

Образац 3.

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/177

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

23.08.2021.

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације
и о одређивању ментора

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета",
број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске
дисертације:

Утицај гама зрачења на својства алкално активираних везива

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Инжењерство заштите животне средине

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

Лука (Зоран)Рубињони

2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

Универзитет у Београду,

Технолошко-металуршки факултет, Мастер студије, Мастер инжењер технологије

3. Година завршетка
претходног нивоа студија: 2017.

4. Година уписа на докторске студије: 2017.

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Инжењерство заштите животне средине

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ :

Име и презиме ментора: др Ацо Јанићијевић

Звање: Ванредни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Arbutina D., Vasic-Milovanović A., Nedić T., Janićijević A., Timotijević Lj.: *Possibility of Achieving An Acceptable Response Rate of Gas-Filled Surge Arresters by Substitution of Alpha Radiation Sources by Selection of Electrode Material and the Electrode Surface Topography*, - Nuclear Technology & Radiation Protection, (2020), vol. 35 br. 3, str. 223-234 (ISSN:1451-3994; IF(2019):1.057)
2. Žunić Z., Stojanovska Z., Boev B., Sorsa A., Čeliković I., Curguz Z., Ronnquist T., Janićijević A., Alavantić D.: *Sjenica, a Newly Identified Radon Priority Area in Serbia, and Radon Data Correlated with Geological Parameters Using the Multiple Linear Regression Model*, - Carpathian Journal Of Earth And Environmental Sciences, (2019), vol. 14 br. 1, str. 235-244 (ISSN:1842-4090; IF(2019):1.307)
3. Obrenović M., Janićijević A., Arbutina D.: *Statistical Review of the Insulation Capacity of the Geiger-Mueller Counter*, - Nuclear Technology & Radiation Protection, (2018), vol. 33 br. 4, str. 369-374 (ISSN:1451-3994; IF(2019):1.057)
4. Awhida A., Ujić P., Pantelić G., Kolarz P., Čeliković I., Živanović M., Janićijević A., Lončar B.: *Ad-Hoc Intercomparison of Four Different Radon Exhalation Measurement Methods*, - Radiation Protection Dosimetry, (2018), vol. 178 br. 2, str. 138-142 (ISSN:0144-8420; IF(2019):0.773)
5. Stojanović N., Kalezić-Glišović A., Janićijević A., Maričić A.: *Evolution of Structural and Functional Properties of the Fe/BaTiO₃ System Guided by Mechanochemical and Thermal Treatment*, - Science of Sintering, (2020), vol. 52 br. 2, str. 163-176 (ISSN:0350-820X; IF(2019):1.172)

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 2:

Име и презиме ментора: др Србољуб Станковић

Звање: Виши научни сарадник

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Spassov D., Paskaleva A., Guziejewicz E., Davidović V., Stanković S., Djorić-Veljković S., Ivanov T., Stanchev T., Stojadinović N.: *Radiation Tolerance and Charge Trapping Enhancement of ALD HfO₂/Al₂O₃ Nanolaminated Dielectrics*, - Materials, (2021), vol. 14 br. 4, str. 849-866 (ISSN:1996-1944; IF(2019):3.057)
2. Srećković M., Pantelić S., Stankovic S., Polić S., Ivanovic N., Bugarinović A., Ostojic S.: *Gamma Irradiation Effects in Optical Fibres, Splitters, and Connectors*, - Nuclear Technology & Radiation Protection, (2017), vol. 32 br. 4, str. 375-380 (ISSN:1451-3994; IF(2019):1.057)
3. Janković K., Stanković S., Bojović D., Stojanović M., Antić L.: *The influence of nano-silica and barite aggregate on properties of ultra high performance concrete* - Construction And Building Materials, (2016), vol. 126 br. , str. 147-156 (ISSN:0950-0618; IF(2019):4.419)
4. Obrenović M., Lazarević Đ., Stanković S., Kartalović N.: *The Impact of Radiation on Semiconducting Characteristics of Monocrystalline Silicon and Germanium* - Nuclear Technology & Radiation Protection, (2016), vol. 31 br. 1, str. 97-101 (ISSN:1451-3994; IF(2019):1.057)
5. Janković K., Miličić Lj., Stanković S., Susić N.: *Investigation of the Mortar and Concrete Resistance in Aggressive Solutions*, - Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette, (2014), vol. 21 br. 1, str. 173-176 (ISSN:1330-3651; IF(2019):0.670)
6. Janković K., Stanković S., Nikolić D., Bojović D., Lončar Lj.: *Determination of Recycled Aggregate Concrete Degradation by Resonance Frequency Analysis*, - Revista Romana De Materiale-Romanian Journal Of Materials, (2011), vol. 41 br. 1, str. 22-25 (ISSN:1583-3186; IF(2019):0.542)

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф.дрПетарУскоковћ

- Прилог
1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
 2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

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

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.43. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 08.07.2021. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата
за израду докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације **Луке Рубињонија**, број индекса 4019/2017, под називом: **„Утицај гама зрачења на својства алкално активираних везива“**.

Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације доноси Универзитет у Београду.

За менторе се одређују др Ацо Јанићијевић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, и др Србољуб Станковић, виши научни сарадник Института за нуклеарне науке „Винча“ Универзитета у Београду - Институт од националног значаја за Републику Србију.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, менторима, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Луке Рубињонија за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду бр. 35/50 од 8.4.2021. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Луке Рубињонија за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „*Утицај гама зрачења на својства алкално активираних везива*“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Лука Рубињони рођен је 31.7.1982. године у Земуну. Основну школу и гимназију (природни смер) завршава у Београду, где 2001. године уписује Биолошки факултет Универзитета у Београду. Са студијске групе *Наставник биологије и хемије* прелази на студијску групу *Биологија* 2002. године, уз каснији избор физиологије животиња за усмерење. Одбраном дипломског рада под називом „*Обрасци варирања репродуктивне алокације код *Mercurialis perennis* L.*“ 2009. године стиче стручни назив *дипломирани биолог*. По завршетку студија које одговарају мастер дипломи (300 ЕСПБ), 2009. године уписује докторске студије на Биолошком факултету Универзитета у Београду. Од 2011. запослен је на Биолошком факултету, Катедри за генетику и еволуцију, и ангажован је на пројекту МПНТР бр. 173025, као *истраживач приправник*. Одлуком Наставно-научног већа Биолошког факултета бр. 15/747 од 13.12.2013. стиче звање *истраживач сарадник*.

Студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду Лука Рубињони почиње школске 2016/2017. године, уписом Мастер академских студија – студијски програм Инжењерство заштите животне средине. Мастер рад под називом „*Мерење ексхалације радона из узорака земље активном методом*“ одбранио је 2017. године, и стекао академски назив *Мастер инжењер технологије*. Докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду уписује школске 2017/2018. године, студијски програм Инжењерство заштите животне средине. Одлуком Наставно-научног већа ТМФ бр. 35/16 и Решењем бр. 20/10 од 22. фебруара 2018. године, Лука Рубињони стиче звање *истраживач сарадник*. Од 15. августа 2018. кандидат је запослен у Иновационом центру ТМФ.

Лука Рубињони је члан Европског друштва за еволуциону биологију (ЕСЕБ) од 2011. године. У оквиру програма *Godfrey Hewitt Mobility Award* 2015. године од ЕСЕБ добија финансијску подршку за истраживање под називом *Grubs of doubt: The impact of stem-borers on *Mercurialis annua* life-history traits*, реализовано у сарадњи са проф. др Џоном Панелом са Универзитета у Лозани. Кандидат је један од оснивача друштва Ивоук (*EvoKE, Evolutionary*

Knowledge for Everyone), и активни члан изборног комитета тог друштва од 2019. године. Учествовао је на научним скуповима и на друге начине доприносио раду Друштва за физиологију биљака Србије, Српског биолошког друштва, Друштва генетичара Србије и Друштва за електронику, телекомуникације, рачунарство, аутоматику и нуклеарну технику (ЕТРАН). Био је члан локалног организационог одбора конференције ЕТРАН 2019. године.

Уз научноистраживачки рад, Лука Рубињони успешно сарађује са привредом. Дугогодишњи је сарадник предузећа *ЦЕП, Персонал Логистикс* и *Планекс* на пословима у вези заштите животне средине и процене ризика. Обучен је за рад са софтвером *VISUM* и *VISSIM* фирме *PTV*. Носилац је лиценци Министарства унутрашњих послова за *процену ризика у заштити лица, имовине и пословања* (решење 03/4 бр. 34284 од 16.7.2018), и за израду процене ризика од катастрофа и плана заштите и спасавања (бр. 00608 од 1.6.2020).

Лука Рубињони течно говори енглески језик, и има основно знање италијанског и француског језика.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

У оквиру програма докторских студија *Инжењерство заштите животне средине*, Лука Рубињони положио је све испите предвиђене програмом.

