

Факултет Технолошко-металуршки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/220
(Број захтева)
29. 8. 2025.
(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 чл. 48 ст. 5 тач. 3) Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“ бр. 201/2018, 207/2019, 213/2020, 214/2020, 217/2020, 230/21, 232/22, 233/22 и 236/22), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације::

КАНДИДАТ **Јелена (Мирослав) Ракић**
(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму: **Инжењерство материјала**

пријавио је докторску дисертацију под називом:

Утицај хемијских активатора на својства везива са високим уделом механички активираног електрофилтерског пепела

из научне области: **Технолошко инжењерство**
Универзитет је дана 24. 8. 2020. својим актом под бр. 61206-2523/2-20 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

Утицај хемијских активатора на својства везива са високим уделом механички активираног електрофилтерског пепела

Име и презиме ментора: др Весна Радојевић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет
Име и презиме ментора 2: др Звездана Башчаревић, научни сарадник Универзитета у Београду, Институт за мултидисциплинарна истраживања

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној 27. 5. 2025. одлуком факултета под бр. 35/124, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Рада Петровић	редовни професор	Инжењерство неорганских хемијских производа	ТМФ
2.	Др Јелена Царевић	доцент	Бетонске конструкције	Грађевински факултет
3.	Др Радмила Јанчић-Heinemann	редовни професор	Инжењерство материјала	ТМФ

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности 4. 7. 2025.

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана 28. 8. 2025.

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној **28. 8. 2025.**

одлуком факултета под бр. 35/220, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Рада Петровић	редовни професор	Инжењерство неорганских хемијских производа	ТМФ
2.	Др Јелена Царевић	доцент	Бетонске конструкције	Грађевински факултет
3.	Др Радмила Јанчић-Heinemann	редовни професор	Инжењерство материјала	ТМФ

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

Студент је уписан на докторске студије школске 2015/2016. године.

На захтев студента, у складу са Статутом Универзитета у Београду и Статутом Факултета, декан је донео Решење бр. 20/72 од 29. 9. 2021. године о продужењу рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до краја школске 2023/2024. године.

На захтев студента, у складу са Статутом Универзитета у Београду и Статутом Факултета, декан је донео Решење бр. 20/196 од 22. 12. 2023. године о мировању права и обавеза студента у шк. 2023/24. године.

На захтев студента, у складу са Статутом Универзитета у Београду и Статутом Факултета, декан је донео Решење бр. 20/235 од 29. 10. 2024. године о продужењу рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до краја школске 2024/2025. године.

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

др Мирјана Кијевчанин, 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

Бр. 20/72

29. 09. 2021

год.

БЕОГРАД

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду (*“Гласник Универзитета у Београду бр. 201/2018”*) и члана 76., став 1 и став 4 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 ЈЕЛЕНИ РАКИЋ, број индекса 4021/2015, уписаном-ој у прву годину докторских академских студија школске 2015/2016. године продужава се рок за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до краја школске 2023/2024. године.

Поука о правном леку:

Против овог решења именовани-а може поднети жалбу Савету Факултета у року од 8 дана од дана пријема решења

Доставити:

- Студенту;
- Служби за студентска питања;
- Општој служби – архиви.

ДЕКАН

проф. др Петар Ускоковић





Република Србија
Универзитет у Београду
Технолошко-металуршки факултет

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ

Бр. 20/196
22 DEC 2023 год.
БЕОГРАД

На основу чл. 100. Статута Универзитета и чл. 75. Статута Технолошко-металуршког факултета, а на лични захтев студента, доноси се

РЕШЕЊЕ

Усваја се захтев који је упутио, **Јелена Ракић**, студент ДАС, број индекса 2015/4021, и одобрава мировање права и обавеза у школској 2023/2024. години, на основу приложених докумената.



Проф. др Петар Ускоковић



Република Србија
Универзитет у Београду
Технолошко-металуршки факултет

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ

Бр. 20/235
29 OCT 2024

_____ 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 **Јелена Ракић**, број индекса 2015/4021, уписана у прву годину докторских академских студија школске 2015/2016 године продужава се рок за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до 30.09.2025 године, с обзиром да је студент у шк. 2023/24. години био у статусу мировања права и обавеза.

Декан
Петар Ускоковић
Проф. др Петар Ускоковић



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. 41. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 28. 8. 2025. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Извештаја о оцени докторске дисертације

Прихвата се Извештај Комисије у саставу: др Рада Петровић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Јелена Царевић, доцент Универзитета у Београду, Грађевински факултет и др Радмила Јанчић-Heinemann, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: „**Утицај хемијских активатора на својства везива са високим уделом механички активираниог електрофилтерског пепела**“ коју је поднела **Јелена Ракић**, 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 Јелене Ракић, под називом „**Утицај хемијских активатора на својства везива са високим уделом механички активираниог електрофилтерског пепела**“ Одлуком број: 61206-2523/2-20 од 24. 8. 2020. године.

Верификација научних доприноса:

Категорија M21a:

1. **Rakić J.**, Petrović R., Radojević V., Bašćarević Z. (2024). Use of sodium oxalate and calcium formate for chemical activation of high volume fly ash (HVFA) binders. *Journal of Building Engineering*, 91, 109666. (IF = 6,7) (ISSN 2352-7102) (<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109666>),
2. **Rakić J.**, Petrović R., Radojević V., Bašćarević Z. (2023), Effects of selected inorganic chemical activators on properties and hydration mechanism of high volume fly ash (HVFA) binders, *Construction and Building Materials*, 391, 131833. (IF = 7,4) (ISSN 0950-0618) (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131833>)

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

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

ДV

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. 41. и 42. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 28. 8. 2025. године, донета је

О Д Л У К А

о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације

Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације **Јелене Ракић**, мастер инжењера технологије, са темом под називом „**Утицај хемијских активатора на својства везива са високим уделом механички активираног електрофилтерског пепела**“, у саставу:

1. Др Рада Петровић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
2. Др Јелена Царевић, доцент Универзитета у Београду, Грађевински факултет,
3. Др Радмила Јанчић Хајнеман, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

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

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Јелене М. Ракић, мастер инжењера технологије

Одлуком бр. 2025-35/124 од 27.05.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидаткиње Јелене М. Ракић под насловом „Утицај хемијских активатора на својства везива са високим уделом механички активираниог електрофилтерског пепела“.

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидаткињом, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Школске 2015/2016. године Јелена М. Ракић, мастер инжењер технологије, уписала је докторске академске студије на студијском програму Инжењерство материјала, на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду.

12. јуна 2020. године – Кандидаткиња Јелена М. Ракић предложила је тему докторске дисертације под називом: „Утицај хемијских активатора на својства везива са високим уделом механички активираниог електрофилтерског пепела“.

25. јуна 2020. године – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је одлука бр. 35/192 о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидаткиње Јелене М. Ракић, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Утицај хемијских активатора на својства везива са високим уделом механички активираниог електрофилтерског пепела“.

16. јула 2020. године – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је одлука бр. 35/214 о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме под називом: „Утицај хемијских активатора на својства везива са високим уделом механички активираниог електрофилтерског пепела“ и кандидаткиње Јелене М. Ракић, мастер инж. технологије, за израду докторске дисертације. За менторе ове докторске дисертације именоване су др Весна Радојевић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Звездана Башчаревић, научни сарадник Института за мултидисциплинарна истраживања Универзитета у Београду.

24. августа 2020. године – На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду донета је одлука бр. 61206-2523/2-20 о давању сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације Јелене Ракић, под називом: „Утицај хемијских активатора на својства везива са високим уделом механички активираниог електрофилтерског пепела“ и одређивању проф. др Весне Радојевић и др Звездане Башчаревић за менторе.

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 76. Статута Универзитета у Београду Технолошко-металуршког факултета и захтева студенткиње одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до краја школске 2024/2025. год., будући да је на основу увида у поднету документацију кандидаткиња била у статусу мировања школске 2023/2024. године.

27. маја 2025. године – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је одлука бр. 2025-35/124 о именовању Комисије за оцену докторске дисертације Јелене М. Ракић, под називом „Утицај хемијских активатора на својства везива са високим уделом механички активiranог електрофилтерског пепела“ у саставу: др Рада Петровић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, др Јелена Царевић, доцент Грађевинског факултета Универзитета у Београду и др Радмила Јанчић-Heinemann, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа област Инжењерство материјала, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментори, др Весна Радојевић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, и др Звездана Башчаревић, виши научни сарадник Института за мултидисциплинарна истраживања Универзитета у Београду, на основу свог научног искуства и објављених научних радова компетентне су да руководе израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Јелена М. Ракић је рођена 24. јула 1987. год. у Краљеву, где је завршила основну и средњу школу. Технолошко-металуршки факултет у Београду уписала је 2006. год. на Катедри за хемијско инжењерство, изборно подручје Контрола квалитета. Дипломирала је 2010. год. са просечном оценом 8,28. Током 2011. год. била је запослена у лабораторији за хемијску анализу „Анахем“ у Београду као хемијски аналитичар. Школске 2011/2012. год. уписала је и завршила мастер академске студије на Технолошко-металуршком факултету у Београду, изборно подручје Контрола квалитета, са просечном оценом 9,88. Од 2013. до 2015. год. била је запослена у грађевинској фирми „Велестрој“ у Руској Федерацији као инжењер у лабораторији за контролу квалитета грађевинских материјала.

Докторске академске студије уписала је школске 2015/2016. год. на Технолошко-металуршком факултету у Београду, студијски програм Инжењерство материјала. Положила је све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 9,91. Од 2017. до 2019. год. била је ангажована као спољни сарадник у Институту за мултидисциплинарна истраживања Универзитета у Београду, где је и запослена од децембра 2019. год. У звање истраживач-приправник изабрана је 1. новембра 2017. год., а у звање истраживач-сарадник 1. децембра 2020. год. Учествовала је у реализацији пројеката: E!9980 „Иновативна примена локалног индустријског отпада у индустрији грађевинских материјала/ Innovative use of local by-products for environmentally friendly construction products“, из ЕУРЕКА програма, TP34026 „Геополимери - Развој технологије за конверзију индустријског отпада у функционалне материјале“, финансираног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, и SPS 985402 (G5402) „Побољшана сигурност кроз безбеднију цементацију опасних отпада/Improved security through safer cementation of hazardous waste“, из НАТО програма: Наука за мир и сигурност.

Члан је Друштва за керамичке материјале Србије. Говори течно енглески, а служи се и руским језиком.

Јелена М. Ракић је аутор и коаутор укупно 13 радова који су публиковани у научним часописима и саопштени на научним скуповима. Од тога, два рада су објављена у водећим међународним часописима, један рад у националном часопису, а од десет саопштења са међународних скупова, три су штампана у целини, а седам у изводу.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Јелене М. Ракић под називом: „Утицај хемијских активатора на својства везива са високим уделом механички активiranог електрофилтерског пепела“ написана је на 104 нумерисане стране, у оквиру којих се налази 57 слика, 12 табела и 231 литературни навод. Докторска дисертација садржи следећа поглавља: Увод, Теоријски део, Експериментални део,

Резултати и дискусија, Закључци и Литература. Поред тога, дисертација садржи Захвалницу, Сажетак на српском и енглеском језику, Листу скраћеница и Садржај. На крају дисертације дата је Биографија аутора, као и Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада, Изјава о коришћењу и Оцена извештаја о провери оригиналности докторске дисертације. По својој структури и садржају, докторска дисертација Јелене Ракић задовољава стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У поглављу Увод представљена је проблематика недовољног искоришћења отпадног материјала из термоелектрана - електрофилтерског пепела (ЕФП), као и штетних последица производње портланд цемента (ПЦ) на животну средину. Наведене су могућности примене ЕФП, примарно у грађевинарству. У том контексту, истакнут је значај везива са високим уделом ЕФП (ВВУЕФП) као потенцијалне одрживе алтернативе за ПЦ. Поред еколошких и економских предности ВВУЕФП наведени су и недостаци који ограничавају њихову ширу примену, пре свега дуго време везивања и мале почетне чврстоће. Изложена су могућа решења овог проблема у виду повећања реактивности ЕФП применом механичке активације ЕФП и хемијске активације везива. На крају овог поглавља, набројани су основни научни циљеви дисертације.

У Теоријском делу дат је детаљан литературни преглед области истраживања докторске дисертације. Ово поглавље подељено је на шест потпоглавља. У првом потпоглављу дефинисани су појам и начин настанка ЕФП. Анализирана је актуелна примена ЕФП и истакнут проблем малог искоришћења ЕФП на глобалном нивоу. У другом потпоглављу Теоријског дела описани су производња, састав и класификација ПЦ и детаљно је објашњен процес хидратације ПЦ. Затим су наведени конкретни узроци штетног утицаја производње ПЦ на животну средину, који се примарно огледа у емисији огромних количина CO_2 у атмосферу. Приказана су нека од решења овог еколошког проблема. Међу решењима наведено је смањење удела клинкера у цементу и коришћење алтернативних сировина, које је у трећем потпоглављу Теоријског дела детаљно описано кроз примену ЕФП у индустрији грађевинских материјала. Приказана је класификација ЕФП и критеријуми који морају бити испуњени како би се одређени узорак ЕФП користио као додатак цементу и/или бетону и дат је преглед везива у чији састав улази ЕФП. У четвртом потпоглављу анализирана су претходна истраживања везива са високим уделом ЕФП и описани су њихова синтеза и својства. Истакнута је слаба реактивност ЕФП чије су последице лоша почетна својства ВВУЕФП, односно дуго време везивања и мале почетне чврстоће. Дат је детаљан увид у процес хидратације ВВУЕФП и наведене су методе које се користе за изучавање механизма хидратације везива. У петом потпоглављу Теоријског дела описане су две методе активације које би се могле користити за повећање реактивности ЕФП у ВВУЕФП – механичке активације ЕФП и хемијске активације везива. Будући да се механичком активацијом постиже смањење величина честица и повећање специфичне површине ЕФП, анализиран је утицај ова два параметра на својства ВВУЕФП. Описан је принцип рада планетарног млина коришћеног за механичку активацију ЕФП у оквиру дисертације. У делу о хемијској активацији ВВУЕФП дати су релевантни литературни подаци о неколико хемијских активатора, најчешће коришћених у синтези ВВУЕФП, чијом применом се убрзава почетак реакције ЕФП у везиву. На крају Теоријског дела, у шестом потпоглављу, образложени су предмет и основни научни циљеви докторске дисертације. Истакнуто је да су у претходним истраживањима, у којима је приликом синтезе ВВУЕФП примењена комбинације поступака хемијске и механичке активације, испитивана везива која су садржала 50 мас.% ЕФП, и да је коришћен релативно мали број активатора, најчешће сулфати и карбонати алкалних метала. Такође, наглашено је да у доступној литератури нема података да је за синтезу ВВУЕФП коришћена комбинација поступака механичке активације ЕФП и хемијске активације применом натријум-силиката, натријум-оксалата и калцијум-формијата као хемијских активатора. Сумирано је да би резултати добијени у оквиру ове дисертације требало да дају детаљнији увид у утицај примене комбинације поступака механичке активације ЕФП и хемијске активације ВВУЕФП на својства и механизам хидратације везива са вишим уделом ЕФП (70 мас.%), као и опсежну анализу утицаја различитих активатора.

Поглавље Експериментални део подељено је у три потпоглавља. У првом потпоглављу описан је поступак оптимизације механичке активације ЕФП. Наведени су полазни материјали и описани су услови под којима су узорци ЕФП механички активирани, као и услови синтезе везива на бази полазних

и механички активираних узорака ЕФП (МАОФП). Оптимизација механичке активације ЕФП била је заснована на испитивању физичко-хемијских својстава узорака МАОФП млевених при различитим односима кугле/ЕФП у планетарном млину током 15 минута. У другом потпоглављу набројани су коришћени хемијски активатори, три соли неорганских киселина (натријум-сулфат, натријум-карбонат и натријум-силикат) и две соли органских киселина (натријум-оксалат и калцијум-формијат) и описана оптимизација њихове концентрације, заснована на одређивању времена везивања пасти ВВУЕФП. Описана је синтеза ВВУЕФП (70 мас.% ЕФП/МАОФП и 30 мас.% ПЦ), са и без додатка хемијских активатора. У трећем потпоглављу дат је преглед инструменталних метода и услова рада инструмената коришћених у истраживању.

У поглављу Резултати и дискусија приказани су резултати добијени у оквиру рада на овој дисертацији, и дата је њихова анализа и дискусија, као и поређење са подацима из литературе. Ово поглавље подељено је на четири потпоглавља. Резултати карактеризације полазних материјала, три узорка ЕФП и два узорка ПЦ, дати су у првом потпоглављу. У другом потпоглављу приказани су и дискутовани резултати испитивања физичко-хемијских својстава механички активираних узорака ЕФП. Чврстоће при притиску везива синтетисаних са МАОФП коришћене су као показатељи реактивности узорака МАОФП. Закључено је да је млевање при односу кугле/ЕФП 3 оптимално за постизање значајног побољшања својстава и повећања реактивности ЕФП, уз минимални утрошак времена и енергије. У трећем потпоглављу дати су резултати карактеризације везива са високим уделом механички активираних ЕФП, синтетисаних са и без додатка одабраних хемијских активатора. Упоредна су и својства везива синтетисаних са полазним ЕФП и са МАОФП и потврђен је изразито позитиван утицај примене поступка механичке активације на својства ВВУЕФП. Установљено је да примена само механичке активације ЕФП није довољна за добијање ВВУЕФП чија су почетна својства упоредива са својствима прописаним стандардима за комерцијалне цементе, што је указало на неопходност примене хемијске активације. Показано је да сви коришћени хемијски активатори, у примењеним концентрацијама, доводе до сличног скраћења времена везивања пасти и убрзања кинетике хидратације ВВУЕФП, нарочито током прва два дана. Такође, константовано је да примена свих активатора, у мањој или већој мери, доводи до повећања почетних чврстоћа везива, али и до успоравања развоја чврстоће малтера ВВУЕФП у каснијем периоду. Уочена је линеарна зависност између топлоте хидратације ослобођене након два дана неговања и почетних чврстоћа везива активираних солима неорганских киселина. Такође, указано је и на експоненцијалну зависност између топлоте хидратације ослобођене након два дана неговања и пораста чврстоће између 2. и 28. дана хидратације везива активираних солима неорганских киселина. Установљено је да, осим калцијум-формијата, сви активатори доводе до повећања рН вредности раствора у порам везива у почетном периоду хидратације, као и до повећања концентрације силицијума и алуминијума у раствору у порам везива, услед интензивнијег растварања полазних материјала. Истакнуто је да додаток хемијских активатора није узроковао значајне промене састава производа хидратације ВВУЕФП, анализираних рендгенском фазном, термогравиметријском и анализом микроструктуре везива, али је установљено да је додаток натријум-силката и калцијум-формијата довео до настанка хомогеније структуре везива. Утврђено је да у хемијски активираним везивима раније долази до потрошње портландита, односно до почетка пуцоланске реакције. У четвртном потпоглављу дат је преглед утицаја сваког од коришћених хемијских активатора на својства и механизам хидратације везива са високим уделом МАОФП, а затим је приказана и упоредна анализа активатора. Додаци натријум-сулфата, натријум-карбоната, натријум-силката и натријум-оксалата везиву са високим уделом МАОФП на сличан начин утичу на механизам хидратације везива. Као производи реакције соли натријума са портландитом настају тешко растворне соли калцијума и натријум-хидроксид. Таложење насталих соли смањује концентрацију јона калцијума у раствору у порам, што доводи до убрзавања хидратације клинкер минерала. Ослобођени натријум-хидроксид повећава базност раствора у порам што убрзава реакције обе компоненте везива. Брже одвијање реакција хидратације ВВУЕФП у почетном периоду доводи до скраћења времена везивања и повећања почетних чврстоћа (после 2 и 7 дана неговања). Међутим, производи, настали убрзаним реакцијама хидратације активираних везива током првих дана неговања, таложе се на површину непрореагованих честица, заузимају простор за даљи раст хидрата и отежавају контакт непрореагованих честица са раствором у порам, а тиме и даљу хидратацију везива. Као последица успорене хидратације, пораст чврстоће активираних везива био је релативно мали после првих 7 дана неговања, па је чврстоћа хемијски активираних везива била мања од чврстоће неактивираних везива после 28 и 90 дана неговања. Установљено је да су активатори који су довели до највећег почетног повећања базности раствора у порам узроковали и најспорији развој чврстоће у каснијем периоду

хидратације. Иако су примењене соли натријума као активатори показале сличан општи утицај на механизам хидратације ВВУЕФП, код сваке од њих уочене су и специфичне разлике у деловању. Реакција алуминатне фазе била је најинтензивнија у везиву активаном натријум-сулфатом, услед веће концентрације сулфатних јона у везиву. У везиву активаном натријум-карбонатом измерен је највећи садржај портландита у каснијем периоду, што је указало на мали интензитет одигравања пуцоланске реакције у овом везиву у каснијем периоду. Као могући разлог томе наведена је смањена растворљивост портландита у раствору високе рН вредности каква је измерена у раствору у порама везива активаног применом натријум-карбоната у каснијем периоду хидратације. Механизам хидратације везива активаног применом натријум-силиката као активатора био је најсличнији механизму хидратације неактиваног везива, што је приписано чињеници да се применом Na_2SiO_3 као хемијског активатора у састав везива не уводи ниједан нови анјон, а као производ реакције са портландитом настаје калцијум-силикат који је по саставу сличан производима хидратације ПЦ. За примену натријум-оксалата као хемијског активатора у синтези ВВУЕФП било је карактеристично значајно повећање почетних чврстоћа, али и најранија појава негативног утицаја активатора на брзину хидратације и развој чврстоће у каснијем периоду. То је објашњено изразитим убрзавањем почетних реакција ПЦ и ЕФП у везиву активаном применом натријум-оксалата, као резултата највиших рН вредности раствора у порама и настанка тешко растворног вевелита (калцијум-оксалат-монохидрат). Хидратација клинкер минерала у каснијем периоду била је најспорија у овом везиву, што је за последицу имало и успорено настајање портландита, а самим тим и успорену пуцоланску реакцију у везиву. Додатак калцијум-формијата као активатора значајно је убрзао хидратацију ПЦ током првих седам дана неговања ВВУЕФП, а узрок споријег одвијања реакција хидратације и споријег пораста чврстоће овог везива у периоду после првих 7 дана највероватније је била недовољна количина клинкер минерала у везиву, односно мали удео ПЦ као компоненте у ВВУЕФП.

У поглављу Закључак сумирани су и прегледно наведени најрелевантнији резултати и закључци проистекли из испитивања представљених у претходним поглављима.

Литература обухвата укупно 231 референцу цитирану у докторској дисертацији. Наведене референце обухватају релевантне радове, књиге и друге изворе који су из области истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Савремени токови у области грађевинских материјала усмерени су ка проналажењу еколошки прихватљивих и технолошки ефикасних решења која доприносе смањењу негативног утицаја грађевинске индустрије на животну средину. Посебна пажња посвећује се примени отпадних материјала као што је ЕФП, чије депоновање представља еколошки и економски проблем. Упркос великом потенцијалу за примену у цементној индустрији, релативно слаба реактивност ограничава употребу ЕФП у већем обиму. Према важећим стандардима, удео ЕФП у цементу је ограничен на максималних 55 мас.%. Везива са високим уделом ЕФП (≥ 50 мас.% ЕФП) карактеришу дуго време везивања и мале почетне чврстоће, што негативно утиче на њихову практичну примену и тржишну конкурентност у односу на традиционалне цементе. Шира примена ВВУЕФП у грађевинарству имала би велики еколошки значај, будући да би довела до смањења депонованих количина ЕФП и смањења негативног утицаја цементне индустрије на животну средину, што је у складу са савременим друштвеним тенденцијама у правцу одрживог развоја, као што је стратегија „План пута до 2050“ (*CEMBUREAU Roadmap 2050*) чији је циљ угљенична неутралност Европе до 2050. године.

Из наведених разлога, бројна научна истраживања усмерена су ка проналажењу ефикасних метода повећања реактивности ЕФП. У доступној литератури, за повећање реактивности ЕФП коришћене су методе механичке активације, хемијске активације, термичке активације и комбинације наведених метода. При том, највише се истражују механичка активација ЕФП и хемијска активација везива. Механички се ЕФП активира најчешће млевењем ЕФП у различитим врстама млинова, са циљем ефикасног смањења димензија честица и повећања специфичне површине ЕФП. При хемијској активацији, везиву се додају хемијски активатори који убрзавају реакције хидратације и могу бити јако базни раствори или умерено базне соли. Захваљујући већој безбедности при руковању, последњих година предност се даје испитивању везива хемијски активираних применом умерено базних соли.

Резултати релативно малог броја радова у којима је за повећање реактивности ЕФП коришћена комбинација механичке активације ЕФП и хемијске активације ВВУЕФП указали су да је ефекат примене комбинације метода активације на реактивност ЕФП већи у односу на ефекат примене појединачних метода.

У оквиру ове дисертације, систематично је испитан утицај механичке и хемијске активације на својстава ВВУЕФП, при чему је посебна пажња посвећена побољшању почетних својстава везива, односно скраћењу времена везивања и повећању почетних чврстоћа везива. Савременим техникама детаљно су анализирани кинетика хидратације, састав раствора у порама, састав производа хидратације и микроструктура пасти везива, а на основу добијених резултата изведени су закључци о утицају примењених метода активације на механизам хидратације ВВУЕФП. Оригиналност рада огледа се у интегрисаном приступу који обједињује две методе активације, као и у свеобухватној анализи утицаја примењених метода на механизам хидратације и својства ВВУЕФП. У доступној литератури оптимизација поступка механичке активације се најчешће заснива на анализама утицаја времена млевења ЕФП на својства материјала. Оптимизација односа кугле/ЕФП у овом раду допринела је повећању ефикасности поступка млевења. Нарочит допринос ове дисертације огледа се у анализи утицаја натријум-силиката, натријум-оксалата и калцијум-формијата на механизам хидратације. Ови активатори су по први пут коришћени за хемијску активацију везива са високим уделом механички активираних ЕФП.

На основу примењених метода и резултата остварених у овој докторској дисертацији, као и на основу детаљно анализираних литературе, закључено је да су истраживања спроведена у оквиру ове докторске дисертације актуелна и оригинална.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији је дат свеобухватан и критички осврт на научну и стручну литературу, која се односи на тематску област дисертације. Наведен је укупно 231 библиографски извор, што је омогућило детаљну разраду теоријских основа, идентификацију постојећих изазова и аргументовано сагледавање резултата добијених експерименталним истраживањем. Коришћена литература обухвата значајне оригиналне научне и прегледне радове објављене у еминентним међународним часописима, као и релевантне докторске дисертације, монографије и важеће стандарде. Кроз анализу савремених сазнања и постојећих решења дефинисан је оквир и постављени су истраживачки правци на којима се темељи ова докторска дисертација. Сагледавањем теме, структуре литературе и објављених научних радова кандидаткиње, јасно је уочљив висок ниво познавања ужег истраживачког подручја, као и разумевање актуелних научних токова у овој области.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру ове докторске дисертације, коришћене су одговарајуће оригиналне или, из доступне литературе, модификоване методе за синтезу ВВУЕФП, као и савремене експерименталне технике за карактеризацију полазних материјала, узорака МАЕФП и синтетисаних везива. Хемијски састав полазних узорака ЕФП и ПЦ одређен је методом енергетско-дисперзивне рендгенско-флуоресцентне спектрофотометрије. Расподела величина честица полазних и механички активираних узорака ЕФП одређена је методом дифракције ласерске светлости. Специфична површина, запремина и расподела величина пора узорака ЕФП одређене су методом адсорпције-десорпције азота. Специфична површина узорака израчуната је коришћењем Брунауер-Емет-Телер-ове (*енгл.* Brunauer-Emmett-Teller - BET) једначине, а укупна запремина пора одређена је по методи Барет-Џојнер-Халенда (*енгл.* Barrett, Joyner, Halenda, BJH method). Садржај реактивног SiO₂ одређен је у складу са препорукама датим у SRPS EN 197-1:2013 и SRPS EN 196-2:2015. За брзу процену реактивности и применљивости ЕФП као сировине за производњу грађевинских материјала коришћена је метода одређивања растворљивости ЕФП у алкалном раствору (7М NaOH), релативно добро позната у научној и стручној литератури. Концентрације елемената растворених у алкалном раствору одређене су оптичком емисионом спектрометријом са индуковано спрегнутом плазмом (ОЕС-ИСП). Минералозна карактеризација ПЦ, полазних и механички активираних узорака ЕФП, као и синтетисаних везива, извршена је рендгенском фазном анализом. За испитивање микроструктуре узорака ЕФП и МАЕФП и пасти ВВУЕФП примењена је метода скенирајуће електронске микроскопије (СЕМ). Реактивност узорака пепела

процењена је на основу одређивања индекса активности, чврстоће при притиску везива малтера ВВУЕФП (70 мас.% ЕФП/МАЕФП и 30 мас.% ПЦ) и чврстоће малтера геополимера. Конзистенција свежих малтера ВВУЕФП одређена је на основу распрострања на потресном столу према SRPS EN 1015-3:2008. Чврстоће при притиску малтера одређене су према препорукама датим у SRPS EN 196-1:2017. Кинетика хидратације везива праћена је методом изотермалне калориметрије. Време везивања пасти везива одређено је у складу са поступком описаним у SRPS EN 196-3:2017. рН вредности раствора у порама пасти мерене су директно у суспензији пасти, у складу са методом развијеном у оквиру претходног истраживања. Концентрације Са, Si и Al у раствору у порама везива одређене су методом ОЕС-ИСП. За испитивање минералног састава везива коришћена је рендгенска фазна анализа, а за испитивање микроструктуре везива скеинрајућа електронска микроскопија (СЕМ), у комбинацији са енергетски дисперзивном спектроскопијом (СЕМ-ЕДС). За одређивање садржаја везане воде и портландита у пастама везива коришћена је термогравиметријска анализа (ТГА).

3.4. Применљивост остварених резултата

На основу до сада објављених резултата претходних истраживања, као и резултата проистеклих из ове докторске дисертације, закључено је да је остварен значајан научни допринос у области развоја нових везива на бази отпадног материјала – ЕФП. Поред научног, резултати ове дисертације могу имати велики практични значај, јер указују на могућност примене испитиваних везива као алтернативе портланд цементу. Захваљујући томе, може се рећи да су истраживања спроведена у оквиру ове дисертације у складу са са принципима циркуларне економије, односно доприносе смањењу негативаног утицаја производње и потрошње на животну средину, очувању природних ресурса и подстицају економски раст кроз иновације и ефикасно коришћење сировина.

Резултати ове дисертације су показали да се применом механичке активације ЕФП у комбинацији са хемијском активацијом везива превазилазе основни недостаци ВВУЕФП, конкретно дуго време везивања и мале почетне чврстоће, који тренутно највише ограничавају масовнију употребу ових везива. У раду је указано и на то да хемијска активација ВВУЕФП може у мањој или већој мери негативно утицати на развој чврстоће везива у каснијем периоду, при чему је истакнуто који од коришћених активатора имају најмање негативан утицај. На основу тога се може закључити да би се синтетисана везива могла користити за производњу бетонских елемената за које није захтевана велика крајња чврстоћа.

Коначно, значај резултата истраживања ове докторске дисертације огледа се и у чињеници да су објављени у водећим међународним часописима.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације, кандидаткиња Јелена М. Ракић, мастер инжењер технологије, показала је посвећеност научно-истраживачком раду, самосталност у планирању и спровођењу експеримената, стручност приликом извођења инструменталних метода анализе, као и при обради и тумачењу добијених резултата. На основу досадашњег залагања и постигнутих резултата, Комисија сматра да кандидаткиња поседује квалитете неопходне за самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Најзначајнији научни доприноси ове докторске дисертације су:

- утврђен је утицај односа кугле/ЕФП при млевењу на својства и могућност примене механички активираниог ЕФП за синтезу везива са високим уделом ЕФП;
- утврђени су оптимални услови синтезе ВВУЕФП,
- утврђени су оптимални услови хемијске активације везива са високим уделом механички активираниог ЕФП применом одабраних хемијских активатора;
- установљени су утицаји одабраних хемијских активатора на структуру и својства везива са високим уделом МАЕФП;
- постигнут је допринос у разумевању механизма хидратације везива са високим уделом ЕФП,

- постигнут је допринос у разумевању утицаја коришћених хемијских активатора на механизам хидратације везива са високим уделом МАЕФП.
- по први пут је дефинисан утицај комбинације механичке активације ЕФП и хемијске активације везива применом натријум-силиката, натријум-оксалата и калцијум-формијата на механизам хидратације и својства ВВУЕФП.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације осмишљена су на основу детаљне анализе литературних података релевантних за област истраживања и јасно дефинисаних циљева. У изради дисертације коришћене су савремене методе истраживања, а добијени резултати се надовезују на постојећа сазнања и знатно их унапређују, дајући јасан допринос принципима циркуларне економије.

У доступној литератури, оптимизација поступка механичке активације примарно је заснивана на анализама утицаја времена млевења ЕФП на својства млевог ЕФП или материјала у чији састав улази. Примењени приступ оптимизације механичке активације ЕФП у овом раду логичан је наставак ранијег истраживања у ком је време млевења оптимизовано коришћењем истог млина. Оптимизацијом односа кугле/ЕФП додатно је повећана ефикасност поступка млевења.

Значајан допринос ове докторске дисертације огледа се у синтези новог, еколошки прихватљивог везива чија су својства упоредива са својствима традиционално коришћеног цемента. Резултати испитивања везива активираних применом натријум-сулфата и натријум-карбоната допуњују доступне литературне податке, док анализа резултата испитивања механизма хидратације и својстава везива активираних применом натријум-силиката, натријум-оксалата и калцијум-формијата даје основ за даље истраживање ових активатора у синтези везива са високим уделом механички активираних ЕФП.

Такође, научни доприноси докторске дисертације огледају се и у томе што ова теза не само да пружа нова сазнања о могућностима унапређења реактивности ЕФП, већ отвара и простор за његову ширу индустријску примену, чиме директно доприноси унапређењу одрживости индустрије грађевинских материјала.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидаткиња Јелена М. Ракић је резултате истраживања спроведених током израде ове дисертације потврдила објављивањем радова у водећим међународним часописима. Из ове докторске дисертације проистекли су следећи радови:

Категорија M21a:

1. **Rakić J.**, Petrović R., Radojević V., Baščarević Z. (2024). Use of sodium oxalate and calcium formate for chemical activation of high volume fly ash (HVFA) binders. *Journal of Building Engineering*, 91, 109666. (IF = 6,7) (ISSN 2352-7102) (<https://doi.org/10.1016/j.job.2024.109666>),
2. **Rakić J.**, Petrović R., Radojević V., Baščarević Z. (2023), Effects of selected inorganic chemical activators on properties and hydration mechanism of high volume fly ash (HVFA) binders, *Construction and Building Materials*, 391, 131833. (IF = 7,4) (ISSN 0950-0618) (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131833>)

5. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (Гласник Универзитета у Београду, бр. 204 од 22. јуна 2018. године), коришћењем програма iThenticate (28. маја 2025. године) извршена је провера оригиналности докторске дисертације кандидаткиње Јелене М. Ракић под називом „Утицај хемијских активатора на својства везива са високим уделом механички активираних електрофилтерског пепела“. Извештај који садржи резултате провере оригиналности ментор је добио дана 28. маја 2025. године. Утврђени проценат подударности је 9 %. Овај проценат је последица употребе стручних термина и назива коришћених метода и њихових скраћеница и инструмената који се налазе у наведеној тези, као и

претходно публикованих резултата истраживања проистеклих из дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника.

На основу свега изложеног Комисија сматра да је докторска дисертација кандидаткиње Јелене М. Ракић оригинална, као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих и приказаних резултата, Комисија сматра да докторска дисертација Јелене М. Ракић, мастер инжењера технологије, под називом „Утицај хемијских активатора на својства везива са високим уделом механички активираниог електрофилтерског пепела” представља значајан и оригинални научни допринос у области Технолошког инжењерства, што је потврђено објављивањем радова у водећим међународним часописима, националном часопису и саопштавањем резултата на међународним скуповима. Предмет и циљеви који су постављени су јасно наведени и у потпуности остварени. Комисија сматра да ова докторска дисертација испуњава све захтеване критеријуме, као и да је кандидаткиња током израде дисертације показала способност за самосталан научноистраживачки рад.

На основу свега наведеног, Комисија предлаже Наставно–научном већу Технолошко–металуршког факултета Универзитета у Београду да прихвати овај Извештај и да га заједно са поднетом докторском дисертацијом под називом „Утицај хемијских активатора на својства везива са високим уделом механички активираниог електрофилтерског пепела” кандидаткиње Јелене М. Ракић, мастер инжењера технологије, изложи на увид јавности у законом предвиђеном року и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 12. јун 2025. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

.....
Др Јелена Царевић, доцент
Универзитета у Београду, Грађевински факултет

.....
Др Радмила Јанчић-Heinemann, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет