одређена је методом по Викерсу. Отпорност на кавитацију синтерованих узорака одређена је ултразвучном вибрационом методом према ASTM G32 стандардној методи.

Скенирајућим електронским микроскопом (СЕМ) снимане су површине синтерованих узорака пре и након дејства кавитације.

Топлотна проводљивост узорака одређена је методом модификоване транзијентне равни извора топлоте према стандардној методи ASTM D7984-21.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Густе стаклокерамички материјали могу наћи примену у различитим областима индустрије и грађевинарства, где су неопходни материјали високе тврдоће и добре хемијске постојаности. У овој докторској дисертацији утврђен је утицај састава почетног стакла (садржаја градителја мреже, врсте и садржаја оксида модификатора, умрежености структуре) и услова синтеровања на својстава стаклокермике. Дефинисан је утицај издвојених фаза на тврдоћу, отпорност на дејство кавитације и хемијску постојаност, што пружа могућност добијања стаклокерамичких материјала жељених физичко-хемијских, механичких и структурних својстава. На основу резултата приказаних у оквиру ове докторске дисертације остварен је значајан допринос разјашњавању могућности добијања густих стаклокерамичких материјала, која имају добру отпорност на дејство кавитације.

Стаклене пене велике порозности могу се примењивати у грађевинској индустрији као термоизолациони материјал. Стаклена пена је добијена потпуно од отпадних материјала. Адекватном припремом и топлотном обрадом добијен је материјал који има упоредива својства са комерцијално доступним термоизолационим материјалима.

Резултати и закључци изнети у дисертацији значајни су за даљи развој и потенцијалну примену густих стаклокерамичких материјала и стаклокерамичких материјала велике порозности од отпадних материјала. Верификација остварених резултата дисертације постигнута је објављивањем радова у међународним часописима, као и саопштењима на међународним конференцијама.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Вељко В. Савић, мастер инжењер технологије, је током израде докторске дисертације показао самосталност и стручност у претраживању и коришћењу научне литературе, планирању и реализацији експеримента, обради и дискусији добијених резултата и припреми публикација. Током истраживања у потпуности је овладао великим бројем експерименталних техника и инструменталних метода. На основу досадашњег рада, поднете докторске дисертације и постигнутих резултата кандидата, Комисија је утврдила да кандидат поседује квалитете за самостални научно-истраживачки рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси резултата истраживања остварених у оквиру ове докторске дисертације у области добијања стаклстих или стаклокерамичких материјала на бази летећег пепела и отпадног амбалажног стакла огледају се у следећем:

- Дефинисани су састави и услови синтезе стакала на бази летећег пепела и отпадног стакла која се могу користити за добијање густих стаклокерамичких материјала.
- Утврђена су својства и структура стакала и утврђен утицај структурних карактеристика стакла на вискозност, синтерабилност и кристализацију стакла.
- Дефинисана је област синтеровања прахова стакала на бази летећег пепела и отпадног стакла у којој је могуће добијање густих стаклокерамичких материјала.
- Одређен је утицај састава кристалних и стаклстих фаза стаклокерاميце на физичко-механичка својства и хемијску постојаност.
- Утврђен је утицај физичко-механичких својстава, састава кристалних и стаклстих фаза стаклокерاميце на отпорност на дејство кавитације.
- Утврђен је састав и услови топлотне обраде смеше отпадног стакла и први пут употребљеног сатурационог муља при којима се добија стаклена пена оптималних својстава за практичну примену.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Резултати проистекли из ове докторске дисертације пружају значајне информације о синтези и својствима стакала на бази отпадних материјала (летећи пепео, отпадно амбалажно стакло и сатурациони муљ) и условима синтеровања за добијање густих или порозних стаклокерамичких материјала жељених механичких и хемијских својстава. Утврђивањем

утицаја састава кристалних и стаклстих фаза у густом стаклокерамичком материјалу на механичка и хемијска својства пружа се могућност добијања материјала жељених својстава. Практичан допринос представља добијање густих стаклокерамичких материјала искључиво од отпадних материјала чија су својстава упоредива са комерцијалном стаклокерамиком добијеном од природних сировина. Такође, у оквиру дисертације детаљно је анализиран утицај састава смеше отпадног амбалажног стакла и сатурационог муља и услова синтеровања на својства стаклокерамичких материјала велике порозности (стаклена пена). Утврђен је утицај садржаја сатурационог муља (средства за пењење) и температуре синтеровања на својства стаклене пене.. Адекватном припремом и топлотном обрадом добијен је стаклокерамички материјал велике порозности који има упоредива својства са комерцијално доступним термоизолационим материјалима.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Вељко В. Савић је резултате свог истраживања током израде ове дисертације потврдио објављивањем радова у часописима међународног значаја и саопштењима на научним скуповима међународног и националног значаја. Из ове докторске дисертације проистекли су следећи резултати:

Радови у истакнутим међународним часописима (категорија M22):

**1. Savić, V.,** Topalović, V., Nikolić, J., Jevtić, S., Manić, N., Komatina, M., Matijašević, S., Grujić, S.: Foam glasses made from green bottle glass and sugar beet factory lime as a foaming agent, - *Heliyon*, vol. 9, no. 7, e17664, 2023 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17664>. (IF=4,0) (Online ISSN: 2405-8440)

**2. Savić, V.,** Dojčinović, M., Topalović, V., Cvijović-Alagić, I., Stojanović, J., Matijašević, S., Grujić, S.: The effect of sintering temperature on cavitation erosion in glass–ceramics based on coal fly ash, -*International Journal of Environmental Science and Technology*, 2024 <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05411-9>. (IF=3,1) (Electronic ISSN: 1735-2630)

Национални часопис међународног значаја (категорија M24):

**1. Savić, V.,** Topalović, V., Matijašević, S., Nikolić, J., Grujić, S., Zildžović, S., Radulović, A.: “Chemical durability of sintered glass-composite prepared from glass cullet and waste foundry sand”, -*Metallurgical and Materials Engineering*, vol. 27, no. 1, pp. 105-115, 2021. <https://doi.org/10.30544/477> (ISSN: 2217-8961).

Саопштења са међународних скупова штампана у целини (категорија M33):

**1. Savić, V.,** Topalović, V., Matijašević, S., Nikolić, J., Zildžović, S., Smiljanić, S., Grujić, S.: “Production of glass-ceramics from coal fly ash and limestone”, *Proceedings of the XIII International Mineral Processing and Recycling Conference - (XIII IMPRC)*, Belgrade, Serbia, 2019., pp. 135-140.

**2. Savić, V.,** Matijašević, S., Topalović, V., Nikolić, J., Smiljanić, S., Zildžović, S., Grujić, S.: “Effect of sintering temperature on the compressive strength and microstructure of glass foam made

from waste materials”, *Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry 2021*, Belgrade, Serbia, 2021, pp. 430-433.

3. Savić, V., Topalović, V., Nikolić, J., Matijašević, S., Zildžović, S., Grujić, S., Smiljanić, S.: “Dissolution of glass made from coal fly ash, glass cullet and calcium carbonate”, *Proceedings of the XIV International Mineral Processing and Recycling Conference-IMP RC*, Belgrade, Serbia, 2021, pp. 357-362.

4. Savić, V., Topalović, V., Nikolić, J., Matijašević, S., Zildžović, S., Grujić, S.: “Sinter-crystallization of coal fly ash based glass”, *Proceedings of the 53<sup>th</sup> International October Conference on Mining and Metallurgy-IOCMM 2022*, Bor, Serbia, 2022., pp. 101-104.

5. Savić, V., Topalović, V., Nikolić, J., Matijašević, S., Došić, M., Zildžović, S., Grujić, S.: “Recycling of glass waste into foam glass: A review”, *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference Mining and Environmental Protection MEP-23*, Sokobanja, Serbia, 2023., pp 267-272.

Саопштења са међународних скупова штампана у изводу (Категорија М34):

1. Savić, V., Topalović, V., Matijašević, S., Nikolić, J., Zildžović, S., Smiljanić, S., Grujić, S.: “Corrosion of coal fly ash glass”, *ADVANCED CERAMICS AND APPLICATION VIII New Frontiers in Multifunctional Material Science and Processing*, 2019, Belgrade, Serbia, 2019., pp. 59.

2. Savić, V., Topalović, V., Nikolić, J., Došić, M., Matijašević, S., Grujić, S.: “Recycling of flat glass for glass foam production”, *BOOK OF ABSTRACTS OF THE TWENTY-FOURTH ANNUAL CONFERENCE YUCOMAT 2023*, Herceg-Novi, Montenegro, 2023, pp. 98.

## 5. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма iThenticate којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „Синтеза и карактеризација стакла и стаклокерамике на бази летећег пепела и отпадног стакла“, аутора Вељка В. Савића, утврђено је да подударане текста износи 7%. Овај степен подударности последица је преклапања општих места, личних имена и назива, навода слика и табела, дефиниција, устаљених фраза и стручних термина и израза. На основу свега изнетог, а у складу са чланом

8. став 2., Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

## 6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега напред изнетог, Комисија сматра да докторска дисертација Вељка В. Савића, мастер инжењера технологије, под називом: **“Синтеза и карактеризација стакла и стаклокерамике на бази летећег пепела и отпадног стакла”** представља значајан и оригинални научни и практични допринос у области Технолошког инжењерства, ужа област Хемијско инжењерство, што је потврђено објављивањем радова у међународним часописима и саопштавањем већег броја радова на међународним скуповима.

Комисија је установила да је докторска дисертација написана према упутству Универзитета у Београду и мишљења је да испуњава све захтеване критеријуме, као и да је кандидат током израде докторске дисертације показао научно-истраживачку способност, самосталност у раду и креативност у свим фазама истраживања и израде дисертације.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих резултата, Комисија предлаже да се овај Реферат заједно са поднетом докторском дисертацијом под називом: **“Синтеза и карактеризација стакла и стаклокерамике на бази летећег пепела и отпадног стакла”** изложи на увид јавности и да након законски предвиђеног рока Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду прихвати овај Реферат и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, те да након завршетка ове процедуре позове кандидата на усмену одбрану дисертације пред Комисијом за одбрану докторске дисертације.

У Београду, 26. 2. 2024.

#### **ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ ЗА ОЦЕНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

.....  
Др Рада Петровић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....  
Др Марина Дојчиновић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....  
Др Сања Јевтић, доцент  
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....  
Др Јелена Николић, виши научни сарадник  
Институт за технологију нуклеарних и  
других минералних сировина

.....  
Др Даниела Поповић, виши научни сарадник  
Иновациони центар Технолошко-металуршког факултета