Табела 1: положени испити

Акроним	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
ДЗ1	Виши курс аналитичке хемије	10	5
Д102ИЗ	Индустријска екологија	10	5
Д101	Хемијска кинетика	7	5
Д174	Физика материјала	10	4
Д175	Физика чврстог стања	10	4
ДЗМ1	Одабрана поглавља математичке анализе	8	5
Д149	Одабрана поглавља биофизике	10	4
14Д011	Мерење јонизујућег и нејонизујућег зрачења	10	5
Д124	Биомаса као извор енергије	10	4
14Д121	Анализа трагова специфичних загађујућих материја	10	5
ДСЕНГ	Енглески језик	10	допунски испит
Д103ИЗ	Економија животне средине и одрживи развој	10	4
ДЗИ	Завршни испит	10	30
Просечна оцена и укупан број ЕСПБ		9,58	80

Током докторских студија, био је ангажован на следећим пројектним активностима:

- 2018-2019: Пројекат МПНТР бр. ИИИ43009 – *Нове технологије за мониторинг и заштиту животног окружења од штетних хемијских супстанци и радијационог оптерећења*;
- 2019: NATO Science for Peace and Security пројекат бр. G5402 – *Improved security through safer cementation of hazardous wastes*;
- 2019: Фонд за иновациону делатност, Иновациони ваучер бр. 438 – *Валидација оправданости примене софтверског модула за израчунавање емисија загађујућих материја у Србији* и
- 2018: Зелени фонд Републике Србије – *Прелиминарно испитивање утицаја процедурних вода депоније Винча на животну средину*.

Ангажован је као сарадник за извођење вежби из предмета Биофизика и Заштита животне средине од зрачења и буке (одлуке ННВ ТМФ бр. 35/59 од 5.3.2020, 35/159 од 28.5.2020. и 35/86 од 8.4.2021) на Катедри за техничку физику ТМФ. Активно учествује у наставним и другим активностима Катедре, и помаже у реализацији наставе предмета Управљање радиоактивним отпадом.

Као резултат досадашњег научноистраживачког рада, Лука Рубињони је објавио следеће научне радове, и/или саопштио резултате на научним скуповима:

Поглавља у монографијама, M13:

- Rubinjoni, L., Karadžić K., Lončar B.: *Influence of Gamma Radiation on Gas-Filled Surge Arresters*, - In *Gamma-rays*. IntechOpen, 2019, London, pp. 215-229. (ISBN: 978-1-83962-259-5)

Радови објављени у међународним часописима, категорија M23:

- Miljković, D., Avramov, S., Vujić, V., Rubinjoni, L., Klisarić Barišić, N., Živković, U., & Tarasjev, A.: *Between-Clone, Between-Leaf And Within-Leaf Variation In Leaf Epidermis Traits In Iris pumila Clones*, - Genetika Vol 45, No 2, 2013, pp. 297-308. (ISSN: 0534-0012; IF(2019):0.403)
- Miljković, D., Avramov, S., Vujić, V., Rubinjoni, L., Klisarić Barišić, N., Živković, U. & Tarasjev, A.: *Lead and nickel accumulation in Iris pumila: consideration of its usefulness as a potential bioindicator in the natural protected area of Deliblato sands, Serbia*, - Arch. Biol. Sci. Vol. 66, No. 1, 2014, pp. 331-336. (ISSN: 0354-4664; IF(2019):0.719)
- Vujić, V., Rubinjoni, L., Selaković, S. & Cvetković D.: *Small-scale variations in leaf shape under anthropogenic disturbance in dioecious forest forb Mercurialis perennis: A geometric morphometric examination*, - Arch. Biol. Sci. Vol. 68, No. 4, 2016, pp. 705-713. (ISSN: 0354-4664; IF(2019):0.719)
- Selaković S., Stanisavljević N., Vujić V., Rubinjoni L., Jovanović Ž., Radović S., Cvetković D.: *Light and sex interplay: differential herbivore damage in sun and shade in dioecious Mercurialis perennis*, - Arch. Biol. Sci. Vol.70, No. 3, 2018, pp. 469-479 (ISSN: 0354-4664; IF(2019):0.719)
- Rubinjoni, L., Stanković, S., Lončar, B.: *The Effect of ^{60}Co Gamma Irradiation On Coal Fly-ash Geopolymer Paste Setting Time*, Nuclear Technology & Radiation Protection, Vol. 35, No. 2, 2020, pp. 150-153. (ISSN: 1451-3994; IF(2019):1.057)

Радови саопштени на научним скуповима, штампани у целисти, категорија M33:

- Rubinjoni L., Čeliković I., Antonijević D., Lončar B.: *Measurement of radon exhalation from soil: application of the active method*, - Proceedings of the 5th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN), Palić 2018, pp. 1012-1014.
- Nedić T., Rubinjoni L., Salih R., Čeliković I., Lončar B.: *Measuring the radon exhalation from the central and south-western Serbia soil samples*, - Proceedings of the 50th International Contober Conference on Mining and Metallurgy (IOC2018), Bor 2018, pp. 433-436.
- Antonijević D., Rubinjoni L., Janković A., Čeliković I., Kandić A., Lončar B.: *Thoron ^{220}Rn Exhalation Rate Measurement: Dependence of the Grain Size*, - Proceedings of the 6th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2019, Silver Lake, Serbia, June 03 – 06, 2019, pp. 689-691.

