

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовео комисију: Наставно научно веће Факултета техничких наука. Датум: 01.07.2021. (012-199/34-2018)		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1.	др Радоњанин Властимир презиме и име	редовни професор звање
	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад установа у којој је запослен-а	Грађевински материјали, процена стања и санација конструкција, 28.03.2013. ужа научна област и датум избора
		председник комисије функција у комисији
2.	др Илић Биљана презиме и име	научни сарадник звање
	Институт за испитивање материјала ИМС, Београд установа у којој је запослен-а	Наука о материјалима, 18.07.2017. ужа научна област и датум избора
		члан функција у комисији
3.	др Кукарас Данијел презиме и име	ванредни професор звање
	Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет Суботица установа у којој је запослен-а	Грађевинске конструкције, 28.12.2018. ужа научна област и датум избора
		члан функција у комисији
4.	др Лукић Иван презиме и име	ванредни професор звање
	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад установа у којој је запослен-а	Грађевински материјали, процена стања и санација конструкција, 25.09.2020. ужа научна област и датум избора
		члан функција у комисији
5.	др Малешев Мирјана презиме и име	редовни професор звање
		Грађевински материјали, процена стања и санација конструкција, 28.03.2013. ужа научна област и датум избора

	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад установа у којој је запослен-а	менторка функција у комисији
6.	Др Радека Мирослава презиме и име	редовни професор звање
	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад установа у којој је запослен-а	Грађевински материјали, процена стања и санација конструкција, 25.10.2013. ужа научна област и датум избора менторка функција у комисији

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

- Име, име једног родитеља, презиме:
Тиана, Бранка, Миловић
- Датум рођења, општина, држава:
18.01.1984., Нови Сад, Република Србија
- Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив:
Факултет техничких наука, Техничке науке, Грађевинско инжењерство, Мастер инжењер грађевинарства
- Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија:
2011. год., Грађевинарство

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

УТИЦАЈ ПРИМЕНЕ ПРИРОДНОГ ЗЕОЛИТА НА ТРАЈНОСТ РЕПАРАТУРНИХ ЦЕМЕНТНИХ МАЛТЕРА

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл.

Докторска дисертација докторанда Тиане Миловић је написана на 409 страна на српском језику, латиничним писмом. Дисертација садржи 10 поглавља, 191 референцу, 139 слика и 189 табела. На почетку докторске дисертације дати су: списак табела и слика и резимеи на српском и енглеском језику. Рад је електронски обрађен.

Докторска дисертација је структурирана кроз следећа поглавља:

- Уводна разматрања,
- Својства природног зеолита и електрофилтерског пепела као пуцоланских материјала,
- Имобилизација тешких метала,
- Репаратурни малтери,
- Преглед релевантне литературе из области истраживања,
- Експериментално истраживање,
- Анализа и дискусија резултата,
- Закључна разматрања и правци даљих истраживања,
- Литература и
- Прилози.

У првом поглављу, „Уводна разматрања“, дефинисани су предмет и циљеви истраживања, постављене су основне хипотезе, описана је методологија истраживања, као и оправданост предметног истраживања.

У другом поглављу, „Својства природног зеолита и електрофилтерског пепела као пуцоланских

материјала“, дефинисани су: порекло, расположиве количине, састав и релевантна својства природног зеолита и електрофилтерског пепела, као и њихове специфичности у процесу хидратације.

У трећем поглављу, "Имобилизација тешких метала", дефинисани су тешки метали и наглашен је њихов негативан утицај на животну средину и здравље људи. Наведени су начини имобилизације тешких метала и описане су могућности њихове имобилизације у структури продуката хидратације композита на бази цемента као и унутар структуре зеолита.

Четврто поглавље је посвећено репаратурним малтерима. Дефинисана су основна својства, технички захтеви и дате су најважније класификације репаратурних малтера. Наведени су основни принципи и методе за санацију општећења бетона, као и технички захтеви за конструкцијске и неконструкцијске репаратурне малтере према ЕН 1504.

Пето поглавље "Преглед релевантне литературе из области истраживања" је подељено на два дела. У првом делу је дат преглед стања у области истраживања цементних паста, малтера и бетона који садрже природни зеолит или електрофилтерски пепео као СЦМ. У другом делу овог поглавља су анализирани радови из области репаратурних малтера на бази минералних везива, са аспекта примењених везивних материјала, испитиваних својстава и одабраних метода испитивања.

Шесто поглавље обухвата сопствено експериментално истраживање могућности примене природног зеолита као СЦМ у репаратурним малтерима. Дефинисани су план и програм испитивања и варирани параметри (водовезивни фактор, врста пуцоланског материјала и проценат супституције Портланд цемента природним зеолитом и/или електрофилтерским пепелом). Приказани су: резултати карактеризације компонентних материјала, основни подаци о референтном бетону који је коришћен за израду бетонских подлога и састави малтерских мешавина и паста. Описани су: примењени режими неге и кондиционирања узорака, припрема узорака за испитивање, карактеристике опреме, методе испитивања физичких, механичких својстава и одабраних својстава трајности малтера и метода за испитивање излуживања елемената у траговима, а дати су и комплетни резултати испитивања.

У седмом поглављу, "Анализа и дискусија резултата", приказани су и анализирани резултати испитивања по фазама (I, II и III). Урађено је вредновање појединачних својстава према одабраним критеријумима и компаративна анализа свих резултата по испитиваним својствима, по фазама испитивања.

У осмом поглављу су сумирани најважнији резултати експерименталног истраживања и изведени су главни закључци о могућности примене природног зеолита као СЦМ у репаратурним цементним малтерима, а дате су и препоруке за даља истраживања.

У деветом поглављу „Литература“ дат је шири списак коришћене литературе и референци, као и називи стандарда који су коришћени у оквиру експерименталног дела дисертације.

У десетом поглављу су, табеларно или у виду извештаја, приказани резултати мерења испитиваних својстава компонентних материјала и репаратурних малтера.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Дисертација садржи све неопходне елементе прописане важећим правилницима.

Докторску дисертацију чине више целина, које се логично поређане и добро систематизоване како би се могао сагледати комплетан обим обављених теоријских и експерименталних истраживања.

У *првој целини* (првом поглављу) јасно су дефинисани предмет и циљ истраживања. Наглашена је оправданост истраживања примене природног зеолита за замену дела цемента у малтерима (СЦМ), као и потреба за испитивањем могућности примене природног зеолита као СЦМ за добијање репаратурних конструкцијских и неконструкцијских малтера повећане трајности и позитивног утицаја на животну средину, како кроз смањење емисије угљен-диоксида, тако и кроз смањење излуживања појединих тешких метала. Основне хипотезе су добро постављене, а методологија истраживања је одабрана тако, да је омогућена реализација експеримента у лабораторијским условима, теоријска анализа добијених резултата и њихова директна примена у пракси.

Друга целина обухвата три поглавља (друго, треће и четврто поглавље) кроз која се сагледава спремност кандидаткиње за научноистраживачки рад у области материјала за санацију бетонских конструкција са аспекта познавања компонентних материјала и репаратурних малтера. У предметним поглављима је:

- укратко описана улога и класификација минералних додатака у цементним композитима;
- истакнута специфичност природног зеолита као минерала, са аспекта његове структуре, хемијског састава и пуцоланског својства, а указано је и на значајне ресурсе у виду депозита зеолитског туфа којима располаже Република Србија;
- слична анализа урађена и за електрофилтерски пепео који је настао сагоревањем угља у термоелектранама ради наглашавања сличности и разлика између ова два пуцоланска материјала; наиме, за разлику од природног зеолита, електрофилтерски пепео се класификује као опасни отпадни материјал у чврстом стању; указано је на чињеницу да је само у Републици Србији, на депонијама површине 1500 хектара, одложено око 200 милиона тона наведеног отпада;
- посебно је проучен процес хидратације Портланд цемента са додатком природног зеолита и електрофилтерског пепела и истакнуте су разлике у продуктима хидратације.
- У оквиру припреме за сопствено експериментално истраживање, посебна пажња је посвећена начину и условима излуживања и имобилизацији тешких метала.

Последњи део ове целине (четврто поглавље) се односи на проучавање репаратурних малтера који се користе за санацију бетонских конструкција. Истакнути су улога и значај атхезије између репаратурног малтера и бетонске подлоге и утицај својстава репаратурног малтера, као што су скупљање услед сушења, коефицијент термичког издужења/скраћења, модул еластичности и течење, на квалитет и трајност ове везе. Такође је укратко приказан сет стандарда ЕН 1504 у коме су дефинисани производи и системи за заштиту и санацију бетонских површина и њихови технички захтеви.

Врло вредан део докторске дисертације представља *трећа целина* (пето поглавље), која се односи на преглед релевантне литературе у области истраживања. Ово поглавље је подељено у два независна дела. У првом делу дат је преглед актуелних истраживања из области цементних паста, малтера и бетона који садрже природни зеолит или електрофилтерски пепео као СЦМ. Анализирани су утицаји: врсте минералног додатка и њиховог хемијског састава, финоће млива и нивоа супституције цемента, као и водо-везивног фактора и старости испитиваног композита на својства, као што су чврстоћа при притиску, капиларно упијање воде, скупљање услед сушења, отпорност на дејство мрза, продор хлорида и сулфата. У другом делу четвртог поглавља систематизовани су резултати анализе научних радова из области репаратурних малтера и закључено је да је у истраживањима најчешће коришћена силикатна прашина као СЦМ, а у мањој мери гранулисана згура високих пећи и електрофилтерски пепео. Наглашено је да нису пронађени радови у којима је анализиран утицај природног зеолита на својства репаратурних малтера, а да је публикован мали број радова у којима су приказани резултати испитивања репаратурних малтера на бази цемента у складу са Европским стандардом ЕН 1504.

Кроз приказ и анализу одабраних научних радова, из обе области, формирана је квалитетна база података на основу које је дефинисан програм сопственог експерименталног истраживања. Закључено је да избор литературе и систематична, јасна и садржајна анализа научних истраживања у потпуности дају слику достигнућа у области истраживане теме а изведени закључци оправдавају избор теме ове докторске дисертације, тако да дисертација представља иновативно истраживање у овој области.

У *четвртој целини*, која обухвата сопствено експериментално истраживање утицаја примене природног зеолита на трајност репаратурних цементних малтера (шесто поглавље), детаљно је разрађен програм истраживања који се састоји из три фазе и базира се на компаративној анализи добијених резултата, приказана је реализација експерименталног истраживања и дати су резултати испитиваних својстава малтера.

Пре почетка реализације експерименталног истраживања, одабрани су компонентни материјали за справљање малтера и паста (Портланд цемент, природни зеолит, електрофилтерски пепео, филер, СЕН песак, вода и хемијски додаци) и урађена је њихова карактеризација. Испитана су основна физичка и механичка својства (запреминска маса, специфична површина, финоћа млива, индекс активности и класа пуцоланске активности), хемијски и минералoшки састави везивних материјала.

У првој фази експерименталног истраживања, испитивања су фокусирана на чврстоћу при притиску и на капиларно упијање, цементних малтера који садрже природни зеолит или електрофилтерски пепео као СЦМ. Ради тумачења добијених резултата, одређен је минералoшки-фазни састав одговарајућих паста (XRD, FTIR). У овој фази је направљено 14 малтерских мешавина и 7 мешавина паста. Код малтерских мешавина вариран је водо-везивни фактор (0,5 и 0,4), док је код паста водо-везивни фактор био константан (0,5). У пастама и малтерима је вариран и удео природног зеолита и електрофилтерског пепела у количини од 0%, 10%, 15% и 20% у односу на масу цемента. Пасте и малтери су справљани са дејонизованом водом. Одређене су чврстоће при притиску малтера, при старостима од 28, 60, 90 и 180 дана, као и капиларно упијање воде за старости од 28 и 90 дана. Минералoшки састав очврслих паста је одређен за старости 28, 90 и 180 дана.

Друга фаза истраживања је посвећена излуживању тешких метала из малтера у којем је део цемента супституисан мешавином природног зеолита и електрофилтерског пепела. На основу резултата испитивања чврстоће при притиску и капиларног упијања малтера из прве фазе истраживања, за дефинисане старости до 90 дана, изабран је проценат замене Портланд цемента мешавином природног зеолита и електрофилтерског пепела у износу од 20%. У оквиру друге фазе испитивања, направљене су 3 нове малтерске мешавине у којима су комбинована по два додатка: 10% природног зеолита + 10% електрофилтерског пепела, 10% природног зеолита + 10% филера и 10% електрофилтерског пепела + 10% филера. Водо-везивни фактор је био 0,5. На наведеним малтерима излуживање тешких метала (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr, Hg, As, Ba и Sb) је испитано при старости од 28 и 180 дана. Такође су испитани чврстоћа при притиску, при старостима 28, 60, 90 и 180 дана, као и капиларно упијање воде за старости од 28 и 90 дана.

У трећој фази експерименталног истраживања потврђена је могућност примене природног зеолита као СЦМ у репаратурним малтерима који се користе за санацију бетонских конструкција. На основу резултата испитивања малтера из прве фазе, одабрани су малтери са уделом природног зеолита, односно електрофилтерског пепела у износу од 10% и 20% за испитивања својства која су прописана за репаратурне малтере према EN 1504-3. Посебан акценат је стављен на додатна испитивања својстава трајности, као што су отпорност на дејство сулфата и продор хлорида. У оквиру ове фазе испитивања укупно је направљено 10 малтерских мешавина у којима је поред учешћа природног зеолита и електрофилтерског пепела (у количини од 0%, 10% и 20%), вариран и водо-везивни фактор (0,4 и 0,5). Испитана су следећа својства: чврстоћа прицапања малтера за подлогу (Pull-off), ограничено скупљање, термичка компатибилност - циклуси замрзавања и одмрзавања са потапањем у zasiћени раствор соли за одмрзавање, скупљање услед сушења, отпорност на продор хлорида и отпорност на дејство сулфата.

Укупно је у све три фазе испитано 465 узорака малтера и 63 узорка паста, а за потребе испитивања

одређених својстава из треће фазе припремљено је укупно 32 бетонске подлоге.

Имајући у виду садржај овог поглавља, закључено је да су план и програм експерименталног истраживања осмишљени тако да добијени резултати омогућавају јасно сагледавање утицаја варираних параметара на истраживана својства малтера и паста и да је испитивани узорак довољно велик и омогућава добијање поузданих резултата. Констатовано је да се у реализацији експеримента није одступило од плана и програма који су дефинисани у Пријави докторске дисертације. Такође је констатовано да је дато довољно података о компонентним материјалима, саставу малтерских мешавина и паста, броју, облику и димензијама узорака и примењеним методама испитивања, тако да је омогућена поновљивост експерименталних истраживања. Ово поглавље је обogaћено хронолошки сложеним фотографијама које употпуњују слику о спроведеном експерименталном истраживању, а резултати експерименталног истраживања су јасно приказани на крају поглавља у виду табела.

Последња, *пета целина* обухвата седмо и осмо поглавље, у оквиру којих је приказана анализа резултата сопственог експерименталног истраживања, наведена су закључна разматрања и правци даљих истраживања. Резултати испитивања су приказани и анализирани по фазама (I, II и III). У оквиру прве фазе, посебно су анализирани и упоређени резултати испитивања чврстоће при притиску и капиларног упијања воде референтних малтера и малтера који садрже природни зеолит и електрофилтерски пепео. Закључци о утицају природног зеолита и електрофилтерског пепела на наведена својства су изведени по својствима према нивоу супституције цемента, примењеном водо-везивном фактору и старости малтера. Затим је на исти начин урађена компаративна анализа ради упоређења природног зеолита и електрофилтерског пепела као СЦМ. Такође је урађена класификација референтних малтера и малтера са СЦМ према критеријумима за репаратурне малтере из ЕН 1504-3 за чврстоћу при притиску и капиларно упијање воде. Резултати одређивања минералског састава паста су анализирани и упоређени према нивоу супституције цемента природним зеолитом и електрофилтерским пепелом и према старости паста. У другој фази истраживања анализирани су, упоређени и класификовани, малтери који садрже мешавину природног зеолита и електрофилтерског пепела, мешавину природног зеолита и филера и мешавину електрофилтерског пепела и филера по методологији из прве фазе. У оквиру компаративне анализе, малтери из ове фазе су упоређени са одабраним малтерима из прве фазе и анализирани су резултати излуживања тешких метала (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr, Hg, As, Ba i Sb) из малтера друге фазе за старости од 28 и 180 дана. За оцену опасности излужених тешких метала по животну средину, коришћени су критеријуми прописани у *Lendfill directive 2003/33/EC*. У оквиру треће фазе, посебно су анализирани и упоређени резултати испитивања чврстоћа припањања малтера за подлогу, ограничено скупљање, термичка компатибилност, скупљање услед сушења, отпорност на продор хлорида и отпорност на дејство сулфата референтних малтера и малтера који садрже природни зеолит и електрофилтерски пепео. Закључци о утицају природног зеолита и електрофилтерског пепела на наведена својства су изведени по својствима према нивоу супституције цемента, примењеном водо-везивном фактору и старости малтера. Затим је на исти начин урађена компаративна анализа ради упоређења природног зеолита и електрофилтерског пепела као СЦМ. Такође је урађена класификација референтних малтера и малтера са СЦМ према критеријумима за репаратурне малтере из ЕН 1504-3 за чврстоћу припањања малтера за подлогу, ограничено скупљање и термичку компатибилност. За оцену отпорности на продор хлорида одабрана је класификација према *Gjorv*-у, а за оцену отпорности на дејство сулфата коришћен је критеријум из *ACI 318-08*.

Ради извођења коначних закључака о употребљивости природног зеолита као СЦМ у репаратурним малтерима, урађено је вредновање свих испитиваних својстава истовремено, коришћењем концепта *performance index*-а.

Комисија је закључила да је анализа резултата систематично приказана, јасно изложена и спроведена уз примену адекватних метода нумеричке анализе, математичке статистике и теорије вероватноће. Такође је констатовано да ово поглавље садржи добро осмишљене дијаграме и табеле који доприносе бољој и јаснијој анализи добијених резултата. Закључци предметног истраживања представљају језгровиту и концизну синтезу јасно и систематично изложених резултата, па се констатује да су критички анализирани постављене хипотезе и испуњени постављени циљеви докторске дисертације. Дате су напомене и препоруке са предлозима могућих

праваца даљих истраживања.

У деветом поглављу, на основу ширег списка литературе уочава се да је кандидат приликом израде докторске дисертације користио савремене резултате истраживања из проблематике која је проучавана у дисертацији.

У десетом поглављу, приказани су резултати експерименталног испитивања, односно измерене вредности, а у појединим случајевима и срачунате вредности својстава одабраних за анализу, на које се кандидат позивао током израде докторске дисертације.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ:

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

Прихваћен рад у међународном часопису (M23)

Milović, T., Rudić, O., Furgan Omran, S., Radeka, M., Malešev, M., Radonjanin, V., Baloš, S., Laban, M.: *Effects of soft water attack on Portland and natural zeolite blended cements*, Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly, 2021 OnLine-First (00):9-9, DOI: 10.2298/CICEQ201120009M

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

Šupić, S., Malešev, M., Radonjanin, V., Bulatović, V., **Milović, T.** (2021): *Reactivity and pozzolanic properties of biomass ashes generated by wheat and soybean straw combustion*, Materials 14(4), 1004, 1-20. DOI: 10.3390/ma14041004, ISBN 1996-1944

Рад у националном часопису међународног значаја (M24)

Radeka, M., **Milović, T.**, Malešev, M., Radonjanin, V., Laban, M. (2016): *Hydration process and compressive strength of cement pastes containing natural zeolite*, Building Materials and Structures, Vol. 59, No. 2, pp. 29-45. ISSN 2217-8139 (Print), UDK: 666.942:549.67 doi: 10.5937/grmk1602029R

Milović, T., Malešev, M., Radeka, M., Radonjanin, V. (2021): *Thermal compatibility of repair mortars based on fly ash as SCM according to EN 13687-1*, 2nd International Conference on Construction Materials for a Sustainable Future, CoMs 2020/21, 20-21. april 2021., Bled, Slovenia, pp. 235-243. ISBN 978-961-94071-8-9 (pdf)

Milović, T., Šupić, S., Šešlija, M., Bulatović, V. (2019): *Characterization of biomass ash, fly ash and natural zeolite from Serbia as SCM*, 7th International conference - Contemporary achievements in civil engineering 2019, 23-24. april 2019., Subotica, pp. 515-524. ISBN 978-86-80297-78-1

Malešev, M., Šupić, S., Radeka, M., Radonjanin, V., **Milović, T.**, Bukvić, O. (2019): *Influence of aggregate type on basic properties of cement mortars blended with mixture of wheat and soya straw ash*, 1st International Conference on Sustainable Materials, Systems and Structures, Rovinj, RILEM Publications S.A.R.L., pp. 500-507. ISBN 978-2-35158-217-6

Milović, T., Malešev, M., Radeka, M., Radonjanin, V., Šupić, S. (2018): *Effect of zeolite as SCM on repair mortars' bond strength after freeze-thaw cycling*, 14th International Scientific Conference – Planning, Design, Construction and renewal in the civil engineering iNDiS, 21-23. novembar 2018., Novi Sad, Srbija, pp. 375-384. ISBN 978-86-6022-105-8

Šupić, S., **Milović, T.**, Šešlija, M., Draganić, S. (2018): *Availability of alternative materials with cementitious properties in Serbia*, 6th International conference - Contemporary achievements in civil engineering 2018, 20. april 2018., Subotica, pp. 289-296. ISBN 978-86-80297-73-6

Marinković, M., **Milović, T.**, Matic, B. (2017): *Zeolite as additive in warm mix asphalt*, 5th International conference - Contemporary achievements in civil engineering, 21. april 2017., Subotica, pp. 483-490. ISBN 978-86-80297-68

Milović, T., Radeka, M., Malešev, M., Radonjanin, V. (2016): *Compressive strength and mineralogical properties of cement paste containing zeolite*, Contemporary achievements in civil engineering 22. april 2016, Subotica, pp. 397-403.

Šupić, S., **Milović, T.**, Krnjetin, S. (2016): *Behavior of eco-friendly concrete exposed to high temperatures*, Safety Engineering 2, 5-7. oktobar 2016., Novi Sad, pp. 54-63. ISBN 978-86-6211-106-7

Milović, T., Šešlija, M., Šupić, S., (Vukoslavčević) Draganić, S. (2015): *Influence of natural zeolite on some properties of mortar/concrete*, Contemporary achievements in civil engineering 24. april 2015., Subotica, pp. 61-66. ISBN 978-86-80297-62-0

Radeka, M., **Milović, T.**, Malešev, M., Radonjanin, V. (2015): *Effect of zeolite on basic physical properties, mechanical properties and frost resistance of cement mortars*, 13th International Scientific Conference – Planning, Design, Construction and renewal in the civil engineering iNDiS, 25-27. novembar 2015., Novi Sad, Srbija, pp. 260-272. ISBN 978-86-7892-750-8 UDK: 691

Radeka, M., Malešev, M., Radonjanin, V., **Milović (Tatomirović), T.** (2014): *Pozzolanic activity of natural zeolite from one Serbian deposit*, XXVI International symposium on researching and application of contemporary achievements in civil engineering in the field of materials and structures – Vrnjačka Banja, 29-31. oktobar 2014., pp.191-201. ISBN 978-86-87615-05-2

Milović (Tatomirović), T., Radeka, M. (2014): *Zeolite as pozzolanic material*, XXVI International symposium on researching and application of contemporary achievements in civil engineering in the field of materials and structures – Vrnjačka Banja, 29-31. oktobar 2014., pp. 215-224. ISBN 978-86-87615-05-2

Malešev, M., Radonjanin, V., Radeka, M., **Milović (Tatomirović), T.**, Lukić, I., Bulatović, V. (2014): *Zeolite impact on basic physical and mechanical properties of cement mortars*, XXVI International symposium on researching and application of contemporary achievements in civil engineering in the field of materials and structures – Vrnjačka Banja, 29-31. oktobar 2014., pp. 225-236. ISBN 978-86-87615-05-2

Milović (Tatomirović), T., Tatomirović, M., Malešev, M., Radonjanin, V. (2014): *Metakaolin as partial replacement of portland cement in high strength/performance concrete*, 5th International conference Civil engineering – Science and practice, 17-21. februar 2014., Žabljak, Crna Gora, pp. 1139-1146. ISBN 978-86-82707-23-3

Milović (Tatomirović), T., Tatomirović, M. (2013): *Basic properties of high strength concrete*, International Symposium MASE, Struga, F.Y.R. of Macedonia, Vol.12, BK 10, pp. 1-6. ISBN 9989-9785-1-9

Milović (Tatomirović), T., Radeka, M. (2012): *Influence of metakaolin on improving the properties of concrete*, 4th International symposium for students of doctoral studies in the fields of civil engineering, architecture and environmental protection, 27-28. septembar 2012., Niš, pp.479-486. ISBN 978-86-88601-05-4

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

С обзиром на комплексност анализе резултата истраживања изведен је већи број закључака са аспекта утицаја варираних параметара на својства која су одабрана за оцену могућности примене природног зеолита као СЦМ у репаратурним малтерима за санацију бетонских конструкција. Закључци су груписани по анализираним својствима и по фазама истраживања.

На основу карактеризације материјала утврђено је да зеолитски туф садржи клиноптилолит као главни минерал, док електрофилтерски пепео спада у силикатне пепеле. У погледу класе пуцоланске активности, природни зеолит спада у класу 10, а електрофилтерски пепео у класу 15 пуцоланских материјала. Индекси активности природног зеолита и електрофилтерског пепела износе 92.85% и 125.29%, респективно, при старости малтера од 28 дана, и 102.93% и 130.94%, респективно, при старости малтера од 90 дана.

На основу резултата испитивања чврстоће при притиску малтера из **прве фазе** (малтери справљени са водо-везивним фактором 0.5 и 0.4, који садрже 0%, 10%, 15% и 20% природног зеолита, односно електрофилтерског пепела) и **друге фазе** испитивања (малтери справљени са водо-везивним фактором 0.5, који садрже 10% природног зеолита + 10% електрофилтерског пепела, 10% природног зеолита + 10% филера и 10% електрофилтерског пепела + 10% филера) утврђено је да наведени малтери припадају конструкцијским репаратурним малтерима највише класе (P4) у складу са стандардом ЕН 1504-3.

Са аспекта капиларног упијања воде, сви малтери из прве и друге фазе испитивања испуњавају критеријум за класу P4 конструкцијског репаратурног малтера према стандарду ЕН 1504-3 с обзиром да су им коефицијенти капиларног упијања $\leq 0,5 \text{ kg m}^{-2}\text{h}^{-0,5}$.

Остали закључци **прве фазе** истраживања изведени су на основу анализа резултата испитивања чврстоће при притиску и капиларног упијања воде малтера, XRD анализе и FTIR спектроскопије паста.

Чврстоћа при притиску

- водовезивни фактор има најизраженији утицај на вредности чврстоће при притиску референтних малтера и малтера справљених са СЦМ за све испитване старости. Са смањењем водовезивног фактора повећавају се чврстоће референтних малтера просечно за 37%, малтера са 10%, 15% и 20% природног зеолита за 27%, 26% и 29% респективно и малтера са 10%, 15% и 20% електрофилтерског пепела за 31%, 28% и 32% респективно;
- Врста и ниво замене цемента са СЦМ нема значајнијег утицаја на чврстоћу при притиску у случају водовезивног фактора 0,4, с обзиром да су чврстоће при притиску малтера из прве фазе испитивања, справљених са овим водовезивним фактором, у рангу са одговарајућим референтним вредностима.
- Врста и ниво замене цемента са СЦМ такође немају значајнијег утицаја на чврстоћу при притиску за вредност водовезивног фактора 0,5. У случају малтера справљених са водовезивним фактором 0,5 једино малтер са 15% електрофилтерског пепела има веће чврстоће у односу на одговарајуће референтне вредности за више од 10%. Преостали малтери из прве фазе испитивања имају чврстоће при притиску за све испитване старости у рангу са одговарајућим вредностима референтних малтера.
- Чврстоће при притиску малтера који садрже природни зеолит су мање у односу на одговарајуће чврстоће малтера са електрофилтерским пепелом. За вредност водовезивног фактора 0,5, смањења су цца 3% (за учешће СЦМ 10%), 9% (за учешће СЦМ 15%) и 4% (за учешће СЦМ 20%), а за вредност водовезивног фактора 0,4, смањења су цца 6% (за учешће СЦМ 10%), 10% (за учешће СЦМ 15%) и 6% (за учешће СЦМ 20%). Сва смањења су у опсегу до 10%.

Наведени закључци указују на високу пуцоланску активност оба СЦМ материјала у малтерским мешавинама, што је у складу са резултатима карактеризације природног зеолита и електрофилтерског пепела.

Капиларно упијање воде

- Смањењем водовезивног фактора (са 0,5 на 0,4) долази до значајног смањења капиларног упијања воде, како референтног цементног, тако и малтера справљених са обе врсте СЦМ. Смањење капиларног упијања воде за старост 28 дана износи просечно 57% за референтни малтер, 45%, за малтере са 10%, 15% и 20% природног зеолита и 36%, 34% и 36% за малтере са 10%, 15% и 20% електрофилтерског пепела, респективно; Смањење капиларног упијања воде за старост 90 дана износи просечно 58% за референтни малтер, 38%, 42% и 32%, за малтере са 10%, 15% и 20% природног зеолита, респективно и 41%, 33% и 36% за малтере са 10%, 15% и 20% електрофилтерског пепела, респективно;
- Природни зеолит утиче на смањење капиларног упијања воде, односно са повећањем удела природног зеолита смањује се капиларно упијање воде. Међутим, допринос смањењу капиларног упијања зависи од вредности водовезивног фактора. Са повећањем водовезивног фактора, израженији је утицај количине природног зеолита као СЦМ на смањење капиларног упијања воде. Са повећањем учешћа природног зеолита у малтерима са водовезивним фактором 0,5, старости 28 дана, смањује се капиларно упијање воде у односу на референтни малтер за 15%, 29% и 36%, за учешћа природног зеолита 10%, 15% и 20%, респективно, а у случају водовезивног фактора 0,4, смањење капиларног упијања воде је 9% и 17% за учешће 15% и 20%, док је за учешће природног зеолита од 10% дошло до повећања упијања воде од 10%. Са повећањем учешћа природног зеолита у малтерима са водовезивним фактором 0,5, старости 90 дана, смањује се капиларно упијање воде у односу на референтни малтер за 23%, 41% и 47%, за учешћа природног зеолита 10%, 15% и 20%, респективно, а у случају водовезивног фактора 0,4, смањење капиларног упијања воде је 19% и 15% за учешће 15% и 20%, док је за учешће природног зеолита од 10% дошло до повећања упијања воде од 13%
- Електрофилтерски пепео утиче на смањење капиларног упијања воде. Са повећањем количине електрофилтерског пепела смањује се капиларно упијање. Међутим, ефекат смањења капиларног упијања првенствено зависи од старости малтера. Са повећањем учешћа електрофилтерског пепела у малтерима са водовезивним фактором 0,5, капиларно упијање воде при старости од 90 дана у односу на одговарајуће вредности капиларног упијања за старост 28 дана се смањило 52%, 59% и 61%, за учешћа електрофилтерског пепела 10%, 15% и 20%, респективно, а у случају водовезивног фактора 0,4, смањење капиларног упијања воде је 56%, 58% и 61% за наведена учешћа, респективно.
- Природни зеолити имају мањи допринос смањењу капиларног упијања воде са повећањем старости у односу на електрофилтерски пепео. При старости од 28 дана, у групи малтера са водовезивним фактором 0,5, малтери са природним зеолитом имају веће капиларно упијање у односу на малтере са електрофилтерским пепелом, а за групу са водовезивним фактором 0,4, је изведен супротан закључак. За старост малтера од 90 дана, малтери са природним зеолитом имају веће капиларно упијање у односу на малтере са електрофилтерским пепелом за обе вредности водовезивног фактора.
- Испитивани малтери имају различиту кинетику упијања воде. Референтни малтери са оба водовезивна фактора, малтери са водовезивним фактором 0,5 и природним зеолитом и малтери са водовезивним фактором 0,4 и електрофилтерским пепелом упијају воду по линеарном закону, док остали малтери показују нелинеарну кинетику упијања воде.

Капиларно упијање воде зависи од сва три анализирана параметра. Највећи утицај на смањење капиларног упијања воде код малтера са природним зеолитима има водовезивни фактор, док је код малтера са електрофилтерским пепелом доминантан је утицај старости. Природни зеолити имају мањи допринос смањењу капиларног упијања воде са повећањем старости у односу на електрофилтерски пепео.

XRD анализа

- Резултати XRD анализе цементних паста које садрже природни зеолит, односно електрофилтерски пепео као СЦМ, старости 28, 90 и 180 дана су показали да су за све пасте заједнички продукти хидратације C-S-H гел, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ у кристалном облику – портландит и еtringит.
- Код свих паста које садрже природни зеолит као СЦМ јавља се монокарбонат за старости од 28 и

180 дана, и хемикарбонат за старости од 28 дана. Њихово присуство се уочава и код пасте која садржи 10% природног зеолита при старости од 90 дана. Код свих паста са природним зеолитом, за све старости, присутни су пикови који одговарају клиноптилолиту, што указује да зеолит није у потпуности изреаговао. Поређењем интензитета пикова који одговарају портландиту, чија потрошња је индикатор пуцоланске реакције, закључује се да тек при старости од 180 дана долази до значајнијег смањења интензитета овог пика у односу на вредност интензитета пика код чисте цементне пасте одговарајуће старости. Код паста са природним зеолитом је веома изражена карбонатизација која се уочава кроз формирање калцита за све старости, а ватерита при старости од 180 дана. Највећи релативни удео еtringита (*delayed ettringite formation*) у свим пастама са природним зеолитом је уочен за старост 90 дана.

- Код свих паста које садрже електрофилтерски пепео као СЦМ јавља се хемикарбонат за старости од 28 и 90 дана, и монокарбонат само у случају пасте која садржи 10% електрофилтерског пепела при старости од 180 дана. Код свих паста за све старости детектовано је и присуство неизреагованог мулита који потиче из електрофилтерског пепела. Код паста које садрже 15% и 20% електрофилтерског пепела долази до смањења интензитета пикова који одговарају портландиту већ након 28 дана. До значајног смањења интензитета овог пика код сви паста са електрофилтерским пепелом долази након 180 дана. Потом, код свих паста се уочава формирање првенствено калцита, а потом и ватерита. Код свих паста са електрофилтерским пепелом је веома изражено присуство еtringита за све старости узорака што се препишује појави *delayed ettringite formation*). Интензитет пика који одговара еtringиту ($2\theta: 9.1$) се повећао при старости од 90 у односу на 28 дана, док при старости од 180 дана остаје исти или нешто мањи у односу на интензитет пика при старости од 90 дана, Највећи интензитет овог пика има паста са 20% електрофилтерског пепела. Код паста које садрже електрофилтерски пепео потврђено је присуство и C-A-S-H гела.

На основу релативних односа интензитета пикова који одговарају портландиту код паста које садрже природни зеолит и код оних које садрже електрофилтерски пепео као парцијалну замену цемента, старости 28 дана, може да се закључи да је дошло до веће потрошње портландита у случају паста које садрже електрофилтерски пепео, док су интензитети пикова који одговарају портландиту у случају паста са природним зеолитом у рангу са онима код референтне пасте што указује на одложено пуцоланску реакцију природног зеолита. Након 90 дана детектован је већи садржај портландита код паста које садрже 10% природног зеолита у односу на пасте које у истом проценту садрже електрофилтерски пепео. За старост 180 дана, интензитети пикова који одговарају портландиту су мањи у случају паста које садрже природни зеолит у односу на оне које садрже електрофилтерски пепео, при истим процентима супституције цемента. Код паста са електрофилтерским пепелом се поред C-S-H гела идентификован је и C-A-S-H гел. Поређењем интензитета пикова који одговарају еtringиту код паста које садрже електрофилтерски пепео и природни зеолит утврђено је да је интензитет пика већи код паста са електрофилтерским пепелом, за све старости.

FTIR спектроскопија

FTIR резултати су потврдили постојање неких фаза идентификованих XRD-ом као и промене које су наступиле у C-S-H гелу у погледу односа Ca/Si или Al/Si.

- Природни зеолит: Асиметрично истежање CO_3^{2-} групе исказано кроз суперпонирање два пика око 1422 cm^{-1} и пика између $1471\text{--}1482\text{ cm}^{-1}$ који се приписују кристалним структурама калцита и ватерита, видљиво је за хидратацију након 28 дана да би након 180 дана хидратације постао доминантан само пик око 1480 cm^{-1} који се приписује ватериту. Постојање апсорпционих трака на $\sim 2840\text{ cm}^{-1}$ и на $\sim 2520\text{ cm}^{-1}$ указује на присуство доломита. На присуство портландита је указало присуство апсорпционе траке на $\sim 3642\text{ cm}^{-1}$ као последица истежућих вибрација Са-ОН из портландита. Промене настале у C-S-H гелу у погледу односа Ca/Si и Al/Si су анализирани кроз померање положаја апсорпционих трака у односу на вредност $\sim 971\text{ cm}^{-1}$ која одговара пастама цемента за старост 28 дана. Након 28 дана хидратације пасте које садрже 10%, 15% и 20% природног зеолита постигле су вредност 987 cm^{-1} , 991 cm^{-1} и 995 cm^{-1} респективно, што је указало на повећање степена полимеризације структуре C-S-H гела са мањим односом Ca/Si. Код узорака старости 180 дана долази до померања апсорпционе траке према мањим таласним бројевима 979 cm^{-1} , 989 cm^{-1} и 981 cm^{-1} за уделе 10%, 15% и 20% респективно.

Вредност апсорпционог броја за цементну пасту је 977 cm^{-1} . Приближавање вредности апсорпционог броја паста са зеолитом апсорпционом броју цементне пасте указује највероватније на повећање односа Ca/Si , с обзиром да XRD анализа не указује на формирање C-A-S-H гела за ову врсту паста. На положај апсорпционог пика је утицала старост пасте и удео природног зеолита.

- **Електрофилтерски папео:** Појава апсорпционе траке на $\sim 1422\text{--}1482\text{ cm}^{-1}$ ($1429\text{--}1492\text{ cm}^{-1}$, ν_3 - асиметрично истезање CO_3^{2-} групе указало је на присуство карбоната, тј могу се приписати суперпонирању кристалних структура калцита и ватерита у структури паста са електрофилтерским пепелом. Постојање апсорпционе траке односно превоја (*shoulder*) на $\sim 1100\text{ cm}^{-1}$ може се приписати присуству SO_4^{2-} молекулске вибрације која може да укаже на постојање фазе еtringита. На присуство портландита је указало присуство апсорпционе траке на $\sim 3642\text{ cm}^{-1}$ као последица истежућих вибрација Ca-OH из портландита. Промене настале у C-S-H гелу након 28 дана хидратације указује на мало померање апсорпционих вредности ка већим вредностима у односу на вредност цементне пасте, $\sim 971\text{ cm}^{-1}$. Паста које садрже 10%, 15% и 20% електрофилтерског пепела су постигле следеће вредности 977 cm^{-1} , 977 cm^{-1} и 974 cm^{-1} респективно, што је указало на повећање степена полимеризације структуре C-S-H гела са мањим односом Ca/Si . До померања апсорпционе траке према мањим таласним бројевима 973 cm^{-1} (деполимеризација C-S-H гела), долази након 180 дана хидратације за све пасте са електрофилтерским пепелом у односу на вредност апсорпционог броја 977 cm^{-1} добијену за цементну пасту, што је указало на могућност настанка C-A-S-H гела. На положај апсорпционог пика је највише утицала старост пасте.
- Поређење резултата FTIR анализе паста са природним зеолитом и електрофилтерским пепелом као СЦМ указује да су највеће разлике у односу Ca/Si и Al/Si у C-S-H гелу. Постоји сличност у погледу утицаја старости паста на вредности апсорпционих пикова везаних за положај C-S-H гела. За обе групе паста је карактеристично да након 28 дана долази до померања апсорпционих трака у односу на вредност добијену за референтни узорак ($\sim 970\text{ cm}^{-1}$) ка већим вредностима таласног броја, да би се са протоком времена приметило враћање ка положају датог пика код референтног узорка. То указује да за старост 28 дана имамо смањење односа Ca/Si , а за старост 180 дана повећање односа Ca/Si или Al/Si . Ово су сличности између пасте на бази природног зеолита и електрофилтерског пепела а разлике су у томе што је повећање вредности апсорпционих бројева у односу на референтни малтер веће код малтера са природним зеолитом. Ово указује да калцијум као јоноизмењивачки катјон природног зеолита није ушао у структуру C-S-H гела. Поред наведеног установљено је да паста која садржи 20% природног зеолита и паста која садржи 10% електрофилтерског пепела су узроковале највеће промене адсорпционих бројева везаних за C-S-H гел.
- Након 180 дана положај апсорпционе траке је такав да указује на веће вредности односа Si/Al у пастама са природним зеолитом, док код паста са електрофилтерским пепелом је највероватније већа вредност односа Al/Si .
- Присуство карбоната у облику ватерита и калцита је потврђено FTIR спектроскопијом за обе групе паста. Код паста које садрже електрофилтерски пепео се учешће ватерита смањује са протоком процеса хидратације, тако да након 180 дана преовлађује калцит. За разлику од њих, код паста које садрже природни зеолит је доминантан ватерит, нарочито након 180 дана хидратације. Поред калцијум карбоната регистрован је и доломит.

Поред класификације малтера из **друге фазе** истраживања у погледу испуњавања услова за одређену класу репаратурног малтера са аспекта чврстоће при притиску и капиларног упијања воде, изведени су додатни закључци за наведена својства, као и закључци о изживљању тешких метала из малтера који садрже 10% природног зеолита + 10% електрофилтерског пепела, малтера са 10% природног зеолита + 10% филера и малтера са 10% електрофилтерског пепела + 10% филера.

Чврстоћа при притиску

- Комбинација замене цемента са мешаним додацима у количини од 20% (природни зеолит + електрофилтерски пепео, природни зеолит + филер и електрофилтерски пепео + филер) нема значајнијег утицаја на чврстоћу при притиску с обзиром да су њихове чврстоће у рангу са

одговарајућим референтним вредностима.

- Малтери који садрже одабране комбинације додатака природног зеолита, електрофилтерског пепела и филера, имају веће чврстоће при притиску односу на референтни малтер за све испитиване старости.

Капиларно упијање

- Малтери који садрже одабране комбинације додатака природног зеолита, електрофилтерског пепела и филера, имају мање капиларно упијање воде за обе анализирани старости у односу на референтни малтер.
- Најмање вредности капиларног упијања су добијене за комбинацију електрофилтерског пепела и филера.

Излуживање тешких метала

- XRF анализа портланд цемента, природног зеолита, електрофилтерског пепела и филера – калцијум-карбоната у погледу елемената Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr, Hg, As, Ba и Sb је показала да електрофилтерски пепео има највеће концентрације наведених елемената изузев елемента Ba. Природни зеолит има најмање концентрације датих елемената осим елемената Pb и Ba.
- Испитивање ефикасности имобилизације тешких метала у малтерима са 10% природног зеолита и 10% електрофилтерског пепела, 10% природног зеолита и 10% филера и 10% електрофилтерског пепела и 10% филера, показала је да за старост од 28 дана сви наведени малтери задовољавају критеријуме за инертан материјал, осим у погледу елемената Sb (недефинисана категорија) и Cd (неопасан)..
- Старост узорака има значајан утицај на излуживање тешких метала. До значајнијег повећања излуживања Pb (из инертног у неопасни) и Ni (из инертног у неопасни) из малтера је дошло за старост 180 дана код свих врста малтера. Малтер са природним зеолитом и филером је имао промену категорије излуживања из инертног у неопасни за елемент Ba..
- Малтери који садрже 10% природног зеолита + 10% електрофилтерског пепела су се показали као веома ефикасни за имобилизацију/одржавање концентрације катјона на ниском нивоу када су у питању елементи Pb, Zn, Ni/ Cu, Cr, Hg, Ba, респективно, при старости 28 дана. За старост 180 дана њихова ефикасност је посебна изражена у смањењу излуживања Pb, потом Ba као и у одржању ниског нивоа излуживања за катјоне Cd, Zn, Cu, Hg, Ba. Ефикасност имобилизације оксианјона As је мања.
- Предност природног зеолита као СЦМ у процесу имобилизације је што може вишеструко да имобилише тешке елементе: образовањем продуката хидреатације пре свега еtringита и C-S-H гела, одржавање рН вредности порног раствора у области базних вредности и имобилизација катјона јонском изменом.

Закључци **треће фазе** истраживања су изведени на основу резултата испитивања малтера који садрже 0%, 10% и 20% природног зеолита, односно електрофилтерског пепела, у којима је вариран водовезивни фактор у износу од 0,5 и 0,4. Анализирана су следећа својства, која су одабрана у складу са ЕН 1504-3: прионљивост малтера за бетонску подлогу, ограничено скупљање малтера и термичка компатибилност малтера и бетонске подлоге (циклуси замрзавања и одмрзавања са потапањем у засићени раствор соли за спречавање стварања леда). Закључено је да сви малтери из треће фазе испуњавају критеријуме за конструкцијске репаратурне малтере највише класе (P4) у складу са стандардом ЕН 1504-3 за наведена својства. Испуњавањем критеријума за испитану термичку компатибилност, сматра се да су малтери из треће фазе истовремено испунили и услове квалитета за исту класу репаратурног малтера у погледу термичке компатибилности (топлотни шок) и термичке компатибилности (топлотни циклуси у сувим условима) и да се за њих не захтева одређивање коефицијента линеарног термичког издужења.

Остали закључци **треће фазе** истраживања изведени су на основу анализа резултата испитивања прионљивости малтера за бетонску подлогу, ограниченог скупљања малтера, термичке компатибилности малтера и бетонске подлоге (циклуси замрзавања и одмрзавања са потапањем у

засићени раствор соли за спречавање стварања леда), скупљања услед сушења, отпорности на продор хлорида и отпорности на дејство сулфата.

Прионљивост малтера за бетонску подлогу

- Приликом испитивања прионљивости малтера за бетонску подлогу, сви малтери треће фазе су имали кохезиони тип лома по малтеру (тип Б), што указује на чињеницу да је чврстоћа приањања већа од чврстоће на затезање малтера, међутим у стандарду ЕН 1542 се за овакав тип лома, добијен резултат проглашава за чврстоћу приањања малтера. Овакав закључак је омогућио даљу анализу добијених резултата са аспекта чврстоће приањања малтера при затезању.
- Смањење водовезивног фактора има позитиван утицај на чврстоћу приањања малтера из треће фазе испитивања. Са смањењем водовезивног фактора повећавају се чврстоће приањања референтних малтера просечно за 14%, малтера са 10% и 20% природног зеолита за 23% и 10% респективно и малтера са 10% и 20% електрофилтерског пепела за 5% и 4% респективно;
- Природни зеолит и електрофилтерски пепео генерално утичу на повећање чврстоће приањања малтера, али ефекат овог повећања зависи од водовезивног фактора. У случају малтера справљених са водовезивним фактором 0,4, врста СЦМ не утиче на чврстоћу приањања већ ниво супституције цемента са СЦМ. Малтери код којих је 10% цемента замењено са електрофилтерским пепелом, односно са природним зеолитом, имају веће чврстоће приањања у односу на референтне у рангу 12% до 14%, респективно, док су чврстоће приањања малтера са 20% природног зеолита, односно електрофилтерског пепела, остале у рангу референтних. У случају малтера справљених са водовезивним фактором 0,5 једино малтер са 10% електрофилтерског пепела има веће чврстоће приањања у односу на одговарајуће референтне вредности за више од 20%. Преостали малтери из треће фазе имају чврстоће приањања у рангу са чврстоћом референтног малтера.

Ограничено скупљање

- Приликом испитивања ограниченог скупљања малтера, преко прионљивости малтера за бетонску подлогу, сви малтери треће фазе су имали кохезиони тип лома по малтеру (тип Б).
- Смањење водовезивног фактора има позитиван утицај на вредност приањања малтера при ограниченом скупљању. Са смањењем водовезивног фактора повећавају се чврстоће приањања референтних малтера просечно за 15%, малтера са 10% и 20% природног зеолита за 5% и 14% респективно и малтера са 10% и 20% електрофилтерског пепела за 12% и 22% респективно;
- Врста и ниво супституције (од 10% и 20%) цемента са природним зеолитом и електрофилтерским пепелом не утичу на вредност ограниченог скупљања малтера у оквиру сваког од варираних водовезивних фактора.

Термичка компатибилност малтера и бетонске подлоге (циклуси замрзавања и одмрзавања са потапањем у засићени раствор соли за спречавање стварања леда)

На основу изгледа тест-површина узорака након 50 циклуса замрзавања и одмрзавања закључено је:

- да ни на једном узорку, нису примећена већа оштећења у виду пукотина, испадања зрна агрегата или деламинације малтера, без обзира на присуство СЦМ и вредност водовезивног фактора и да
- смањење водовезивног фактора позитивно утиче на стање тест-површина.

Приликом испитивања термичке компатибилности малтера, преко прионљивости малтера за бетонску подлогу, закључено је да тип лома зависи од водовезивног фактора. У случају тест-узорака справљених са водовезивним фактором 0,5 и референтни малтер и малтери са СЦМ имају кохезиони лом по малтеру (тип Б), стога се резултати чврстоћа приањања могу директно поредити. Закључено је да највећу чврстоћу приањања има малтер са 20% природног зеолита као СЦМ и да је предметна чврстоћа већа од референтне за 21%. Код тест-узорака справљених са водовезивним фактором од 0,4, референтни малтер и малтери са СЦМ нису имали исти тип доминантног лома, па даља анализа добијених резултата није рађена.

Слободно скупљање услед сушења

Природни зеолит и електрофилтерски пепео као СЦМ утичу на величину скупљања. При томе, њихов ефекат може бити позитиван или негативан, што зависи од следећих анализораних параметара:

- Смањењем водовезивног фактора (са 0,5 на 0,4) долази до значајног смањења скупљања услед сушења, како референтног цементног, тако и малтера справљених са обе врсте СЦМ. Смањење скупљања услед сушења за старост 28 дана износи 19% за референтни малтер, 41% и 36%, за малтере са 10% и 20% природног зеолита и 30% и 27% за малтере са 10% и 20% електрофилтерског пепела, респективно; Смањење скупљања услед сушења воде за старост 182 дана износи 22% за референтни малтер, 31% и 27%, за малтере са 10% и 20% природног зеолита, респективно и 20% и 22% за малтере са 10% и 20% електрофилтерског пепела, респективно;
- Утицај природног зеолита на скупљање услед сушења зависи од водовезивног фактора и старости. У случају водовезивног фактора 0,5, малтери са природним зеолитом имају највеће вредности скупљања за обе карактеристичне старости, уз напомену да се разлике између вредности скупљања током времена смањују. Повећања скупљања малтера са 10% и 20% природног зеолита, у односу на референтни малтер износе 48% и 63%, респективно, за старост од 28 дана, а за старост од 182 дана, повећања су 4% и 9%, респективно. У случају водовезивног фактора 0,4, малтери са природним зеолитом у количинама од 10% и 20%, имају веће вредности скупљања при старости од 28 дана, за 8% односно 28%, у односу на референтни малтер, респективно. У периоду између 28 и 182 дана, промена вредности скупљања услед сушења малтера са природним зеолитом се смањује, тако да су коначне вредности скупљања исте код малтера са 20% природног зеолита, или чак и мање за 9%, код малтера са 10% природног зеолита, у односу на референтни малтер.
- Утицај електрофилтерског пепела на скупљање услед сушења такође зависи од водовезивног фактора и старости. У случају водовезивног фактора 0,5, малтери са електрофилтерским пепелом у количинама од 10% и 20%, имају веће вредности скупљања при старости од 28 дана, за 44% односно 38%, у односу на референтни малтер, респективно. У периоду између 28 и 182 дана, промена вредности скупљања услед сушења малтера са електрофилтерским пепелом се смањује, тако да су коначне вредности скупљања у рангу са вредностима референтног малтера. У случају водовезивног фактора 0,4, малтери са електрофилтерским пепелом треће фазе имају веће вредности скупљања при старости од 28 дана, за 23%, у односу на референтни малтер, а за старост од 182 дана, коначне вредности скупљања су у рангу са вредностима референтног малтера.

Скупљање услед сушења малтера са природним зеолитом и електрофилтерским пепелом као СЦМ зависи од сва три анализираних параметра (водовезивног фактора, старости и врсте СЦМ). Подједнако значајан утицај на смањење скупљања услед сушења малтера са природним зеолитом и електрофилтерским пепелом имају водовезивни фактор и старост, док је утицај врсте СЦМ мање изражен. Утицај количине замане цемента са СЦМ на вредност скупљања услед сушења је видљив само код примене природног зеолита.

Отпорност на продор хлорида

Отпорност малтера са и без одабраних СЦМ је урађена упоређивањем вредности коефицијената миграције хлорида за старост од 28 дана. Закључено је да и природни зеолит и електрофилтерски пепео имају позитиван утицај на повећање отпорности на продор хлорида, јер се коефицијент миграције хлорида значајно смањује, нарочито са повећањем учешћа СЦМ. Наведени закључак је потврђен класификацијом отпорности на продор хлорида према критеријумима *Gjorv*-а. У случају малтера са водовезивним фактором 0,5, референтни малтер има *смањену отпорност* на продор хлорида, са 10% природног зеолита *умерену*, са 20% природног зеолита, као и са 10% електрофилтерског пепела *повишену*, док малтер са 20% електрофилтерског пепела има *веома високу отпорност* на продор хлорида. Од малтера справљених са водовезивним фактором 0,4, само је референтни имао повишену отпорност на продор хлорида, док су преостали испитани малтери (са 10% и 20% природног зеолита, као и електрофилтерског пепела) имали *веома високу отпорност* на продор хлорида.

У погледу критеријума за класе изложености на дејство хлорида, малтери са водовезивним

фактором 0,5 који садрже 20% природног зеолита, односно 10% електрофилтерског пепела су препоручени за санацију армирано бетонских конструкција у срединама са класама изложености XD1, XS1, XD2 и XS2, а малтери са водовезивним фактором 0,4 и додатком 10% и 20% природног зеолита, односно електрофилтерског пепела се могу користити у срединама са најоштријим класама изложености на дејство хлорида, XD3 и XS3.

Допринос природног зеолита и електрофилтерског пепела повећању отпорности на продор хлорида је последица настанка додатне количине C-S-H и C-A-S-H гела, који стварају густу и компактну цементну матрицу и, на тај начин смањују пропустљивост малтера и повећавају површину која може да адсорбује хлоридне јоне. Додатно, са СЦМ се у малтер уноси већа количина Al_2O_3 који убрзава процес преласка AFm фазе у Фриделову со која, такође везује хлоридне јоне.

Отпорност на дејство сулфата

Отпорност на дејство сулфата је одређена мерењем промене дужине у периоду од 6 месеци.

Са аспекта отпорности на дејство сулфата малтера из треће фазе, закључено је:

Водовезивни фактор има утицаја на отпорност на дејство сулфата само у случају референтних - цементних малтера. Са смањењем водовезивног фактора повећава се отпорност на дејство сулфата; Употребом природног зеолита и електрофилтерског пепела као СЦМ значајно се повећава отпорност на дејство сулфата, без обзира на вредност водовезивног фактора у варираним границама.

Наведени закључци су потврђени класификацијом отпорности на дејство сулфата према критеријумима из *ACI 318-08*, на основу којих референтни малтер справљен са водовезивним фактором 0,5 има *умерену отпорност*, док су остали малтери имали *високу отпорност* на дејство сулфата.

Ради извођења коначних закључака о употребљивости природног зеолита као СЦМ у репаратурним малтерима, урађено је вредновање свих испитиваних својстава истовремено, коришћењем концепта *performance index*-а. У случају малтера справљених са водо-везивним фактором од 0.5, највеће суме индекса својстава су имали малтери са 10% и са 20% електрофилтерског пепела, блиску вредност је имао и малтер са 20% природног зеолита, а најмању је имао референтни малтер. Од малтера справљених са водо-везивним фактором од 0.4, највећу суму индекса својстава имали су малтери код којих је супституисано 20% цемента са електрофилтерским пепелом, односно природним зеолитом, а потом и малтери са 10% електрофилтерског пепела, односно 10% природног зеолита, респективно.

Када се упореде суме индекса својстава свих наведених малтера у односу на референтни малтер справљен са водо-везивним фактором од 0.5 може да се уочи следеће:

- да су суме индекса својстава веће у случају малтера справљених са мањим водо-везивним фактором;
- да су највеће суме индекса својстава имали малтери справљени са водо-везивним фактором од 0.4 који садрже 20% електрофилтерског пепела, односно 20% природног зеолита, а да је најмању суму имао референтни малтер справљен са водо-везивним фактором од 0.4.
- Оптимално учешће природног зеолита у репаратурним малтерима износи 20%.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

На основу анализе докторске дисертације Тиане Миловић, комисија сматра да је она урађена систематично, да је добро структурирана и да је примењен адекватан научни приступ. Кроз приказ и анализу релевантне литературе, из области примене природног зеолита и електрофилтерског пепела у пастама, малтерима и бетонима на бази цемента и из области репаратурних малтера за санацију бетонских конструкција, формирана је база података на основу које је дефинисан програм сопственог експерименталног истраживања.

У истраживањима су коришћене најсавременије методе за хемијску и минералошку анализу материјала, стандардни поступци за испитивања одабраних својстава из најновије европске техничке регулативе, критеријуми за вредновање и класификацију који су прихваћени и препоручени од стране водећих стручњака широм света.

Резултати сопственог експерименталног истраживања су адекватно обрађени и презентовани на разумљив и коректан начин, а анализа резултата је систематично приказана, јасно изложена и спроведена уз примену адекватних метода нумеричке анализе. На основу анализе резултата истраживања утицаја примене природног зеолита на трајност репаратурних цементних малтера изведени су одговарајући закључци. Предложени су и правци даљих истраживања.

Техничка обрада свих поглавља докторске дисертације је на високом нивоу. Дисертација је обogaћена хронолошки сложеним фотографијама које употпуњују слику о спроведеном експерименталном истраживању. Јасно написан текст је пропраћен добро осмишљеним дијаграмима и табелама који доприносе бољој и јаснијој анализи добијених резултата.

Докторска дисертација проверена је у софтверском пакету за детекцију плагијаризма iThenticate, у Библиотеци Факултета техничких наука. На основу резултата провере, Комисија је утврдила да је проценат подударности занемарљив и донела закључак да је докторска дисертација оригинално ауторско дело кандидаткиња Тиане Миловић.

Комисија сматра да укупан рад кандидата, по свом карактеру и обиму, у потпуности одговара дефинисаној теми и наслову и такође сматра да ће резултати овог истраживања имати примену у грађевинској пракси и у будућим научним истраживањима из ових области.

Сагласно изнетим ставовима, Комисија позитивно оцењује начин на који су резултати истраживања приказани и тумачени у овој докторској дисертацији.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?

Комисија је констатовала да је дисертација Тиане Миловић написана у складу са образложењима наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Да, докторска дисертација садржи све битне елементе који се захтевају по Статуту Факултета техничких наука и Универзитета у Новом Саду.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Докторска дисертација кандидаткиње Тиане Миловић је оригинални теоријско-експериментални научни рад на тему утицаја примене природног зеолита на трајност репаратурних цементних малтера. Детаљном анализом досадашњих истраживања примене природног зеолита као парцијалне замене цемента у пастама, малтерима и бетонима закључено је да је ова научна област недовољно истражена, а нарочито примена у репаратурним цементним малтерима, тако да су истраживања са овом тематиком високо цењена и у научној и у стручној јавности.

Научни допринос ове докторске дисертације се првенствено види кроз испуњење постављених хипотеза :

- Заменом дела цемента природним зеолитом у количини до 20% побољшана је трајност репаратурних малтера кроз постизање захтеваних отпорности на продор хлорида и дејство сулфата.
- одређена је оптимална количина природног зеолита за замену дела Портланд цемента применом performance indeks-a, а на основу вредновања релевантних физичких и механичких својстава и својстава трајности према критеријумима за репаратурне малтере дефинисаним у ЕН 1504-3, АС1 318-08 и класификацији Gјогv-a.
- Применом хибридних минералних додатака, који су добијени мешањем зеолита као природног материјала и електрофилтерског пепела као опасног отпада у чврстом, за замену дела цемента у репаратурним малтерима, смањује се излуживање неких катјона тешких метала из електрофилтерског пепела.

Велики број резултата испитивања примене електрофилтерског пепела као СЦМ из овог рада употпуњују и дограђују досадашња сазнања о утицају овог материјала на својства репаратурних малтера за санацију бетонских конструкција.

Посебан допринос дисертације се огледа и у тумачењу промена у структури и минералошком саставу паста у функцији врсте СЦМ (природни зеолит и електрофилтерски пепео) у току времена помоћу XRD и FTIR метода. Добијени резултати су стављени у корелацију са излуживањем елемената у траговима. Тиме је учињен још један искорак у дефинисању и схватању изузетно сложеног механизма имобилизације тешких метала.

Први пут су урађена испитивања репаратурних малтера у којима је вариран удео природног зеолита

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?

На основу детаљне анализе рада кандидаткиње Тиане Миловић, комисија констатује да су испуњени постављени циљеви и да дисертација не садржи недостатке који би утицали на резултате истраживања.

X ПРЕДЛОГ:

На основу наведеног, комисија предлаже:

- а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидаткињи одобри одбрана;**
- б) да се докторска дисертација врати кандидату на дораду (да се донуди односно измени);**
- в) да се докторска дисертација одбије.**

Место и датум:

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

др Властимир Радоњанин, редовни професор,
председник Комисије

др Биљана Илић, научни сарадник,
члан Комисије

др Данијел Кукарас, ванредни професор
члан Комисије

др Иван Лукић, ванредни професор, члан Комисије

др Мирјана Малешев, редовни професор, менторка

др Мирослава Радека, редовни професор, менторка

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.