Радови саопштени на научним скуповима, штампани у изводу, категорија M34:

- Cvetković D., Jovanović V., Rubinjoni L.: *Gender and Light: Is there a sexual niche differentiation in relation to light in Mercurialis perennis L.?*, - 3rd International Symposium of Ecologists of The Republic of Montenegro, Bijela 2008.

- Cvetković D., Jovanović V., Rubinjoni L., Novčić R., Komatović S.: *Population on edge: life history traits in a high altitude population of Dog's mercury*, - 10th Symposium on the flora of southeastern Serbia and neighboring regions, Vlasina lake 2010.
- Rubinjoni L., Jovanović V., Cvetković D.: *Persistence of biased sex ratios in widely distributed dioecious plant Mercurialis perennis*, - 13th Congress of the European Society for Evolutionary Biology, Tübingen 2011.
- Rubinjoni L., Nikolić Z., Cvetković D.: *Who messes with our research: Dog's mercury and interactions with insects*, - Symposium of Entomologists of Serbia, Donji Milanovac 2011.
- Rubinjoni L., Vujić V., Cvetković D.: *Exploring the effect of spatial relations on life history variation of Mercurialis perennis, a dioecious perennial herb*, - 1st Joint Congress on Evolutionary Biology, Ottawa 2012.
- Vujić V., Rubinjoni L., Selaković S., Cvetković D.: *Geometric morphometric study of leaf shape variation in Mercurialis perennis*, - 1st International Conference on Plant Biology & 20th Symposium of the Serbian Plant Physiology Society, Subotica 2013.
- Rubinjoni L., Selaković S., Vujić V., Cvetković D.: *A matter of taste: the consequences of having separate sexes on plant – herbivore interactions*, - 1st International Conference on Plant Biology & 20th Symposium of the Serbian Plant Physiology Society, Subotica 2013.
- Rubinjoni L., Vujić V., Selaković S., Cvetković D.: *Boys and girls and plant-eaters: Is herbivory sex-biased in Mercurialis perennis?*, - 14th Congress of the European Society for Evolutionary Biology, Lisbon 2013.
- Cvetković D., Rubinjoni L., Vujić V., Đurić D.: *New approach to old vertebrae – a morphometric comparison of Miocene and extant snakes*, - 14th Congress of the European Society for Evolutionary Biology, Lisbon 2013.
- Rubinjoni L., Selaković S., Vujić V., Cvetković D.: *'The more the better' concept, genome size and plant – insect herbivore interactions*, - 5th Congress of the Serbian Genetics Society, Belgrade 2014.
- Rubinjoni L., Selaković S., Vujić V., Cvetković D.: *Herbivore load in a montane population of a dioecious forest forb: Is gender important?*, - 2nd International Conference on Plant Biology, Petnica 2015.
- Vujić V., Rubinjoni L., Selaković S., Cvetković D.: *Exploring the leaf shape variation under anthropogenic disturbance in dioecious forest forb (Mercurialis perennis): a geometric morphometric approach*, - 2nd International Conference on Plant Biology, Petnica 2015.
- Rubinjoni L., Vujić V., Selaković S., Cvetković D.: *The tastier sex? Herbivore preference varies among the habitats of Mercurialis perennis*, - 15th Congress of the European Society for Evolutionary Biology, Lausanne 2015.
- Rubinjoni L., Stanković S., Karadžić K., Lončar B.: *The effect of Co-60 gamma irradiation on coal fly-ash geopolymer set times*, - International Conference on Radiation Applications (RAP 2019) 16–19.09.2019, Belgrade, pp. 62.
- Rubinjoni L., Čeliković I., Tanasijević G., Komljenović M., Lončar B.: *Radon exhalation from fly-ash geopolymer mortar*, - 6th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2019, Silver Lake, Serbia, June 03 – 06, 2019, pp. 1083.

Радови саопштени на националним научним скуповима, штампани у целости, категорија М63:

- Rubinjoni L., Stanković S., Stojić T., Lončar B.: *Uparedna analiza uticaja γ i X zračenja na karakteristike komercijalnih gasnih odvodnika prenapona u impulsnom režimu rada*, - Proceedings of the 7th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2020 and 64th National Conference on Electronics, Telecommunication, Computing, Automatic Control and Nuclear Engineering ETRAN 2020, Akademski misao, Beograd, 2020, pp. 545 — 547.
- Lončar B., Nikezić D., Karadžić K., Rubinjoni L., Janković A.: *Uparedna analiza uticaja gama i X zračenja na karakteristike modela gasnog odvodnika prenapona u impulsnom režimu rada*, - Zbornik radova 63. Konferencije za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku, Srebrno jezero, 2019, pp. 721-725.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу досадашњег рада и показаних резултата током докторских студија кандидат је показао склоност и способност за бављење научно-истраживачким радом. Из области теме докторске дисертације објавио је један рад у часопису категорије M23 као први аутор, и једно конгресно саопштење категорије M32, такође као први аутор. На основу досадашње сарадње са кандидатом, као и објављених научних радова, Комисија сматра да кандидат испуњава услове за рад на предложеној теми.

2. Предмет и циљ истраживања

Алкално активирана везива су материјали који настају путем активације финих честица алумосиликата јаком базом или алкалним силикатом, што доводи до делимичног растварања, праћеног умрежавањем (полимеризацијом) и очвршћавањем пасте[1]. Алкално активирана везива се могу применити као замена за портланд цемент у производњи малтера и бетона[2]. Интерес за алкално активирана везива расте услед њихове трајности, веће чврстоће, отпорности на сулфате и киселине, и боље отпорности на топлоту материјала на бази ових везива, у односу на портланд цемент[3]. Од посебног интереса су алкално активирана везива од секундарних сировина пореклом из индустрије и енергетике, попут електрофилтерског пепела термоелектрана и троске високих пећи. У поређењу са портланд цементом, производња таквих везива је економичнија, представља одржив начин управљања секундарним сировинама и доводи до смањене емисије гасова стаклене баште[4].

Време везивања је особина цементне пасте и представља време потребно да паста из течне почне да прелази у чврсту фазу (почетно време везивања), односно очврсне до те мере да спречава даљи рад са пастом (крајње време везивања). Време везивања је стандардизовано за портланд цемент, а применљиво је и на алкално активирана везива. Време везивања се одређује применом Викат апарата. Непосредно након припреме, паста се разлива у калупе, па се мери продор игле оптерећене тегом у материјал, и бележи се време када се уочава смањење продора (почетно време везивања) и престанак продора (крајње време везивања). Ово једноставно мерење је од великог практичног значаја, јер указује на време које је на располагању за рад са материјалом у течном стању. Материјал (паста, малтер, бетон) постиже пуну чврстоћу у времену знатно дужем од времена везивања, након периода одлежавања. Време везивања посредно указује на процесе очвршћавања везива: умрежавање и формирање гела[5].

Неорганска везива (цементи) имају бројне примене у управљању радиоактивним отпадом, од примене као грађевинског материјала, до цементације течног и расутог чврстог отпада[6,7]. Алкално активирана везива показују високу способност задржавања радионуклида у чврстој фази, што их чини погодним материјалима за цементацију и инкапсулацију отпада[8]. До излагања цементног везива јонизујућем зрачењу приликом операција са радиоактивним отпадом долази у три различита случаја употребе. У првом, објекти и предмети од малтера и бетона се израђују пре контакта са радиоактивним

материјалом[9]. У овом случају, примењују се прихваћени грађевински и други стандарди, постојеће искуство и инжењерска пракса, и постоји добра база знања о својствима и трајности материјала. Други случај употребе представљају операције мешања отпада и течног везива, при чему долази до непосредног контакта, хемијских реакција и везивања радионуклида у матрицу везива[10]. На својства резултујуће форме отпада у овом случају утичу многе особине првобитног отпада: хемијска реактивност, поларност и растворљивост, величина честица и друго. Везиво је изложено свим врстама и пуном спектру јонизујућег зрачења присутних радионуклида, тако да на формирање матрице могу утицати емисије алфа и бета честица и пратећи феномени узмака језгра, као и резултујуће разлике у хемијским особинама потомачких елемената насталих радиоактивним распадом. Као нежељени ефекти, могу се јавити прерано везивање (енгл. *flash set*), или одложено везивање (енгл. *delayed set*), због чега се приступа провери и оптимизацији везива за кондиционирање појединачних форми отпада[11]. Трећи случај употребе представља заливање радиоактивног отпада течним малтером или бетоном, у једном или више слојева, чиме се формира „амбалажа“ за отпад.. У току предтретмана и третмана, радиоактивни отпад се сортира, исушује, хемијски инактивира, компактира унутар амбалаже или заједно са њом. У исходујућој форми отпада, радионуклиди су одвојени од матрице везива слојем који зауставља алфа и бета честице, а везиво је изложено гама зрачењу од тренутка изливања[10,11]. На основу радиоактивности отпада приликом инкапсулације може се израчунати укупна доза коју ће примити везиво, услед радиоактивних распада серија радионуклида до стабилних потомака[12].

Досадашња истраживања овог начина употребе алкално активираних везива била су усмерена на проучавање дугорочних ефеката гама зрачења на својства материјала[12,13]. Вршена су озрачивањем већ очврсле пасте и/или малтера, у фази одлежавања, и показала су како корисне, тако и штетне ефекте по механичка својства материјала. Корисни ефекти мањих доза објашњени су побољшаним и продуженим процесом растварања честица пепела и троске, и ослобађањем алумосиликата у гел фазу, што подстиче умрежавање и резултује већом чврстоћом материјала[14,15]. Веће примљене дозе доводе до нарушавања стабилности остварених веза у матрици и аморфизације, што се неповољно одражава на чврстоћу[12].

Циљ истраживања је утврђивање ефеката гама зрачења на кинетику очвршћавања и механичка својства материјала (пасте, малтери) направљених алкалном активацијом летећег (електрофилтерског) пепела термоелектрана, троске високих пећи и њихових мешавина. Испитаће се и квантификовати промене времена везивања пасте и чврстоће малтера у функцији примљене дозе. На основу утврђених и квантификованих ефеката, дискутоваће се погодност примене материјала на бази алкално активираних везива за примену у срединама изложеним гама зрацима.

Релевантни библиографски извори:

- [1] Provis, J., Rees, C.: *Geopolymer Synthesis Kinetics*, – In: *Geopolymers*, Woodhead Publishing, Sawston, UK, 2009, pp. 118-136
- [2] Ma, C. K., Awang, A. Z., & Omar, W.: *Structural and material performance of geopolymer concrete: A review* – *Construction and Building Materials*, 186 (2018), pp. 90-102
- [3] Komljenović, M., et al.: *Mechanical and Microstructural Properties of Alkali-Activated Fly Ash Geopolymers*, – *Journal of Hazardous Materials*, 181 (2010), 1-3, pp. 35-42
- [4] Wong, V., Jervis, W., Fishburn, B., Numata, T., Joe, W., Rawal, A., Sorrell, C., Koshy, P.: *Long-Term Strength Evolution in Ambient-Cured Solid-Activator Geopolymer Compositions* – *Minerals*, 11 (2021), 2, pp. 143-165
- [5] Hadi, M. N., Zhang, H., & Parkinson, S.: *Optimum mix design of geopolymer pastes and concretes cured in ambient condition based on compressive strength, setting time and workability* – *Journal of Building engineering*, 23 (2019), pp. 301-313.

- [6] Glasser, F.: *Application of Inorganic Cements to the Conditioning and Immobilisation of Radioactive Wastes*, – In: *Handbook of Advanced Radioactive Waste Conditioning Technologies*, Woodhead Publishing, Sawston, UK, 2011, pp. 67-135
- [7] Cantarel, V., et al.: *Geopolymers and Their Potential Applications in the Nuclear Waste Management Field, A Bibliographical Study*, – Japan Atomic Energy Agency, Tokio, Japan, (2017)
- [8] Hou, D., Zhang, J., Pan, W., Zhang, Y., & Zhang, Z.: *Nanoscale mechanism of ions immobilized by the geopolymer: A molecular dynamics study* – *Journal of Nuclear Materials*, 528 (2020), pp. 151841
- [9] Stanković, S., et al.: *Gamma Radiation Absorption Characteristics of Concrete with Components of Different Type Materials*, – *Acta Physica Polonica, Series A: General Physics, Physics of Condensed Matter, Optics and Quantum Electronics, Atomic and Molecular Physics, Applied Physics*, 117 (2010), 5, pp. 812-816
- [10] Vance, E. R., Perera, D. S.: *Development of Geopolymers for Nuclear Waste Immobilisation*, – In: *Handbook of Advanced Radioactive Waste Conditioning Technologies*, Woodhead Publishing, Sawston, UK, 2011, pp. 207-229
- [11] Ukritnukun, S., Sorrell, C. C., Gregg, D., Vance, E. R., & Koshy, P.: *Potential Use of Ambient-Cured Geopolymers for Intermediate Level Nuclear Waste Storage* – *MRS Advances*, 3 (2018), 20, pp. 1123-1131
- [12] Yeoh, M. et al.: *Mechanistic impacts of long-term gamma irradiation on physicochemical, structural, and mechanical stabilities of radiation-responsive geopolymer pastes*, – *Journal of Hazardous Materials*, 407 (2021): 124805
- [13] Leay, L., et al.: *Geopolymers from Fly Ash and Their Gamma Irradiation* – *Materials Letters*, 227 (2018), Sept., pp. 240-242
- [14] Mobasher, N., et al.: *Gamma Irradiation Resistance of an Early Age Slag-Blended Cement Matrix for Nuclear Waste Encapsulation* – *Journal of Materials Research*, 30 (2015), 9, pp. 1563-1571
- [15] Lambertin, D., et al.: *Influence of Gamma Ray Irradiation on Metakaolin Based Sodium Geopolymer* – *Journal of Nuclear Materials*, 443 (2013), 1-3, pp. 311-315

3. Полазне хипотезе

Очвршћавање пасте алкално активираног везива је сложен, вишефазни процес. Непосредно након мешања алкалног раствора и алумосиликатног праха долази до хидролизе и растварања услед раскидања Si-O-Si и Si-O-Al веза у аморфној фази праха. Слободни мономерни у раствору формирају олигомере до постизања равнотежног стања. Када раствор постане презасићен олигомерима, долази до кондензације и формирања гела. Овај гел наставља да очвршћава, формирајући тродимензионалну мрежу која резултује аморфном чврстом фазом. У зависности од састава полазне сировине, може доћи и до одређеног степена кристализације у исходном материјалу. Поред улоге растварача, вода у овом процесу реагује у фази хидролизе, а регенерише се у фази умрежавања. Истраживања предвиђена овом докторском дисертацијом полазе од следећих хипотеза:

1. Гама зрачење утиче на време везивања пасте алкално активираног везива.
 - 1.а) Ефекат гама зрачења на време везивања је у функцији примљене дозе.
 - 1.б) Енергија гама зрачења повећава реактивност алкалног активатора и убрзава хидролизу и растварање аморфне фазе алуминосиликатне сировине (електрофилтерског пепела и троске високе пећи).
2. Озрачивање гама зрацима у току очвршћавања утиче на чврстоћу малтера алкално активираног везива.
 - 2.а) Ефекат гама зрачења на чврстоћу је у функцији примљене дозе.

4. Научне методе истраживања

Истраживање ће се спровести емпиријски, путем озрачивања материјала применом Co-60 извора и мерења ефеката. Време везивања пасте алкално активираниог везива биће одређена Викат апаратом. Чврстоћа малтера на савијање и притисак биће утврђена мерном пресом. За потребе истраживања, биће развијена и прилагођена апаратура и протоколи за мерење времена везивања у пољу јонизујућег зрачења. Планирано је да се мерења врше уз минималне прекиде у озрачивању, неопходне за безбедан рад. Биће примењен CAD/CAM (енгл. *Computer-aided Design/Computer-aided Manufacturing*, дизајн и производња помоћу рачунарима), тродимензионална адитивна штампа и друге методе брзе израде прототипова калупа и апаратуре.

5. Очекивани научни допринос

Предложена тема докторске дисертације заснива се на испитивању ефеката гама зрачења на иницијалне процесе у очвршћавању алкално активираних везива, и представља прво истраживање такве врсте. У раду са радиоактивним отпадом честе су операције цементирања и инкапсулације, у којима је везиво изложено зрачењу у свим фазама очвршћавања. Ближе разумевање утицаја јонизујућег зрачења на време везивања и друга својства алкално активираних везива ће унапредити инжењерску праксу у области управљања радиоактивним отпадом. Квантификовање ових утицаја ће олакшати оптимизацију рецептура алкално активираних везива за цементацију и друге операције у кондиционирању отпада. Развој процедура и апаратуре за озрачивање пасте и малтера ће допринети даљим истраживањима из ове области. Очекивани научни допринос предложене теме докторске дисертације је следећи:

- Биће утврђен и квантификован утицај гама зрачења на време везивања пасте алкално активираниог везива;
- Биће утврђен и квантификован утицај гама зрачења током везивања пасте на чврстоћу малтера од алкално активираниог везива;
- Биће дат преглед тренутних сазнања и праксе из области примене алкално активираних везива у управљању радиоактивним отпадом;
- Биће дат предлог примене алкално активираниог везива за кондиционирање радиоактивног отпада, у светлу нових сазнања стечених током извођења огледа.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање ће се одвијати према наведеним фазама:

1. Преглед литературе;
2. Производња калупа и апаратуре за рад у пољу јонизујућег зрачења;
3. Припрема материјала;
4. Извођење експеримената;
 - 4.а) Одређивање времена везивања пасте у пољу јонизујућег зрачења;
 - 4.б) Одређивање механичких особина малтера након очвршћавања у пољу јонизујућег зрачења, и
5. Обрада и дискусија резултата.

У уводном делу рада биће разматрани поступци кондиционирања и одлагања радиоактивног отпада, са фокусом на примену неорганских везива у тим поступцима. Биће дат преглед тренутних знања и текућих истраживања у вези интеракције јонизујућег зрачења и алкално активираних везива, на основу претраге литературних извора. Дискутоваће се изазови препознати у досадашњим научним истраживањима и стручној пракси. Детаљно ће бити приказан процес алкалне активације везива, и биће наведене хипотезе о могућим механизмима дејства јонизујућег зрачења на процес очвршћавања. За потребе експеримента биће израђени калупи и апаратура погодни за рад у пољу јонизујућег зрачења.

У фази припреме материјала, на основу досадашњих знања и искуства, одабраће се погодне полазне смеше електрофилтерског пепела термоелектрана, и троске високих пећи, и одговарајућег раствора воденог стакла као активатора. Извршиће се потребне припремне радње: карактеризација полазних сировина, просејавање, прилагођавање модула активатора, и друге полазне операције. Због специфичног експерименталног приступа – озрачивања материјала непосредно након замешавања пасте и малтера, полазне сировине биће унапред одмерене и паковане на начин који омогућава брз и безбедан рад. Фаза припреме извешће се у лабораторијама Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду.

Експерименти са озрачивањем ће се спровести у лабораторијама Института за нуклеарне науке „Винча“. Паста алкално активираниог везива биће замешана на лицу места и разливена у калупе за озрачивање и контролу. Узорци ће се озрачивати у пољу Со-60. Време везивања биће утврђено прилагођеним Викат апаратом. Контролни узорци ће се држати на истој амбијенталној температури, на њима ће бити одређено време везивања испитиване пасте без озрачивања. На основу добијених резултата, планираће се протокол озрачивања малтера. Малтер алкално активираниог везива биће припремљен на лицу места, и разливен у наменске калупе за озрачивање и контролу. Озрачени узорци ће примити дозе прилагођене сазнањима из експеримента са пастом. Контролни узорци ће очврснути на истој амбијенталној температури, без озрачивања. Након периода одлежавања, одредиће се чврстоћа узорака малтера.

Добијени резултати биће приказани и дискутовани у контексту досадашњих знања из области кондиционирања радиоактивног отпада, и могућих доприноса одговорима на практичне изазове у овој области.

Структура тезе:

1. УВОД

1.1. Радиоактивни отпад

1.1.1. Порекло, категоризација и управљање радиоактивним отпадом

1.1.2. Кондиционирање радиоактивног отпада и форме отпада погодне за одлагање

1.1.3. Искуства и изазови у примени портланд цемента за кондиционирање радиоактивног отпада

1.2. Алкално активираниог везива

1.2.1. Везива са ниским садржајем калцијума

1.2.2. Везива са високим садржајем калцијума

1.2.3. Време везивања пасте алкално активираниог везива

1.2.4. Механичка својства малтера алкално активираниог везива

1.2.5. Примена алкално активираниог везива у кондиционирању радиоактивног отпада

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

2.1. Електрофилтерски пепео термоелектрана

2.2. Троска високих пећи

2.3. Смеша електрофилтерског пепела и троске

2.4. Алкални активатор – водено стакло

2.5. Карактеристике поља јонизујућег зрачења

2.6. Одређивање времена везивања пасте у току озрачивања

2.7. Одређивање чврстоће малтера након озрачивања

3. РЕЗУЛТАТИ

3.1. Време везивања пасте – везиво електрофилтерског пепела

3.2. Време везивања пасте – везиво троске високе пећи

3.3. Време везивања пасте – везиво смеше пепела и троске

3.4. Чврстина малтера – везиво електрофилтерског пепела

3.5. Чврстина малтера – везиво троске високе пећи

3.6. Чврстина малтера – везиво смеше пепела и троске

4. ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧАК

5. ЛИТЕРАТУРА

7. Закључак и предлог

На основу изнетих података о досадашњем раду и постигнутим резултатима, Комисија сматра да кандидат **Лука Рубињони**, мастер инж. технологије испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације. Такође, на основу изложеног, Комисија сматра да је тема предложене докторске дисертације под насловом **„Утицај гама зрачења на својства алкално активираних везива“**, научно заснована, и предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да је прихвати и да извештај проследи Већу научне области техничких наука Универзитета у Београду на коначно усвајање. Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области **Инжењерство заштите животне средине** за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. За менторе се предлажу **др Ацо Јанићијевић**, ванредни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и **др Србољуб Станковић**, виши научни сарадник Института за нуклеарне науке „Винча“ Универзитета у Београду - Институт од националног значаја за Републику Србију.

У Београду,

7.5.2021.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Ацо Јанићијевић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Србољуб Станковић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“ -Институт
од националног значаја за Републику Србију

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

.....
Др Мирјана Ристић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Мелина Калагасидис Крушић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет